

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE MEZCLAS DE CONCRETO
EMPLEANDO DIFERENTES PROPORCIONES DE VIDRIO RECICLADO Y TRITURADO
COMO SUSTITUTO DE LA ARENA

JUAN DAVID DIAZ FERNANDEZ

Id. 220414

CELSO JOSÉ RAMOS CORRALES

Id. 231838

Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga

Escuela de Ingeniería

Bucaramanga

2018

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE MEZCLAS DE CONCRETO
EMPLEANDO DIFERENTES PROPORCIONES DE VIDRIO RECICLADO Y TRITURADO
COMO SUSTITUTO DE LA ARENA

Juan David Diaz Fernández

Id. 220414

Celso José Ramos Corrales

Id. 231838

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de:

INGENIERO CIVIL

Director del Proyecto

Elkin Mauricio López Morantes

Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga

Escuela de Ingeniería

Bucaramanga

2018

Agradecimientos

Los autores de expresan sus más sinceros agradecimientos a:

A Dios que ha sido el motor de nuestras vidas, y ha estado presente siempre.

A nuestros padres que a pesar de las dificultades que se han presentado en este camino siempre han estado con nosotros brindándonos su apoyo incondicional.

A la universidad pontificia Bolivariana porque fue en ella donde realizamos nuestros sueños y donde nos formamos como profesionales.

Al director del proyecto el ingeniero Elkin Mauricio López Morantes por su dedicación y siempre brindarnos la mejor disposición para resolver nuestras inquietudes.

Tabla de contenido

Introducción	1
Generalidades del proyecto.....	3
Antecedentes.....	5
Justificación	10
Objetivos.....	11
Alcance	12
Capítulo 1: Marco teórico	13
1.1 Concreto	13
1.1.1 Propiedades del concreto. [6].....	13
1.1.2 Agregados del concreto.....	15
1.1.3 Propiedades de los agregados	16
1.2 Tipos de concreto	17
1.2.1 Concreto estructural.....	17
1.2.2 Concreto simple.	17
1.2.3 Concreto presforzado.....	17
1.2.4 Concreto prefabricado.....	17
1.2.5 Concreto liviano.....	17
1.2.6 Concreto lanzado.	18
1.2.7 Concreto ciclópeo.	18
1.2.8 Concreto autonivelante.	19
1.3 Concreto modificado.....	19
1.3.1 Tipos de concreto modificado.....	19
1.4 Diseño de mezclas para concretos. Método ACI 211	22
1.5 Resistencia a la compresión del concreto.....	23
Capítulo 2: Metodología	25
2.1 Materiales	26
2.1.1 Ensayos para los agregados pétreos.....	26

2.1.2 Granulometría para agregados fino y grueso (NTC 77)	26
2.1.3 Masas unitarias sueltas y compactas para agregados fino y grueso (NTC 92)	27
2.1.4 Peso específico para absorción en agregados fino y grueso (NTC 237).....	27
2.1.5 Contenido de materia orgánica (NTC 127).....	28
2.1.6 Ensayo para cemento portland. (NTC 221)	29
2.2 Elaboración de cilindros de concreto (NTC 1337).....	30
2.3 Diseños de mezclas	31
2.3.1 Tabla de asentamientos	32
2.3.2 Tabla de diseño de mezcla convencional.....	32
2.3.3 Diseño de mezcla para 1m ³ de concreto.....	33
2.3.4 Diseño de mezcla para 9 cilindros de concreto.....	33
2.3.5 Diseño de mezcla con 10% de vidrio.....	34
2.3.6 Diseño de mezclas con 15% De Vidrio	34
2.3.7 Diseño de mezcla con 20% de vidrio.....	35
2.4 Elaboración de cilindros de Concreto	35
2.5 Ensayos de resistencia a la compresión y densidad.	36
2.5.1 Edades de curado para ensayos de compresión [16].....	36
Capítulo 3: Resultados y discusiones.....	37
3.1 Resultados caracterización de los materiales de la mezcla de concreto.....	37
3.1.1 Granulometría: Agregado fino (ARENA)	37
3.1.2 Granulometría: agregado grueso.....	39
3.1.3 Granulometría: Agregado fino (vidrio).....	40
3.2 Ensayos de masa unitaria	42
3.2.1 Masa unitaria suelta del agregado fino (arena)	42
3.2.2 Masa unitaria compacta del agregado fino (arena)	42
3.2.3 Masa unitaria suelta del agregado grueso	43
3.2.4 Masa unitaria compacta del agregado grueso	44
3.2.5 Masa unitaria suelta del agregado fino (vidrio)	44
3.2.6 Masa unitaria compacta del agregado fino (vidrio)	45
3.3 Ensayos de peso específico	45
3.3.1 Peso específico del agregado fino (arena)	45

3.3.2	Peso específico del agregado grueso.....	46
3.3.3	Peso específico del agregado fino (vidrio).....	46
3.4	Ensayo contenido de materia orgánica.....	48
3.5	Resultados de ensayos a compresión y densidades.	48
3.5.1	Resultados de ensayos a compresión y densidades de todos los diseños de mezclas a los 7 días de curado.....	49
3.5.2	Resultados de ensayos a compresión y densidades de todos los diseños de mezclas a los 14 días de curado.....	54
3.5.3	Resultados de ensayos a compresión y densidades de todos los diseños de mezclas a los 28 días de curado.....	60
3.5.4	Grafica del promedio de densidades a los 28 días de curado.	67
3.5.5	Grafica de resistencia a la compresión con las sustituciones de vidrio de 10%, 15%,20% y mezcla convencional a los 7, 14 y 28 días de curado.....	68
3.5.6	Comportamiento de la densidad tras 28 días de curado.....	69
3.5.7	Variación de la densidad.....	70
3.5.8	Variación de la resistencia a compresión del concreto	70
Capítulo 4: conclusiones y recomendaciones		72
Referencias bibliográficas.....		74

Lista de tablas

Tabla 1 Asentamientos.....	32
Tabla 2 Diseño de mezcla convencional.....	32
Tabla 3 Diseño de mezcla para 1 m ³ de concreto	33
Tabla 4 Diseño de mezcla para 9 cilindros de concreto.....	33
Tabla 5 Diseño de mezcla para cilindros con 10% de vidrio.....	34
Tabla 6 Diseño de mezcla para cilindros con 15% de vidrio.....	34
Tabla 7 Diseño de mezcla para cilindros con 20% de vidrio.....	35
Tabla 8 Granulometría de la arena.....	38
Tabla 9 Granulometría del agregado grueso.....	40
Tabla 10 Masa unitaria suelta agregado fino (arena).....	42
Tabla 11 Masa unitaria compacta del agregado fino (arena).....	43
Tabla 12 Masa unitaria suelta del agregado grueso.....	43
Tabla 13 Masa unitaria compacta del agregado grueso.....	44
Tabla 14 Masa unitaria suelta del agregado fino (vidrio).....	44
Tabla 15 Masa unitaria compacta del agregado fino (vidrio).....	45
Tabla 16 Resultados del ensayo de peso específico de la arena	45
Tabla 17 Resultados del ensayo de peso específico del agregado grueso	46
Tabla 18 Resultados del ensayo de peso específico del vidrio.....	46
Tabla 19 Peso específico del cemento	47
Tabla 20 Resistencia a la compresión y densidad a los 7 días, concreto convencional.....	49
Tabla 21 Resistencia a la compresión y densidad, cilindros de 10% de vidrio a los 7 días	50
Tabla 22 Resistencia a la compresión y densidad, cilindros con 15% de vidrio a los 7 días	52
Tabla 23 Resistencia a la compresión, cilindro de 20% de vidrio	53
Tabla 24 Resistencia a la compresión, cilindros y densidad, con mezcla convencional a los 14 días	55
Tabla 25 Resistencia a la compresión y densidad, cilindros con 10% de vidrio a los 14 días de curado.....	56

Tabla 26 Resistencia a la compresión y densidad, cilindros de concretos con 15% de vidrios a los 14 días de curado	57
Tabla 27 Resistencia a la compresión de 15% de vidrio a los 14 días de curado.....	58
Tabla 28 Resistencia a la compresión y densidad, cilindros de concreto con 20% de vidrio a los 14 días de curado	58
Tabla 29 Resistencia a la compresión y densidad, cilindros de concreto de mezcla tradicional a los 28 días de curado.....	61
Tabla 30 Resistencia a la compresión con 10% de vidrio a los 28 días de curado.....	62
Tabla 31 Resistencia a la compresión con 10% de vidrio a los 28 días de curado.....	63
Tabla 32 Resistencia a la compresión y densidad, cilindros de concretos con 20% de vidrio a los 28 días de curado	65
Tabla 34 Variación de la densidad.....	70
Tabla 35 Variación de la resistencia a compresión.....	70

Lista de figuras

Figura 1 . Concreto lanzado [9]	18
Figura 2. Concreto ciclópeo. [10]	18
Figura 3. Concreto con polímeros. [11]	19
Figura 4 Diseño metodológico	25
Figura 5 Curado de especímenes de concreto	35
Figura 6 concreto sometido al ensayo de compresión	36
Figura 7 Edades de curado	36
Figura 8 Curva Granulométrica de la arena	38
Figura 9 Curva granulométrica del agregado grueso	39
Figura 10 Curva granulométrica del vidrio	41
Figura 11 Granulometría del vidrio	41
Figura 12 Ensayo contenido de materia orgánica	48
Figura 13 Resistencia a la compresión del concreto convencional	50
Figura 14 Resistencia a la compresión con 10% de vidrio a los 7 días	51
Figura 15 Resistencia a la compresión con 15% de vidrio a los 7 días	52
Figura 16 Resistencia a la compresión con 20% de vidrio a los 7 días	53
Figura 17 Grafica de las densidades de todas las mezclas a los 7 días de curado	54
Figura 18 Resistencia a la compresión con 10% de vidrio a los 14 días	55
Figura 19 Resistencia a la compresión con 10% de vidrio a los 14 días de curado	56
Figura 20 Resistencia a la compresión de 20% de vidrio a los 14 días de curado	59
Figura 21 Grafica de las densidades de todas las mezclas a los 14 días de curado	60
Figura 22 Resistencia a la compresión de la mezcla tradicional a los 28 días de curado	61
Figura 23 Resistencia a la compresión de 10% de vidrio a los 28 días de curado	62
Figura 24 Resistencia a la compresión con 15% de vidrio a los 28 días de curado	64
Figura 25 Resistencia a la compresión de 20% de vidrio a los 28 días de curado	66
Figura 26 Grafica de densidades de las mezclas de concreto a los 28 días de curado	66
Figura 27 Densidad promedio de las mezclas de concreto a los 28 días de curado	67

Figura 28 Resistencia a la compresión cilindros a los días 7,14 y 28 días de curado.....	68
Figura 29 Grafica de las densidades	69

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE MEZCLAS DE CONCRETO EMPLEANDO DIFERENTES PROPORCIONES DE VIDRIO RECICLADO Y TRITURADO COMO SUSTITUTO DE LA ARENA

AUTOR(ES): Juan David Diaz Fernández
Celso José Ramos Corrales

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): Elkin Mauricio López Morantes

RESUMEN

El presente documento presenta información detallada sobre lo realizado en este proyecto, respecto al concreto, los agregados que los componen, sus propiedades mecánicas y las diferentes alternativas de dosificaciones de vidrio que se pueden utilizar para el diseño de mezclas. En esta investigación se realizó una previa consulta de diferentes autores, donde expresan la variación de las alternativas que le brinda el vidrio al concreto. Dentro de las actividades desarrolladas se destacan, el proceso de trituración de vidrio y la caracterización de los agregados pétreos bajo los parámetros establecidos por las normas técnicas colombianas, además de la elaboración de 63 probetas cilíndricas de concreto, a las que posteriormente se les realizaron los ensayos de densidad y resistencia a la compresión con tiempos de curado de 7, 14, y 28 días como lo determina la NTC 673. Finalmente, los resultados de la investigación evidenciaron que el concreto diseñado con 15% de agregado de vidrio presenta aumentos en su resistencia a la compresión en comparación con las mezclas de concreto convencional.

PALABRAS CLAVE:

Concreto, vidrio, resistencia a la compresión, densidad

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: EVALUATION OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF CONCRETE MIXES THROUGH DIFFERENT PROPORTIONS OF RECYCLED AND CRUSHED GLASS AS A SUBSTITUTE FOR THE SAND

AUTHOR(S): Juan David Díaz Fernández
Celso José Ramos Corrales

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: Elkin Mauricio López Morantes

ABSTRACT

This document presents detailed information about what has been done in this project, with respect to the concrete, the aggregates that compose them, their mechanical properties and the different glass dosing alternatives that can be used for the design of mixtures. In this research, a previous investigation of different authors was carried out, where the variation of the alternatives offered by glass to concrete is evidenced. Among the activities developed are the process of glass crushing and the characterization of stone aggregates under the parameters established by the Colombian technical standards. In addition, 63 cylindrical concrete specimens were prepared, which were subsequently tested for density and compression resistance with cure times of 7, 14 and 28 days as determined by NTC 673. Finally, the results of the investigation showed that, the concrete was designed with 15% glass aggregate, presents increases in its resistance to compression compared to conventional concrete mixtures.

KEYWORDS:

Concrete, glass, resistance to compression, density.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

Introducción

El sector de la construcción presenta hoy grandes retos que obligan a que los fabricantes de equipos y productores de concretos desarrollen nuevas tecnologías en la producción de concretos de alta calidad, durabilidad y resistencia permitiendo sólidos y modernos diseños arquitectónicos.

Actualmente la contaminación al ambiente y el agotamiento de los recursos naturales es cada vez mayor, por lo tanto, es una tarea de todas las personas intentar mitigar dicha problemática y cuidar de los recursos, es por eso, que se debe intentar reutilizar y/o reciclar todos los materiales posibles utilizándolos como materia prima para nuevos productos.

Este trabajo presenta los resultados obtenidos de la evaluación del comportamiento mecánico de mezclas de concreto empleando diferentes proporciones de vidrio reciclado y triturado como sustituto de la arena. En él se evidencian las propiedades mecánicas y las bondades que posee el vidrio para ser utilizado en el concreto.

Con base en lo anterior, se realizó inicialmente la caracterización del vidrio para verificar la similitud de este con el agregado convencional, mediante los ensayos requeridos para la gradación y calidad de agregados finos y gruesos, para uso en el concreto.

Posteriormente se realizó la elaboración de los especímenes de concreto y finalmente, tras la realización de los ensayos a compresión del concreto, se evidenció el porcentaje de vidrio que brinda el mejor comportamiento en cuanto a resistencia a la compresión y densidad.

Generalidades del proyecto

Planteamiento del problema

El concreto convencional es una mezcla de agregados (fino y grueso) y pasta (agua y cemento) que al solidificarse constituye uno de los materiales de construcción más resistentes y durables empleados para la construcción de diversas obras de infraestructura.

Los agregados en el concreto constituyen entre un 60% y 75% del volumen de una mezcla de concreto; por ende, la calidad de estos determina en gran medida las características del concreto resultante, tales como: trabajabilidad, estabilidad volumétrica, resistencia, durabilidad, costos, entre otras. [1]

Los agregados tanto finos como gruesos generalmente son de origen natural, arenas y gravas respectivamente obtenidos de la explotación de fuentes naturales (fluviales y canteras).

En el caso particular del uso de arena natural como agregado fino, se identifican dos problemáticas fundamentales:

- La explotación excesiva de fuentes fluviales, lo cual constituye una afectación a la biodiversidad, la turbidez del agua, los niveles freáticos, el clima y modificación del cauce de los ríos.
- La imposibilidad de acceso a fuentes convencionales de extracción de arena, como es el caso de zonas costeras y más aún en islas, en donde es frecuente el uso de arenas no aptas para el concreto como lo son las arenas marinas, dado que estas para la elaboración de concreto deben lavarse a fondo para eliminar sus altas concentraciones de cloruros, por lo

que constituyen una afectación directa en los fenómenos de corrosión de los aceros de refuerzo. [2]

En el interés de mitigar estas y otras problemáticas, se han generado investigaciones en torno al uso de agregados alternativos naturales y artificiales

Tales como: cenizas de carbón granulado, escorias de alto horno o de otros residuos sólidos, desechos de fibra de vidrio, plásticos granulados, productos y desechos de papel y madera, vidrio triturado, entre otros. [3]

Frente a lo anteriormente mencionado, este proyecto pretende abordar la problemática, a partir del uso de vidrio convencional triturado, procurando dar respuesta a la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál es el comportamiento mecánico evaluado mediante la resistencia a la compresión de cilindros de concreto con sustituciones de agregado fino por vidrio reciclado triturado respecto a cilindros testigos de concreto convencional?

Antecedentes

Actualmente los materiales usados en la construcción están sometidos a una constante evolución, debido a que se busca mejorar su rendimiento y reducir el costo económico. Para el concreto en especial se puede utilizar una diversidad de materiales y agregados, en busca de mejorar sus propiedades físicas y químicas. Además, también se busca innovar en nuevos materiales y procesos que contribuyan con el medio ambiente. A continuación, se presentan algunos estudios realizados sobre la utilidad que tiene el vidrio empleado como adición o sustitución de agregado fino en mezclas de concreto.

En cuanto a Facilidad de trabajo del concreto con agregados finos reemplazados por vidrio triturado en general, la inclusión de agregados de vidrio de desecho fino en mezclas de concreto da como resultado una reducción en la trabajabilidad del concreto. Sin embargo, los resultados de la literatura revisada fueron bastante contradictorios. Los autores Abdallah y Fan [4], Park et al. Taha y Nounu [5] Chen et al. Ismail y Bateyneh [6] et al. informaron que las mezclas de concreto que consisten en vidrio residual triturado fueron menos viables que el control para todos los niveles de reemplazo, mientras que todas las mezclas de concreto que contienen vidrio triturado probado por Malik et al. Exhibieron valores de asentamiento mayores que el control a pesar de la disminución en la trabajabilidad, Ismail y Al-Hashm [6] encontraron que las mezclas de concreto que contenían vidrio triturado todavía eran viables.

Ali y Al-Tersawy [7] [probaron la trabajabilidad del concreto autocompactante usando la prueba de flujo de asentamiento. Observaron que el concreto que contiene vidrio triturado obtuvo valores de flujo de asentamiento similares al control a pesar de tener dosis más bajas de superfluidificador. Además, Borhan [8] probó concreto que contenía agregados finos reemplazados con vidrio

triturado, y 0.3% o 0.5% fibras de basalto, por volumen total de mezcla. Los resultados mostraron un aumento en el nivel de reemplazo del vidrio triturado da un aumento en la trabajabilidad, concreto que consiste en 60% de vidrio triturado logrando el mayor valor de trabajabilidad para el concreto.

En cuanto a Resistencia mecánica del concreto que contiene vidrio como reemplazo de agregados fino, se ha observado en general que, la inclusión de agregados de vidrio de desecho fino en mezclas de concreto conduce a un aumento en la resistencia a la compresión; sin embargo, muchos estudios informaron una disminución en la resistencia a la compresión. Todas las mezclas de concreto de Turgut y Yahlzade [9], Chen et al, Pereira de Oliveira et al., y Batayneh [6] et al. Probaron las resistencias a la compresión más altas que el control. Por otro lado, todos los especímenes de concreto Ali y Al-Tersawy [7], y Park et al. Evaluaron las resistencias a la compresión más bajas que el control.

Malik et al. y Adaway y Wang [10] observaron que el concreto que contenía hasta 30% de vidrio triturado mostraron valores de resistencia a la compresión más altos que el control a los 7 y 28 días, llegando a alcanzar una resistencia máxima de 60 MPa, mientras que el concreto con niveles de reemplazo superiores al 30% se sometió a una reducción del 23% en la resistencia a la compresión comparado con la dosificación de 30% de vidrio. Además, a los 28 días, el concreto con relaciones de reemplazo de hasta 30% exhibió resistencias a la compresión más altas que el control. Además, Limbachiya informó que la resistencia a la compresión de las muestras que contenían vidrio triturado disminuyó al aumentar los niveles de reemplazo de vidrio triturado cuando eran más altos que 20%. Los estudios anteriormente nombrados se encuentran en la revista *Construction and Building Materials*, donde se hace una revisión a diferentes autores que investigan el comportamiento del vidrio en el concreto.

En la literatura consultada también se encuentran otros estudios realizados en el concreto, donde se utiliza el vidrio como aditivo y sustituto del material cementante en las mezclas de concreto. Posteriormente se mencionarán dichos estudios:

Hongjian Du y Kiang Hwee Tan probaron el polvo de vidrio como reemplazante del cemento, este se utilizó para investigar las microestructuras, propiedades mecánicas y la durabilidad del concreto en periodos de largo plazo. Para el estudio reemplazaron hasta un 30% de cemento por polvo de vidrio, dando como resultado de esta reacción puzolánica, que todas las mezclas que contienen polvo de vidrio exhibían rendimientos superiores en comparación con el concreto de referencia. [11] Para realizar la trituración del vidrio y llevarlo al tamaño de partículas de polvo deseadas, se utilizó un molino de bolas a escala de laboratorio.

Por otra parte, Omran Arezki y Tagnit-Hamou investigaron el rendimiento del concreto con polvo de vidrio en aplicaciones de campo, donde establecieron que el polvo de vidrio mejora las características del concreto en cuanto durabilidad, absorción, resistencia a la permeabilidad de iones de cloruro y mayor resistencia a ciclos de congelación-descongelación. [12]

Otros estudios donde relacionaron en simultaneo el uso del polvo de vidrio y vidrio triturado, establecieron que la trabajabilidad del concreto se ve afectada en gran parte, dependiendo si el polvo de vidrio se usa como material cementante o como agregado fino, mientras que cuando se trata de la densidad, esta solo se ve afectada cuando el polvo de vidrio se usa para reemplazar el cemento, [13]

En otro tipo de concreto modificado llamado translucido, utilizaron vidrio reciclado, en este se investigaron las propiedades del concreto fresco y endurecido, con el fin de obtener un material duradero y cuantificar su translucidez. Se concluyó que es necesario lavar el material de vidrio con

el fin de garantizar los tiempos de fraguado del concreto y el desarrollo de la fuerza de este, todo esto se debe a que el material contaminado distorsiona la hidratación del cemento, utilizando más agua y mayor tiempo de fraguado, por lo que perjudica las propiedades mecánicas del concreto. En cuanto a la traslucidez, establecieron que esta depende del tamaño máximo de las partículas de vidrio, es decir, a mayor tamaño de partículas de vidrio se puede garantizar la traslucidez del concreto. [14]

En el 2017 en Colombia se llevó a cabo una investigación en la universidad libre de Pereira gracias a una hipótesis planteada por los mismos autores e investigadores, donde La adición de vidrio molido, tamizado o granular al concreto, permite aumentar su resistencia a la compresión. Para demostrar esto se utilizó el vidrio triturado como adición y se obtuvo como resultado de los ensayos de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto que como se planteó en la hipótesis, las probetas que contenían vidrio en cualquiera de las presentaciones y los porcentajes de estudio alcanzaron una resistencia mayor a las probetas testigo de mezcla común.

Se concluyó que, la mezcla ideal para cada tipo de vidrio se define como la mezcla en la cual la adición de vidrio maximiza la resistencia a la compresión de la mezcla de concreto.

Además, después de analizar los resultados del proceso de los laboratorios se determina que: La mezcla ideal para las probetas con adición de vidrio molido es la que contiene una proporción en peso del 5%; en el caso de la mezcla con adición de vidrio tamizado, la mezcla ideal la representa la que contiene una proporción en peso del 3% y entre tanto, al utilizar vidrio granular como aditivo, la mezcla ideal se alcanza con una proporción en peso del 5%

Así mismo, la mezcla ideal con la que se alcanza la máxima resistencia a la compresión de todo el estudio es la mezcla con 3% en peso de vidrio tamizado. Se determina que los resultados en

conjunto para los tres tipos de vidrio utilizados como aditivo en la mezcla de concreto en estudio no muestran un patrón de respuesta homogéneo, dado a que la acomodación final del vidrio en la probeta en el momento del ensayo puede influir directamente en la falla temprana del espécimen y por lo tanto representar una resistencia a la compresión menor.

Finalmente, analizando los resultados obtenidos del peso de las probetas con vidrio respecto a las de mezcla común, se concluye que la adición de vidrio en diferentes porcentajes genera un leve aumento en el peso del concreto, lo que se entiende como un comportamiento normal por tratarse de un material adicional a la mezcla común. Sin embargo, el porcentaje de aumento en el peso del concreto comparado con el aumento en la resistencia de este, no reviste gran impacto si se observa desde el punto de vista del beneficio que el vidrio les otorga a las propiedades mecánicas del material [15]

En cuanto a nivel local, en la UPB no se han desarrollado muchas investigaciones de este tipo de modificaciones del concreto, sin embargo, en el año 2015 se realizó un proyecto de grado donde se evaluó el comportamiento mecánico de bloques de concreto modificado con cenizas de locaciones petroleras. En este proyecto se realizó previamente un diseño de mezclas para cilindros de concreto con 5%, 10% y 15% de cenizas donde el porcentaje que presenta mejor rendimiento en el ensayo de resistencia a la compresión es el escogido para realizar 30 bloques de concreto. En la investigación, se concluyó que los bloques con 15% de ceniza presentan un incremento significativo en la resistencia compresión. [16]

Justificación

Reciclar es un acto de suma importancia para la sociedad dado que supone la reutilización de elementos y objetos que serían desechados, contribuyendo a formar grandes cantidades de basura y, en última instancia, dañando de manera continua al planeta, por lo que es necesario encontrarles una utilidad.

Cuando se trata de reciclaje, el vidrio tiene un lugar muy importante en esta actividad dado que este material puede ser reciclado en un 100% e infinidad de veces. El reciclaje de vidrio presenta una serie de beneficios como el ahorro de energía, la reducción de residuos y el consumo de materias primas. [17]

Teniendo en cuenta lo anterior y la problemática de la construcción en zonas costeras o isleñas por la escasez o ausencia de fuentes de extracción de agregados, el vidrio reciclado y triturado representa una buena alternativa para utilizarlo como agregado fino en el concreto, debido a que este presenta unas propiedades mecánicas similares a los materiales convencionalmente empleados y estudios han demostrado que al utilizar el vidrio en el concreto este aumenta su resistencia a compresión. [18]

Este proyecto de investigación tiene como fin conocer las diferentes dosificaciones de vidrio que sirven como alternativa para su uso en el concreto, asimismo se pretende percibir las propiedades físicas que presenta el vidrio triturado y reciclado como sustituto de la arena.

Objetivos

Objetivo general:

Evaluar el comportamiento mecánico de mezclas de concreto empleando diferentes proporciones de vidrio reciclado y triturado como sustituto de la arena.

Objetivos específicos:

- Verificar las propiedades físicas del vidrio reciclado empleado como sustituto, acorde a las Normas Técnicas Colombianas aplicables en agregados para concretos, mediante la caracterización de estos. (NTC-174)
- Determinar la variación de la densidad del concreto con sustituciones de vidrio triturado por agregado fino, respecto al concreto convencional.
- Evaluar la incidencia en la resistencia a la compresión de un concreto de 3000 psi empleando vidrio triturado como sustituto del agregado fino del concreto en proporciones del 10%, 15% y 20%.

Alcance

Teniendo en cuenta que este es un proyecto de investigación, tiene como fin medir la incidencia del vidrio triturado en el comportamiento mecánico del concreto de una resistencia de 3000 Psi, mediante la resistencia a la compresión del concreto simple empleando sustituciones de agregado fino convencional (arena) por vidrio triturado y reciclado en la ciudad de Bucaramanga, para valores predeterminados de sustitución del 10%, 15% y 20%.

Los agregados utilizados son los requeridos por la norma técnica colombiana NTC 174, la cual proporciona las especificaciones de los agregados para concreto. También se pretende verificar las propiedades físicas del vidrio como lo establece la norma técnica colombiana. Partiendo de la utilización del vidrio como agregado fino a este se le realizaron los ensayos de granulometría, densidad aparente, absorción, masa unitaria suelta y masa unitaria compacta.

Para el diseño de mezcla del concreto se utilizó el método ACI 211 y se realizaron los ensayos pertinentes para los agregados (fino y grueso).

Para este proyecto se realizaron 63 probetas en total, 54 probetas contienen agregado de vidrio, 6 por cada porcentaje de vidrio y 18 para sus respectivas edades de curado de 7, 14 y 28 días. Asimismo, se hicieron 9 probetas testigo con la misma edad de curado.

Todas las probetas son falladas mediante el ensayo de compresión simple en la máquina de compresión, con una capacidad máxima de 2000 KN facilitada por los laboratorios de la UPB, acorde a lo estipulado por la Norma NTC 673.

Capítulo 1: Marco teórico

En Colombia las normas que rigen el uso del concreto para diseños estructurales y demás uso comercial son la NTC 673, utilizada para determinar la resistencia del concreto, NTC 1377 y 550 que sirven para la elaboración de especímenes de concreto en el laboratorio y en obra, mientras que la NTC 174 establece los parámetros para la de gradación y calidad de los agregados finos y gruesos para uso en el concreto. A continuación, se describirán los conceptos necesarios para el desarrollo de este proyecto y cumplimiento del diseño metodológico.

1.1 Concreto

El concreto es una mezcla de cemento, agregados (fino y grueso) y agua que se caracteriza por alcanzar un estado de endurecimiento en poco tiempo, lo que lo hace de gran utilidad en construcciones; Este puede tener aditivos o no. Cuando se encuentra en estado fresco, este puede adoptar diferentes formas y cuenta con suficiente tiempo de manejabilidad, mientras que en estado de endurecimiento presenta grandes condiciones de cohesión. En cuanto su uso, este presenta una amplia utilización en estructuras de concreto puesto que se puede utilizar para placas, cimentaciones, columnas, vigas y muros.

1.1.1 Propiedades del concreto. [19]

Resistencia del concreto: El concreto al ser una masa endurecida que por su propia naturaleza es discontinua y heterogénea sus propiedades dependen de las características físicas y químicas de los materiales que lo componen y de las interacciones entre ellos.

Parámetros que varían la resistencia a compresión del concreto:

La relación agua-cemento (a/c): tiene influencia sobre la resistencia, la durabilidad, así como los coeficientes de retracción y de fluencia. También determina la estructura interna de la pasta de

cemento endurecida. La relación agua / cemento crece cuando aumenta la cantidad de agua y decrece cuando aumenta el contenido de cemento. En todos los casos, cuanto más baja es la relación agua / cemento más favorable son las propiedades de la pasta de cemento endurecida.

Influencia de los agregados: La distribución granulométrica juega un papel importante en la resistencia del concreto, ya que si esta es continua permite la máxima capacidad del concreto en estado fresco y una mayor densidad en estado endurecido, lo que se traduce en una mayor resistencia.

Tamaño máximo del agregado: El tamaño del agregado a elegir para el diseño de una mezcla de concreto se basará en el tamaño y forma del elemento que se va a construir.

Fraguado del concreto: Otro factor que afecta la resistencia del concreto es la velocidad de endurecimiento que presenta la mezcla al pasar del estado plástico al estado endurecido, es decir el tiempo de fraguado. Por tanto, es muy importante su determinación.

Edad del concreto: En general, se puede decir que a partir del momento en que se presenta el fraguado final del concreto, comienza realmente el proceso de adquisición de resistencia, el cual va aumentando con el tiempo.

Con el fin de que la resistencia del concreto sea un parámetro que caracterice sus propiedades mecánicas, se ha escogido la edad de 28 días como la edad óptima en la que se debe especificar el valor de resistencia del concreto.

Se debe tener en cuenta que las mezclas de concreto con menor relación agua-cemento aumentan de resistencia más rápidamente que las mezclas de concreto con mayor relación agua-cemento.

1.1.2 Agregados del concreto

El uso de agregados en el concreto tiene como objetivo reducir los costos en la producción de la mezcla (relleno adecuado para la mezcla, ya que reduce el contenido de pasta de cemento por metro cúbico), ayudar a controlar los cambios volumétricos (cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado, de curado y secado de la mezcla de concreto) y aportar a la resistencia final del material.

Los agregados tienen una participación entre el 65% y el 70% del total de la mezcla de concreto. La forma y textura superficial de las partículas individuales de cualquier tipo de agregado tienen una influencia importante en la manejabilidad del concreto en su estado fresco y en otras características físicas de su estado sólido. [20]

Agregado fino: El agregado fino debe estar compuesto de arena natural, arena triturada o una mezcla de esta, que pasa por el tamiz N° 4 (4.75 mm) y queda retenido en el tamiz N° 200 que cumple con los límites establecidos en la NTC 174. Los agregados finos deben estar compuestos de partículas limpias de perfil angular duras, libres de materia orgánica y otras sustancias dañinas; lo cual es determinado mediante los ensayos estipulados en la norma ASTM C40, así mismo debe estar graduado dentro de los límites dados en la norma NTC 174.

Agregado grueso: El agregado grueso debe estar compuesto de grava, grava triturada, roca triturada, o escoria de alto horno enfriada al aire o una combinación de ellos, material que es retenido en el tamiz 4.75 mm (N° 4), conforme a los requisitos de la NTC 174. Debe estar conformado por partículas limpias, de perfil preferiblemente angular, duras, compactas, resistentes y de textura preferiblemente rugosa, además deben ser partículas químicamente estables y libres de escamas, tierra, polvo, limo, materia orgánica, entre otras sustancias dañinas.

1.1.3 Propiedades de los agregados

Granulometría: Se define como la distribución de los tamaños que deben tener las partículas que constituyen los agregados.

Gradación del agregado fino y agregado grueso: evidencia los límites que debe tener una arena y una grava para determinar su gradación. Si el C.C (coeficiente de curvatura) es mayor a 1 y menor a 3 y así mismo el C.U (coeficiente de uniformidad) es mayor a 6, quiere decir que es una arena bien gradada (Sw), al no cumplir con estos criterios se obtiene una arena mal gradada (Sp), para el agregado grueso su criterio es C.C es mayor a 1 y menor que 3, al cumplir con dicho criterio se obtiene una grava bien gradada (Gw), al no cumplirse se obtiene una grava mal gradada (Gp).

Módulo de finura: Determina que tan fino y que tan grueso puede ser el material, a medida que el valor se acerca a cero indica que el agregado es más fino.

Tamaño máximo: Indica el tamaño más grande que existe en una masa de agregados.

Tamaño nominal: Este indica el tamaño promedio de las partículas más grandes que pertenece a una masa de agregado.

Densidad: Esta depende específicamente de las propiedades del origen de los agregados, y se define como relación del peso y el volumen de una masa determinada. Existen diferentes tipos de densidades tales como: absoluta, nominal y aparente.

Porosidad: Representa el porcentaje de poros presente en una partícula de agregados

Absorción: Está definida como la capacidad que tiene un material para absorber líquidos. [21]

1.2 Tipos de concreto

1.2.1 Concreto estructural.

Cuando se menciona este tipo de concreto, se usa para referirse a todo tipo de concreto simple, reforzado, presforzado o prefabricado que se utiliza con fines estructurales.

1.2.2 Concreto simple.

Este tipo de concreto es sin ningún tipo de refuerzo o con menos refuerzo que el mínimo especificado para concretos estructurales.

1.2.3 Concreto presforzado.

Tiene la finalidad de eliminar los esfuerzos a tensión por medio de esfuerzos artificiales de compresión que son introducidos antes de aplicar la carga real.

1.2.4 Concreto prefabricado.

Está definido como miembro que hace parte del concreto estructural y es construido en un lugar diferente a la ubicación final del proyecto o edificación.

1.2.5 Concreto liviano.

Como lo dice su nombre, este tipo de concreto es el que cuenta con agregados livianos, con una densidad de equilibrio como lo define la ASTM C567

1.2.6 Concreto lanzado.

Conocido por su uso en trabajos subterráneos como túneles o trabajos de minería. Este tiene la capacidad de proteger para que la mezcla pueda emparejar la superficie y se aplique un recubrimiento impermeable. También se utiliza para recubrimientos de la impermeabilización, así como para la protección de taludes y excavaciones.



Figura 1 . Concreto lanzado [22]

1.2.7 Concreto ciclópeo.

Es un concreto utilizado en la construcción, el cual está constituido por los mismos agregados del concreto convencional. A este tipo de material se le agregan piedras de gran tamaño, estas no van en la mezcladora si no en el lugar donde va a ir el concreto, para el posterior vaciado de la mezcla.



Figura 2. Concreto ciclópeo. [23]

1.2.8 Concreto autonivelante.

También llamado concreto de alta fluidez, el cual utiliza aditivos fluidificantes que permiten mejorar la trabajabilidad para un mismo contenido de agua, y mejorar la resistencia mediante la disminución del contenido de agua.

1.3 Concreto modificado

Este tipo de concreto es aquel que difiere de los esquemas comunes de las relaciones de agua, cemento y agregados, buscando mejorar las características de concretos convencionales. Sus beneficios van desde lo económico, características estructurales, innovaciones y contribuciones al medio ambiente. En cuanto a sus características mecánicas, se pueden estudiar los efectos en el tiempo, fátiga y módulos elásticos.

1.3.1 Tipos de concreto modificado

1.3.1.1 Con residuos industriales.

Como función principal busca mejorar las propiedades del concreto, minimizando costos y mitigar las problemáticas ambientales que dichos productos puedan ocasionar.



Figura 3. Concreto con polímeros. [24]

- **PROLIPROPILENO.** Es un termoplástico semicristalinos, que posee una gran capacidad de recuperación elástica la cual favorece al concreto. Este tipo de material presenta poca absorción de agua por lo que el concreto no presenta mucha humedad.
- **COPOLIMERO.** Puede mejorar el concreto en condiciones de bajas temperaturas y posee mayor resistencia al impacto.
- **HOMOPOLIMERO.** Este material le brinda al concreto alta dureza y resistencia en altas temperaturas, pero en situaciones por debajo de los 0°C es quebradizo.
- **POLIESTIRENO.** Es un polímero termoplástico que brinda condiciones de mayor elasticidad, resistencia a agentes químicos, térmicos y eléctricos, así como una baja densidad.
- **PLORICLORATO DE VINILO.** Se obtiene de dos materias primas naturales, cloruro de sodio y petróleo, le brinda al concreto las fortalezas ante la abrasión y baja densidad

1.3.1.2 Concreto con látex:

En este tipo de concreto las moléculas del polímero de látex recubren las partículas de los agregados y del cemento llenando los huecos. Este material le brinda al concreto una mayor resistencia, impermeabilización, mejor flexibilidad, resistencia a las congelaciones y descongelaciones y una mejor adherencia.

Los concretos con látex se utilizan principalmente para tableros de puentes, rampas u otras extensiones de concreto en las que se somete a altas temperaturas. Una de sus mayores ventajas es que puede llegar a alcanzar una resistencia a la compresión mayor a 100 MPa.

En otras aplicaciones se utiliza el caucho para mejorar las propiedades de los concretos asfálticos, dándole un uso a las llantas o neumáticos que terminan su vida útil. Su principal capacidad es

absorber energía plástica, presenta una alta resistencia a la fatiga y disminuye el ahuellamiento en las mezclas.

1.3.1.3 Concreto con resinas.

En el concreto esta funciona como un aglutinante que lo protege del medio ambiente. También puede evitar la absorción de agua y transferir las cargas a los agregados.

1.3.1.4 CONCRETOS MODIFICADOS CON VIDRIO

A lo largo de la historia se han desarrollado diferentes estudios para evaluar el comportamiento que tiene el vidrio en los agregados finos o en el cemento en mezclas de concreto:

En uno realizado por Cement and Concrete Composites en su publicación de Properties of high volume glass powder concrete, probaron el polvo de vidrio como reemplazante del cemento, en él se demostró que todas las mezclas que contienen polvo de vidrio exhibían rendimientos superiores en comparación con el concreto de referencia. [11]

Otro ejemplo, es el estudio realizado por Construction and Building Materials para investigar el rendimiento del concreto con polvo de vidrio en aplicaciones de campo, en este se encontró que, en el concreto el polvo, de vidrio mejora sus características en cuanto a durabilidad, absorción, resistencia a la permeabilidad de iones de cloruro y mayor resistencia a ciclos de congelación-descongelación. [12]

Otro hallazgo importante fue una investigación realizada por la universidad libre de Pereira en el año 2017, donde se comprobó que la adición de vidrio molido, tamizado o granular al concreto, permite aumentar su resistencia a la compresión. [15]

En síntesis, Se puede utilizar el vidrio en diferentes proporciones, dependiendo la dosificación puede aumentar la resistencia a la compresión y dado que este material presenta una absorción casi nula hace que la mezcla necesite menor cantidad de agua. Los materiales de vidrio son usados usualmente como adiciones o sustituciones en el agregado fino o bien sea en el cemento.

Mientras tanto la fibra de vidrio Puede llegar a mejorar la resistencia a la tracción y flexión y disminuye el agrietamiento del concreto por contracciones plásticas. Este tipo de material es muy rico en concreto.

1.4 Diseño de mezclas para concretos. Método ACI 211

Es un proceso de selección mediante el cual se escogen los materiales más adecuados con la combinación ideal, con el fin de proporcionar un concreto que cumpla con todos los requisitos establecidos por las normas que lo rigen y con la resistencia deseada por el diseñador. En su estado fresco debe proporcionar garantías de trabajabilidad y consistencia adecuada, mientras que en estado endurecido debe ser capaz de soportar las cargas para las que fue diseñado.

Existen varios métodos para diseños de mezclas de concreto como lo son el método de comité ACI 211, método de Fuller, método de combinación de agregados y el método de Walker. A continuación, se mencionarán los aspectos más importantes del método ACI 211 debido a que este fue el utilizado en la realización de este proyecto.

En el diseño de mezclas del método ACI 211 se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones básicas: Economía, Trabajabilidad, dosificación de los agregado, resistencia y durabilidad.

En la realización de un diseño de mezclas se deben de tener en cuenta las propiedades de la granulometría, módulo de finura de la arena, humedad de los agregados, tipo de cemento, absorción, masa unitaria y densidad de los agregados pétreos. [25]

Procedimiento general para un diseño de mezclas:

- Caracterización de los agregados
- Calcular Tamaño máximo nominal
- Determinar la resistencia promedio
- Calcular el asentamiento
- Calcular contenido de agua y aire
- Calcular la relación agua/cemento
- Calcular volumen de los agregados
- Calcular el porcentaje de agregado fino y agregado grueso
- Calcular el peso seco de los agregados
- Calcular la cantidad de material por m³
- Realizar correcciones por humedad
- Calcular humedad superficial y agua efectiva

1.5 Resistencia a la compresión del concreto

La resistencia a la compresión del concreto es la medida más común de desempeño que emplean los ingenieros para diseñar edificios y otras estructuras. La resistencia a la compresión se mide tronando probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión, en tanto la resistencia a la compresión se calcula a partir de la carga de ruptura dividida entre el área de la sección que resiste a la carga y se reporta en mega pascales (MPa) en unidades SI.

El ensayo universalmente conocido para determinar la resistencia a la compresión es el ensayo sobre probetas cilíndricas elaboradas en moldes especiales que tienen 150 mm de diámetro y 300 mm de altura. Las normas NTC 550 y 673 son las que rigen los procedimientos de elaboración de los cilindros y ensayo de resistencia a la compresión respectivamente [20]

Capítulo 2: Metodología

El diseño metodológico de este proyecto de grado se basa en un modelo de investigación experimental, debido a que fue necesario realizar pruebas de laboratorio que permiten analizar el comportamiento del vidrio triturado en las mezclas de concreto.

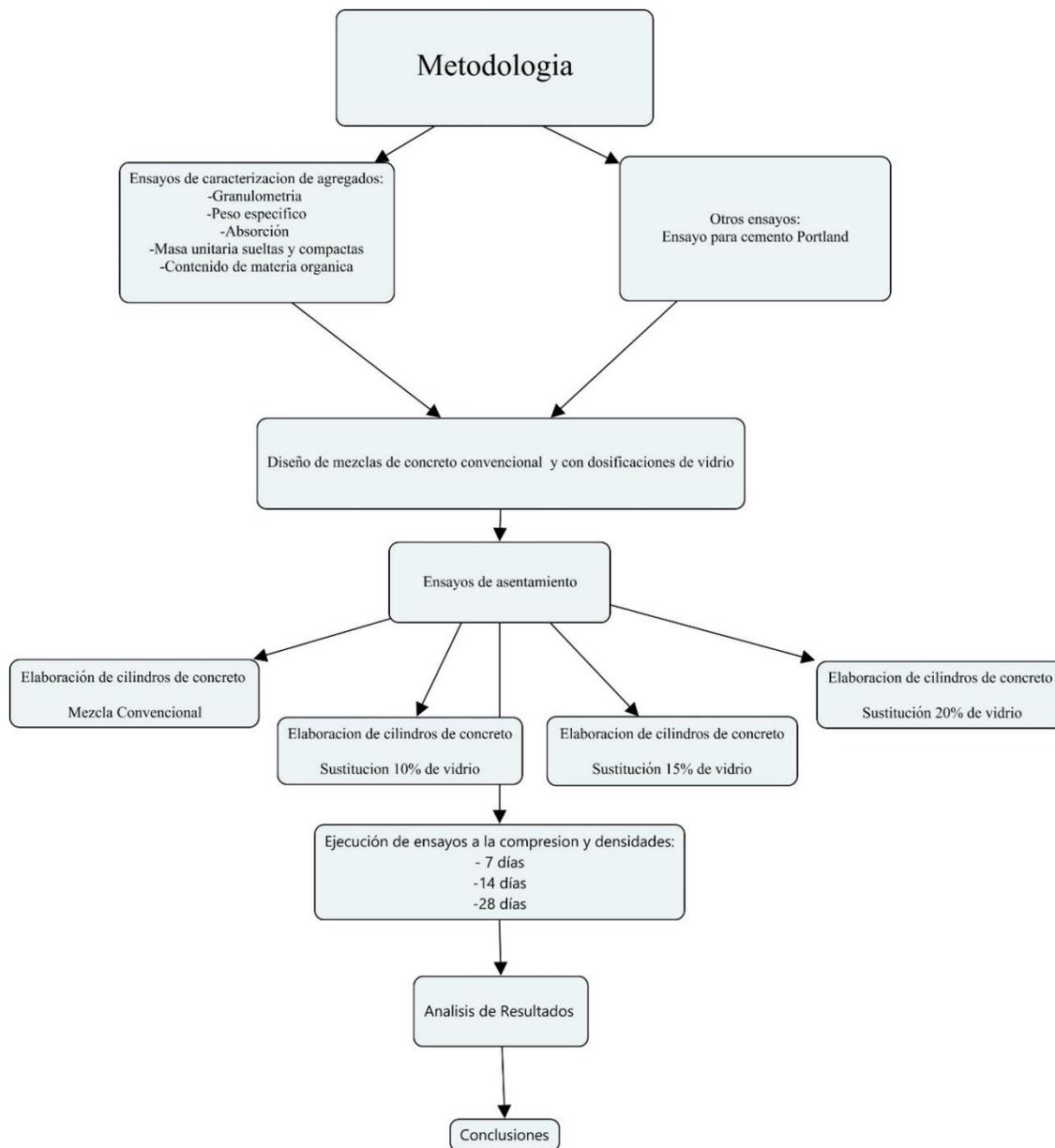


Figura 4 Diseño metodológico

2.1 Materiales

Los materiales utilizados para este proyecto fueron proporcionados por los investigadores. El material utilizado como agregado grueso es proveniente de pescadero, mientras que los demás materiales se obtuvieron en el área metropolitana de Bucaramanga. En cuanto al vidrio, se adquirió de una empresa de reciclaje de la misma ciudad.

2.1.1 Ensayos para los agregados pétreos.

Para la elaboración de los cilindros de concreto con una resistencia de 3000 PSI se caracterizó el material granular por medio de los ensayos descritos a continuación:

Granulometría para agregados fino y grueso (NTC 77)

Masas unitarias sueltas y compactas para agregados fino y grueso (NTC 92)

Peso específico para absorción en agregados fino y grueso (NTC 237)

Contenido de materia orgánica (NTC 127)

2.1.2 Granulometría para agregados fino y grueso (NTC 77)

En esta norma se establecen los requisitos de gradación y calidad para los agregados finos y gruesos, para uso en concreto.

- El material para caracterizar se extiende y se mezcla manualmente hasta lograr homogeneidad en el material.
- Se procede a secar el material por medio del horno a una temperatura de 110°C durante 24 horas.
- Se arma el juego de tamices y se procede a tamizar el material. Aproximadamente 1000gr.

- Se obtienen los datos de los pesos retenidos por cada tamiz. se determina el módulo de finura para el agregado fino y el tamaño máximo nominal para el agregado grueso.

2.1.3 Masas unitarias sueltas y compactas para agregados fino y grueso (NTC 92)

Por medio de esta norma determina la masa unitaria en condición compactada o suelta y el cálculo de los vacíos que existe entre las partículas de agregados finos, gruesos o mezclados.

- Se registran los pesos de los moldes cilíndricos y se calcula su volumen.
- Para masas sueltas se llena el molde y se registra su peso, este procedimiento se realiza tres veces y se obtiene un peso promedio.
- Para masas compactas se llena el molde cilíndrico en tres capas diferentes y para cada capa se le dan 25 golpes respectivamente. Luego del llenado del molde se procede a enrazar el mismo. Este procedimiento también se realiza tres veces y se obtiene un peso promedio.
- Para finalizar se calculan las masas unitarias, donde se divide el peso promedio sobre el volumen del molde.

2.1.4 Peso específico para absorción en agregados fino y grueso (NTC 237)

Por medio de este método se determina la densidad aparente y nominal, a una condición de temperatura de $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la absorción del agregado fino.

- Se pesan aproximadamente 1000gr del material para dejarlo sumergido en agua durante 24 horas.
- Después de dejar el material en agua, pasadas las 24 horas se extiende el material en una superficie plana y se espera que vaya perdiendo humedad.

- Mientras que el material va perdiendo humedad y va obteniendo un secado homogéneo, se va realizando el ensayo del cono de arena donde este se va llenando en tres capas con 25 golpes respectivamente. Luego se levanta el cono y se observa si el material ya ha alcanzado el secado deseado.
- Se procede a pesar una muestra de 500 gramos del agregado fino para envasarla en un picnómetro de 500 cm³, este se llena con agua y se hace girar para eliminar las burbujas de aire atrapadas.
- Se registran los pesos del picnómetro y peso del picnómetro más agua y material. Luego el material se embaza en un platón para dejarlo secar en el horno durante 24 horas. Se registran los pesos antes y después del proceso de secado.
- Para finalizar se realizan los cálculos que indica la NTC 237 y se obtiene la gravedad específica aparente.

2.1.5 Contenido de materia orgánica (NTC 127)

Esta norma presenta procedimientos para una determinación aproximada de la presencia de impurezas orgánicas perjudiciales para el agregado fino usado en mortero de cemento hidráulico o en concreto.

- Se disuelven 3 partes por peso de hidróxido de sodio en 97 partes de agua en un recipiente de vidrio.
- La botella de vidrio se llena hasta alcanzar el nivel de 130 ml con la muestra del agregado fino.

- Luego se le adicionan 200 ml de agua. Se tapa el recipiente y ese se agita para luego dejarlo en reposo durante 24 horas.
- Para finalizar se compara el color de la muestra colocando el recipiente al lado de la carta de colores Gardner y se determina su grado de materia orgánica.

2.1.6 Ensayo para cemento portland. (NTC 221)

Está norma establece el método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico. Su principal utilidad está relacionada con el diseño y control de las mezclas de concreto.

El cemento que se utilizó en esta investigación es CEMEX de uso estructural.

- Se procede a pesar 64 gramos de cemento como lo indica la norma.
- El Frasco de le Chatelier se llena con kerosene entre 0 y 1 ml de altura. Este punto se registra como punto inicial.
- Seguidamente se agregan los 64 gramos de cemento, evitando salpicaduras y que el material no quede en las paredes interiores del frasco.
- Se procede a tapar el frasco y se empieza girar con el fin de que no queden atrapadas burbujas de aire.
- Se sumerge el frasco en un baño de agua para evitar variaciones en la temperatura.
- Posteriormente se registra el dato final del volumen alcanzado por el kerosene. Este punto se registra como punto final.
- Para finalizar se calcula la diferencia entre el punto final y el punto inicial. Dicha diferencia es el volumen de líquido desplazado por el peso del cemento.

2.2 Elaboración de cilindros de concreto (NTC 1337)

Esta norma establece los procedimientos a llevar a cabo para la elaboración y curado de muestras de concreto en el laboratorio.

Para esta investigación el concreto fue mezclado en un trompo o mezcladora mecánica y los especímenes cilíndricos tienen dimensiones de 30 X 15 cm. Los cilindros de concretos fueron realizados con el diseño de mezcla pertinente y con los materiales debidamente caracterizados.

- Antes de empezar la rotación de la mezcladora se procede a introducir el material. Agregado grueso para empezar y luego un poco de agua. Cuando esté en funcionamiento la mezcladora se adiciona el agregado fino, el cemento y el restante de agua.
- Después de que todos los componentes estén en la mezcladora, se mezcla el concreto durante tres minutos, se deja reposar otros tres minutos y luego se mezcla por dos minutos.
- Para evitar la segregación se procede a mezclar de manera manual por medio de pala o palustres, hasta que la mezcla obtenga una apariencia uniforme.
- Inmediatamente después de terminado el mezclado se procede a medir el asentamiento de la mezcla como lo estipula la NTC 396.
- Se procede a la elaboración de los cilindros, previamente estos deben estar engrasados para evitar que el concreto se adhiera a las paredes interiores, dificultando así el posterior desencofrado.
- El concreto se coloca en los moldes por medio de un cucharón o una pala. Se realiza el llenado por medio de tres capas y cada una de estas es sometida a 25 golpes con una varilla de compactación.

- Después de la compactación se afinan las superficies superiores enrasándolas con la varilla de compactación.
- Los especímenes de concreto se retiran de los moldes cilíndricos 24 horas después de fundidos.
- Posteriormente los especímenes de concreto son sumergidos en agua como lo establece la NTC 1377 para un tiempo de curado de 7, 14 y 28 días.
- Por último, los especímenes de concreto son sometidos al ensayo de compresión simple de acuerdo con la NTC 673.

2.3 Diseños de mezclas

Se realizó un diseño de mezclas para cilindros de concreto con una resistencia de 3000PSI por medio del método ACI 211.

Para este diseño se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

- Tipo de mezcla: se obtuvo una mezcla de consistencia plástica.
- Asentamiento: previamente se definió un asentamiento entre 6 y 10cm
- Cantidad de vidrio como agregado fino: este se definió a partir de los cálculos de densidades de la arena y el vidrio, partiendo de 10%, 15% y 20% de agregado de vidrio como sustituto de la arena.
- Volumen del agregado grueso: se calculó a partir de las masas unitarias compacta de los agregados, la gravedad específica y el módulo de finura del agregado fino.

Densidad de los materiales: se calcularon con lo establecido por las NTC 237 Y 221 para los agregados (fino y grueso) y para el cemento respectivamente

2.3.1 Tabla de asentamientos

Asentamientos mezcla con agregado de vidrio	Asentamiento mezcla convencional
<p>10% = 6.5 cm</p> <p>15% = 6 cm</p> <p>20% = 6.5 cm</p>	6.5 cm

Tabla 1 Asentamientos

Estos asentamientos fueron determinados mediante el método de ensayo de la NTC 396, que establece los parámetros para determinar el asentamiento del concreto en obra y laboratorio.

2.3.2 Tabla de diseño de mezcla convencional

Agregado Grueso	
Masa Unitaria Compacta (Kg/m ³)	1404.76
Gravedad Especifica Aparente	2.42
Relación A/C	0.56
Cantidad de Agua	195 litros

Tabla 2 Diseño de mezcla convencional

2.3.3 Diseño de mezcla para 1m³ de concreto

Este diseño de mezclas se realizó para un metro cubico de concreto.

Material	Peso (kg)	Volumen (m ³)
cemento	348	0.119
Arena	669	0.271
Agregado Grueso	960	0.394
Agua (litros)	206	0.206

b/b _o =	0.669
--------------------	-------

Tabla 3 Diseño de mezcla para 1 m³ de concreto

2.3.4 Diseño de mezcla para 9 cilindros de concreto

Cilindros de 30 x 15cm		
Volumen (m ³)	0.057	Peso (Kg)
cemento Cemex (para 1 m³)	348.21	19.94
agregado fino (para 1 m³)	669.32	38.32
Agregado grueso (para 1 m³)	960.64	55.00
Agua (litros)	206.60	10.38

Tabla 4 Diseño de mezcla para 9 cilindros de concreto

Nota: Inicialmente la cantidad de agua calculada en el diseño de mezclas era de 12 litros, pero luego del ensayo de asentamiento y mezclado de los materiales se observa que la mezcla necesita menos cantidad de agua de la calculada en el diseño previo.

2.3.5 Diseño de mezcla con 10% de vidrio.

Materiales	Peso (kg)
Cemento	39.00
Arena	69.00
Agregado Grueso	110.00
Agua (Litros)	22.63
Vidrio	9.39

Tabla 5 Diseño de mezcla para cilindros con 10% de vidrio.

Nota: Inicialmente la cantidad de agua calculada en el diseño de mezclas era de 24 litros, pero luego del ensayo de asentamiento y mezclado de los materiales se observa que la mezcla necesita menos cantidad de agua de la calculada en el diseño previo.

2.3.6 Diseño de mezclas con 15% De Vidrio

Materiales	Peso (kg)
Cemento	39.00
Arena	65.15
Agregado Grueso	110.00
Agua (Litros)	21.66
Vidrio	14.09

Tabla 6 Diseño de mezcla para cilindros con 15% de vidrio.

Nota: Inicialmente la cantidad de agua calculada en el diseño de mezclas era de 24 litros, pero luego del ensayo de asentamiento y mezclado de los materiales se observa que la mezcla necesita menos cantidad de agua de la calculada en el diseño previo.

2.3.7 Diseño de mezcla con 20% de vidrio

Materiales	Peso (kg)
Cemento	39.00
Arena	61.32
Agregado Grueso	110.00
Agua (Litros)	20.84
Vidrio	18.78

Tabla 7 Diseño de mezcla para cilindros con 20% de vidrio.

Nota: Inicialmente la cantidad de agua calculada en el diseño de mezclas era de 24 litros, pero luego del ensayo de asentamiento y mezclado de los materiales se observa que la mezcla necesita menos cantidad de agua de la calculada en el diseño previo.

2.4 Elaboración de cilindros de Concreto

Se elaboraron probetas cilíndricas según la NTC 1377 para ser sometidas a pruebas de compresión simple acorde a lo estipulado por la NTC 673.



Figura 5 Curado de especímenes de concreto

2.5 Ensayos de resistencia a la compresión y densidad.

Los ensayos se realizaron según lo estipulado por la NTC 673 donde se establecen los parámetros que deben cumplir los especímenes para realizar el ensayo. A continuación, se mostrarán los tiempos de curado y tolerancia admisible para poder hacer las pruebas de resistencia y densidad de los cilindros.



Figura 6 concreto sometido al ensayo de compresión

2.5.1 Edades de curado para ensayos de compresión [26]

Edad de ensayo	Tolerancia admisible
24 h	0.5 h o 2.1%
3 d	2 h o 2.8%
7 d	6 h o 3.6%
28 d	20 h o 3.0%
90 d	2 d o 2.2%

Figura 7 Edades de curado

La figura 7 es tomada de la NTC 673, donde se establecen las edades de curado y tolerancia admisible para realizar ensayos de compresión al concreto.

Capítulo 3: Resultados y discusiones

3.1 Resultados caracterización de los materiales de la mezcla de concreto

Se llevó a cabo la caracterización de los materiales, a continuación, se detallarán, dichos resultados, así como las granulometrías, ensayos de masa unitaria y peso específico.

3.1.1 Granulometría: Agregado fino (ARENA)

La granulometría realizada al agregado fino (arena) se llevó a cabo como lo estipula la norma técnico-colombiana (NTC-174), la cual establece las especificaciones de los agregados para el concreto. Para la obtención de la curva granulométrica se utilizó la (NTC 1522), esta describe los tamices por donde debe pasar y la cantidad de material que debe estar retenido en cada tamiz.

El ensayo dio como resultado que el material es una arena SP, es decir que es pobremente graduada, en la cual más del 50% de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4. Además, se calculó el módulo de finura el cual es 2,8 y se ajusta a los valores establecidos por la NTC 174 en los que los módulos de finura no deben ser menor a 2,3 ni mayores de 3,1.

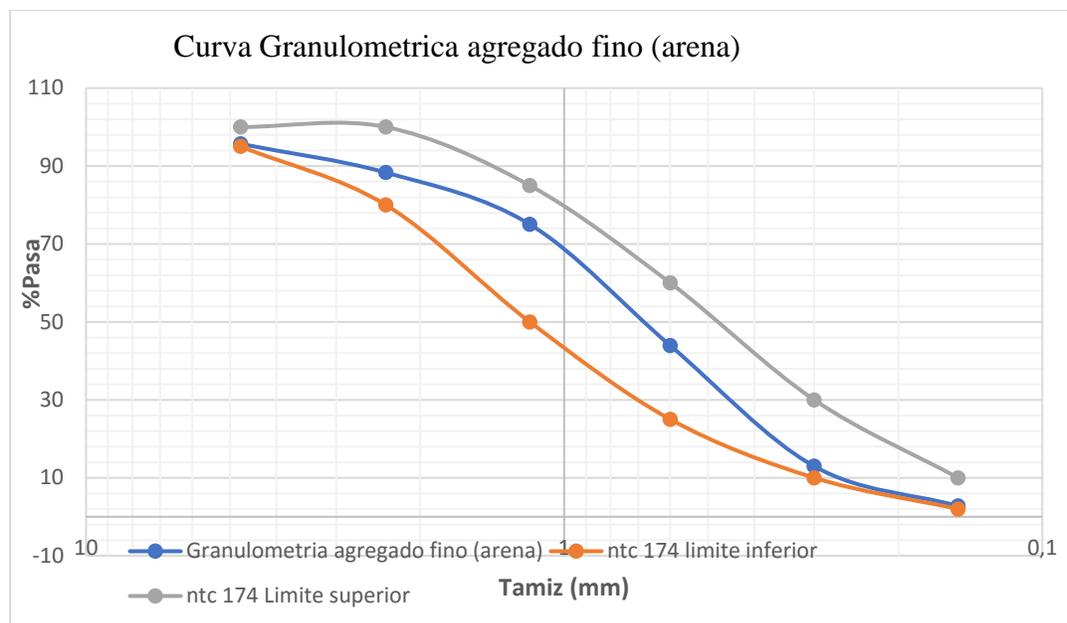


Figura 8 Curva Granulométrica de la arena

ABERTURA(mm)	TAMIZ	MATERIAL RETENIDO (g)	%RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	%PASA
4.75	4	85.6	4.3	4.3	95.66
2.36	8	145	7.4	11.69	88.31
1.18	16	261.8	13.3	24.97	75.03
0.6	30	613.4	31.1	56.07	43.93
0.3	50	610.8	31.0	87.04	12.96
0.15	100	201.4	10.2	97.25	2.75
	FONDO	53.4	2.7	99.96	0.04

D10	0.23	mm
D30	0.47	mm
D60	1.07	mm

Módulo de finura
2.81

C.C	0.90	1<cc<3	¿SW o SP?	SP
C.U	4.652	cu>6		

Tabla 8 Granulometría de la arena

En la figura 8 se determinó el porcentaje que pasa versus el diámetro de cada tamiz, mostrando que al separar cada tamiz el material fue el indicado y su curva granulométrica fue la correcta, notándose que fue adecuada la diferencia que pasa por cada tamiz.

3.1.2 Granulometría: agregado grueso

Para la granulometría del agregado grueso también se utilizaron las NTC 1522 y 174, cumpliendo así el material con los requisitos de gradación para agregado grueso. Este agregado g cuenta con una tamaño máximo y tamaño máximo nominal de 1 pulgada y es una grava bien graduada. Además, el material presenta dos tamaños predominantes $\frac{3}{4}$ y $\frac{1}{2}$ pulgadas.

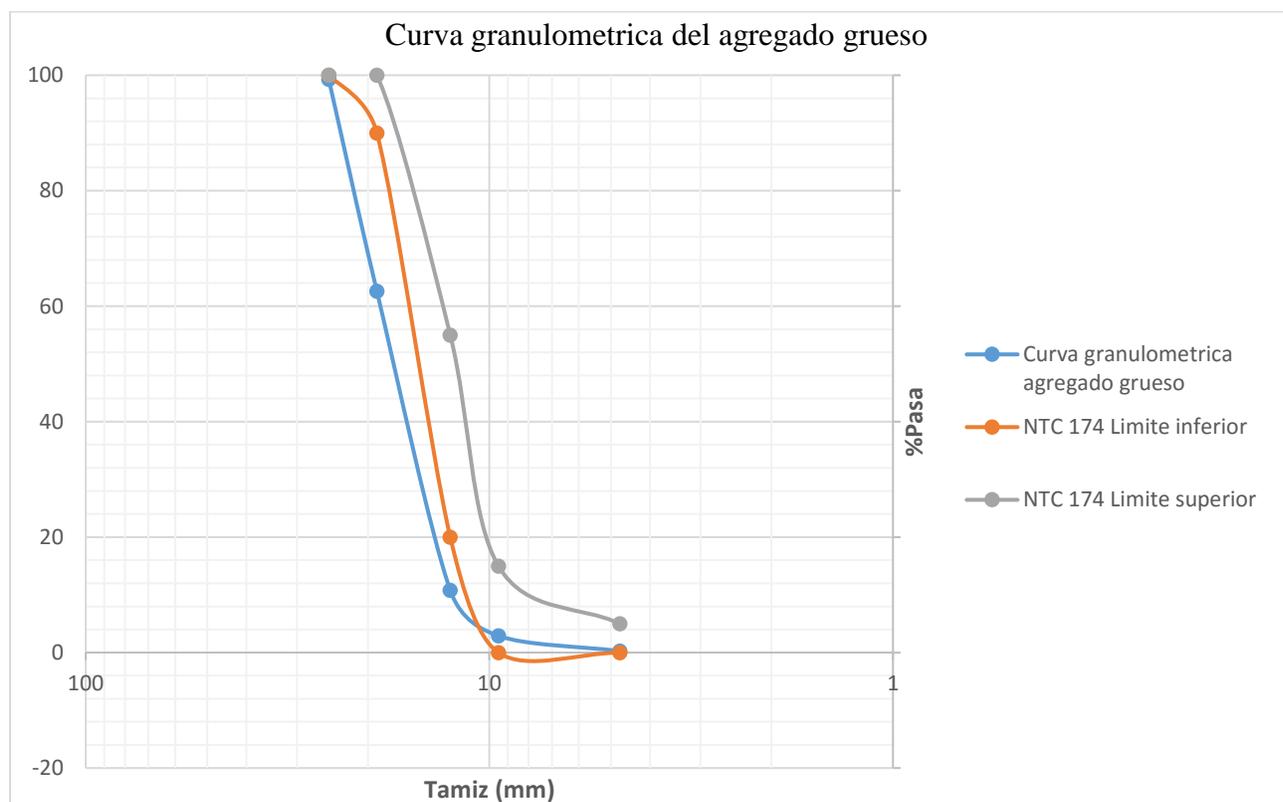


Figura 9 Curva granulométrica del agregado grueso

TAMIZ	ABERTURA	MATERIAL RETENIDO (g)	%RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	%PASA
1"	25.0	77	0.69	0.69	99.31
3/4"	19.0	4120	36.70	37.39	62.61
1/2"	12.5	5818	51.83	89.21	10.79
3/8"	9.5	884	7.87	97.09	2.91
4	4.75	298	2.65	99.74	0.26
FONDO		18	0.16	99.90	0.10
		11215			

D10	4.2	mm	TM	1"
D30	14.9	mm		
D60	18.67	mm	TMN	1"

C.C	2.83	1<cc<3	¿GW o GP?	GW
C.U	4.45	cu>4		

Tabla 9 Granulometría del agregado grueso

3.1.3 Granulometría: Agregado fino (vidrio)

Al igual que la arena, el vidrio se utilizó como agregado fino por lo que fue necesario realizar los mismos ensayos de granulometría como lo establece la NTC 77 Y 1522, dando como resultado que el vidrio presenta unas características similares a la de la arena, mostrando que el vidrio queda clasificado como una arena pobremente grada, con un módulo de finura de 3,04 lo cual indica que es una arena gruesa, pero se encuentra en el límite de los módulos de finura establecidos por la NTC 174.

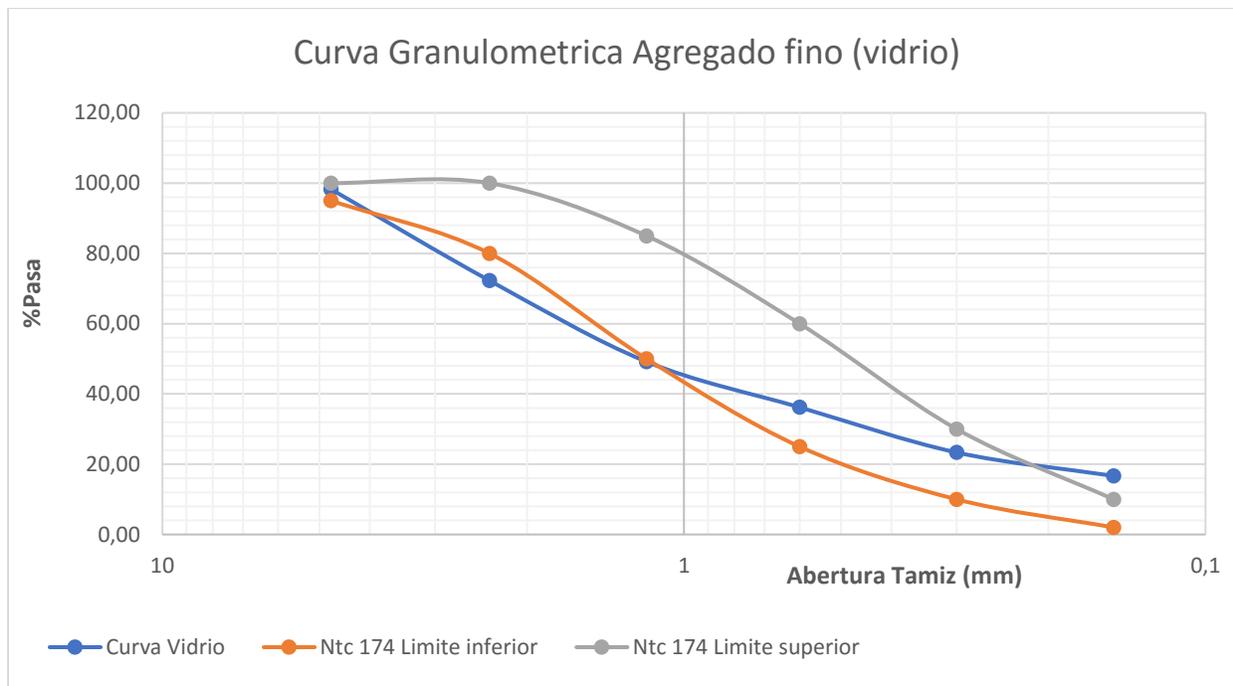


Figura 10 Curva granulométrica del vidrio

TAMIZ	ABERTURA	MATERIAL RETENIDO (gr)	%RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	%PASA
4	4.75	17.4	1.73	1.73	98.27
8	2.36	260.8	25.99	27.73	72.27
16	1.18	231.6	23.08	50.81	49.19
30	0.6	130.4	13.00	63.80	36.20
50	0.3	129	12.86	76.66	23.34
100	0.15	67	6.68	83.34	16.66
FONDO		165.4	16.48	99.82	0.18
		1001.6			

D10	1	mm
D30	0.46	mm
D60	1.73	mm

C.C	0.12	1<cc<3	¿SW o SP? SP
C.U	1.73	cu>6	

Figura 11 Granulometría del vidrio

3.2 Ensayos de masa unitaria

3.2.1 Masa unitaria suelta del agregado fino (arena)

La NTC 92 establece el procedimiento para la obtención de la masa suelta del agregado fino, este se realiza tres veces y se encuentra un promedio de los pesos del molde más el agregado fino. Para el cálculo de la masa suelta es necesario realizar la diferencia de pesos entre el peso del molde más el agregado fino y el peso del molde cilíndrico. Luego dicha diferencia se divide en el volumen del molde.

Muestra #	MASA SUELTA + MOLDE (kg)
1	10.304
2	10.309
3	10.376

masa promedio (Kg)	10.296
---------------------------	--------

Densidad promedio (kg/m³)	1453.49
---	---------

Tabla 10 Masa unitaria suelta agregado fino (arena)

3.2.2 Masa unitaria compacta del agregado fino (arena)

Para la masa unitaria compacta también se utilizó la NTC 92, con la variación que a cada capa que se deposita en el molde se debe compactar con una varilla de compactación. Al igual que en la masa unitaria suelta el procedimiento se realiza tres veces.

Muestra #	MASA COMPACTA + MOLDE (KG)
1	10.790
2	10.852
3	10.881

masa promedio (Kg)	10.841
Densidad promedio (kg/m³)	1563.08

Tabla 11 Masa unitaria compacta del agregado fino (arena)

3.2.3 Masa unitaria suelta del agregado grueso

De acuerdo con la NTC 92 el procedimiento se debe realizar tres veces al igual que la masa unitaria suelta del agregado fino, pero para este tipo de agregado se utiliza un molde cilíndrico más grande

Muestra #	MASA SUELTA + MOLDE (KG)
1	18.789
2	17.084
3	18.714

masa promedio (Kg)	18.196
Densidad promedio (kg/m³)	1411.54

Tabla 12 Masa unitaria suelta del agregado grueso.

3.2.4 Masa unitaria compacta del agregado grueso

Se tiene en cuenta el mismo procedimiento que se utiliza para la masa unitaria del agregado grueso con la variación de la compactación por capa por medio de la varilla.

Muestra #	MASA COMPACTA + MOLDE (KG)
1	18.252
2	17.155
3	18.517

masa promedio (Kg)	17.975
Densidad promedio (kg/m³)	1563.08

Tabla 13 Masa unitaria compacta del agregado grueso

3.2.5 Masa unitaria suelta del agregado fino (vidrio)

Muestra #	MASA SUELTA + MOLDE (kg)
1	10.660
2	10.691
3	10.730

masa promedio (Kg)	10.841
Densidad promedio (kg/m³)	1563.08

Tabla 14 Masa unitaria suelta del agregado fino (vidrio)

3.2.6 Masa unitaria compacta del agregado fino (vidrio)

Muestra #	MASA COMPACTA + MOLDE (kg)
1	11.800
2	11.753
3	11.777

masa promedio (Kg)	11.776
Densidad promedio (kg/m ³)	1751.31

Tabla 15 Masa unitaria compacta del agregado fino (vidrio)

3.3 Ensayos de peso específico

3.3.1 Peso específico del agregado fino (arena)

Peso específico del agregado fino			
Picnómetro + Agua (g)		Picnómetro + Agua + Arena (g)	
B.	691	C.	956
Masa inicial del suelo (g)		Masa final del suelo seco (g)	
S.	500	A.	493
Gravedad específica Bulk			
Gsb 23/23 °C sp gr=		2.44	
Gravedad específica Bulk Saturada			
Gsb 23/23 °C sp gr=		2.47	
Gravedad específica aparente			
Gsb 23/23 °C sp gr=		2.53	
Absorción (%)		1.42	

Tabla 16 Resultados del ensayo de peso específico de la arena

3.3.2 Peso específico del agregado grueso

Peso específico del agregado grueso			
B.	5000	C.	2962
	Masa inicial del suelo (g)		Masa final del suelo seco (g)
S.	5000	A.	4946
Gravedad específica Bulk			
	Gsb 23/23 °C sp gr=		2.42
Gravedad específica Bulk Saturada			
	Gsb 23/23 °C sp gr=		2.45
Gravedad específica aparente			
	Gsb 23/23 °C sp gr=		2.49
	Absorción (%)		1.1

Tabla 17 Resultados del ensayo de peso específico del agregado grueso

3.3.3 Peso específico del agregado fino (vidrio)

Peso específico del agregado fino			
	Picnómetro + Agua (g)		Picnómetro + Agua + Arena (g)
B.	691	C.	991
	Masa inicial del suelo (g)		Masa final del suelo seco (g)
S.	500	A.	499
Gravedad específica Bulk			
	Gsb 23/23 °C sp gr=		2.99
Gravedad específica Bulk Saturada			
	Gsb 23/23 °C sp gr=		2.99
Gravedad específica aparente			
	Gsb 23/23 °C sp gr=		3
	Absorción (%)		0.2

Tabla 18 Resultados del ensayo de peso específico del vidrio

El vidrio presenta unas características parecidas al agregado fino tradicional, sin embargo, este tiene una capacidad de absorción mínima, esto conlleva a que las mezclas que contengan el material de vidrio presenten una disminución considerable en cuanto a la cantidad de agua.

3.3.4 Peso específico del cemento

Cemento	64	g
Temperatura	23	°C
Lecturas		
Inicial	0.2	ml
Final	22.2	ml
Gravedad especifica	2.90	

Tabla 19 Peso específico del cemento

Para este ensayo se utiliza la NTC 221, la cual establece el proceso experimental para determinar la densidad del cemento, la cual se define como la masa del volumen unitario de los sólidos. El resultado del ensayo es el esperado, dado que muestra que el peso específico del cemento se encuentra entre los parámetros aceptados.

3.4 Ensayo contenido de materia orgánica

Para establecer el contenido aproximado de materia orgánica en los agregados finos (vidrio y arena) se llevaron a cabo los procedimientos establecidos por la NTC 127, por medio de esta se concluyó que los materiales no presentan cantidades perjudiciales de impurezas orgánicas, debido a que, al comparar los colores de las muestras con la solución de color estándar, estos presentan mayor claridad como se muestra en la figura.



Figura 12 Ensayo contenido de materia orgánica

3.5 Resultados de ensayos a compresión y densidades.

Se realizaron los ensayos de resistencia a la compresión y densidades, según los requerimientos establecidos por la NTC 673.

3.5.1 Resultados de ensayos a compresión y densidades de todos los diseños de mezclas a los 7 días de curado.

Los datos mostrados a continuación son tomados por los autores como lo establece la NTC 673.

Se registraron las dimensiones de los cilindros de concreto al igual que su peso y la respectiva carga última arrojada por la máquina de compresión.

3.5.1.1 Resultados de ensayos a compresión del concreto convencional a los 7 días

Los ensayos de compresión se realizaron bajo la normativa de la NTC 673 donde se especifica cómo se determina la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto. Se ensayaron 3 probetas cilíndricas a los 7 días de curado, donde se evidenció que los especímenes cumplían con el requerimiento mínimo de resistencia pasados los 7 días de curado, donde deben alcanzar el 70% de la resistencia requerida.

Diámetro (cm)	Altura (cm)	Masa (kg)	F'c (Mpa)	Carga Ultima (Kn)	Densidad (Kg/m3)
15.30	30.50	13.16	14.12	259.60	2484.53
15.40	30.40	13.36	15.30	284.98	2520.75
15.00	30.00	13.42	15.18	268.25	2532.08
F'c Promedio			14.89 Mpa		

Tabla 20 Resistencia a la compresión y densidad a los 7 días, concreto convencional

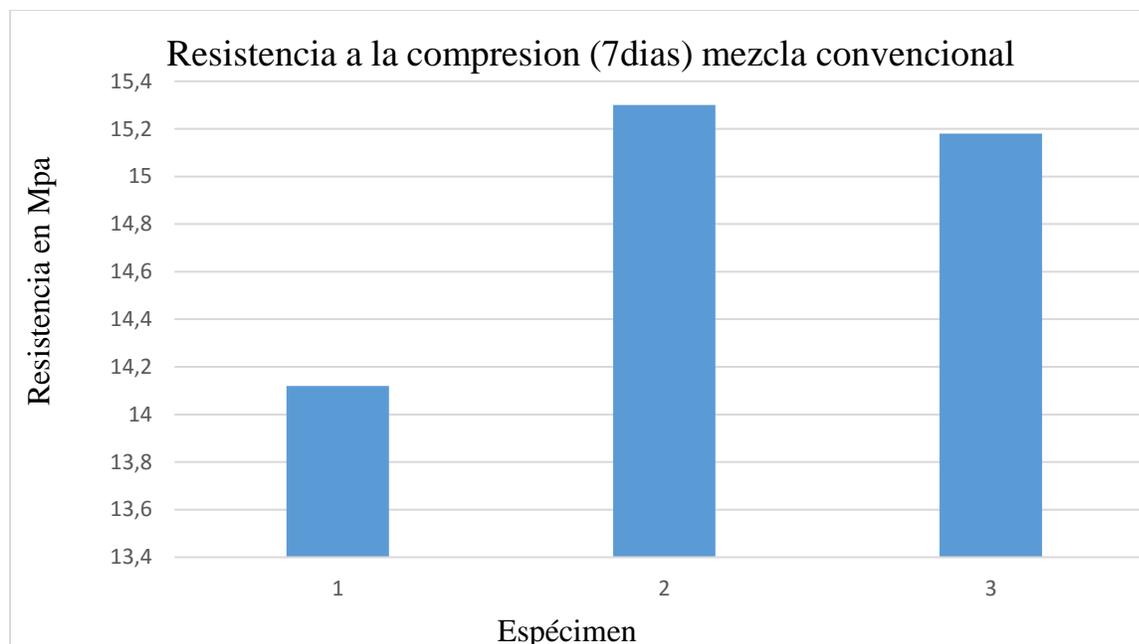


Figura 13 Resistencia a la compresión del concreto convencional

3.5.1.2 Resultados de ensayos de compresión del concreto con 10% de vidrio a los 7 días

Diámetro (cm)	Altura (cm)	Masa (kg)	F'c (Mpa)	Carga Ultima (Kn)	Densidad (Kg/m ³)
15.00	30.00	13.17	13.93	246.16	2484.91
15.50	30.50	13.22	14.19	267.75	2494.34
15.40	30.50	13.24	13.09	243.89	2499.06
15.50	30.00	13.37	13.37	252.28	2523.58
15.30	30.50	13.05	13.23	243.23	2463.40
F'c Promedio			13.64 Mpa		

Tabla 21 Resistencia a la compresión y densidad, cilindros de 10% de vidrio a los 7 días

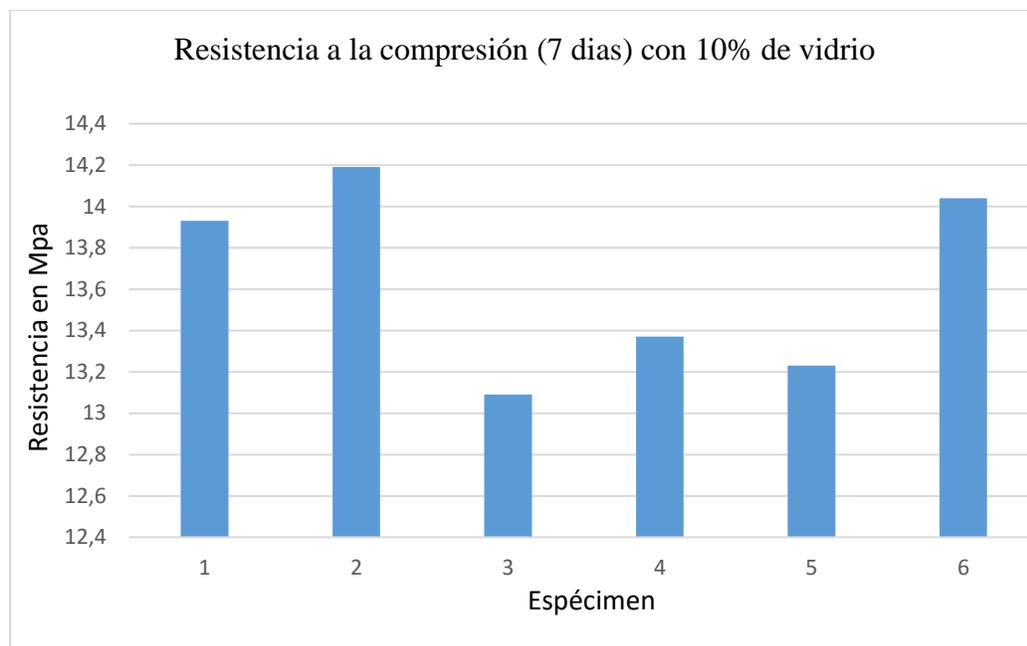


Figura 14 Resistencia a la compresión con 10% de vidrio a los 7 días

Los ensayos de compresión se realizaron bajo la normativa de la NTC 673 donde se especifica cómo se determina la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto. Se ensayaron 7 probetas cilíndricas a los 7 días de curado, donde se evidenció que las muestras con 10% de vidrio presentan un comportamiento menor a la resistencia a la compresión en relación con la mezcla convencional.

3.5.1.3 Resultados de ensayos de compresión del concreto con 15% de vidrio a los 7 días

Al realizar los ensayos de compresión de las muestras de concreto con 15% de agregado de vidrio, estas mostraron el mayor de los rendimientos, superando la resistencia alcanzada por las otras dosificaciones de vidrio. Esta dosificación se perfila como la de mejor rendimiento a la resistencia a la compresión.

Diámetro (cm)	Altura (cm)	Masa (kg)	F'c (Mpa)	Carga Ultima (Kn)	Densidad (Kg/m3)
15.30	30.50	13.36	15.27	280.74	2522.45
15.40	30.30	13.28	13.72	255.55	2506.23
15.30	30.30	13.31	16.75	307.95	2511.89
15.20	30.30	13.05	14.51	263.29	2463.77
15.30	30.00	13.46	15.58	286.44	2540.19
15.30	30.00	13.35	17.25	317.14	2520.00

F'c Promedio

15.51 Mpa

Tabla 22 Resistencia a la compresión y densidad, cilindros con 15% de vidrio a los 7 días

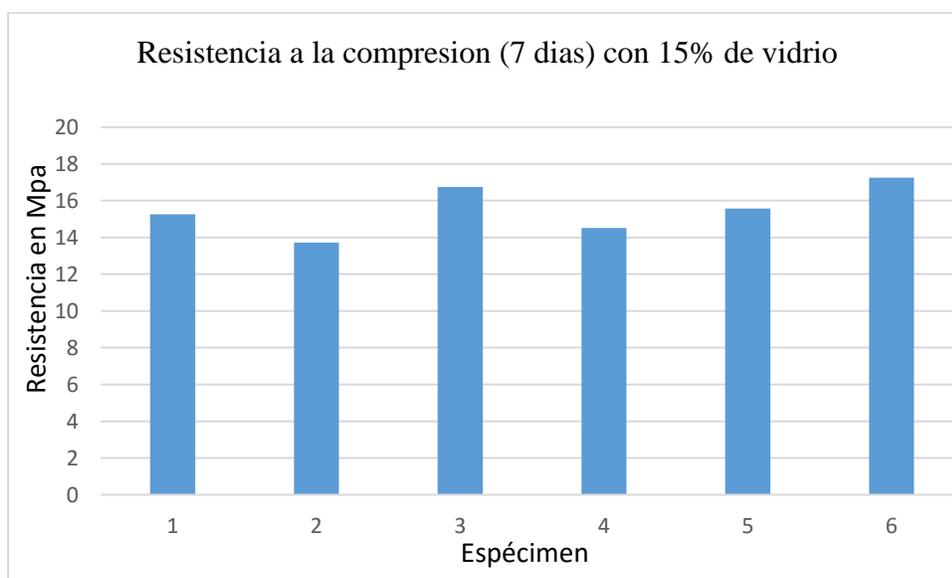


Figura 15 Resistencia a la compresión con 15% de vidrio a los 7 días

3.5.1.4 Resultados de ensayos de compresión del concreto con 20% de vidrio a los 7 días.

Diámetro (cm)	Altura (cm)	Masa (kg)	F'c (Mpa)	Carga Ultima (Kn)	Densidad (Kg/m3)
15.30	30.40	13.36	13.15	241.76	2521.70
15.10	30.40	12.91	12.20	218.47	2436.23
15.40	30.30	12.92	13.28	247.36	2439.43
15.40	30.50	13.33	13.47	250.89	2515.85
15.30	30.50	13.18	14.02	257.76	2487.17
15.50	30.00	13.26	14.54	274.35	2503.21
F'c Promedio			13.44 Mpa		

Tabla 23 Resistencia a la compresión, cilindro de 20% de vidrio

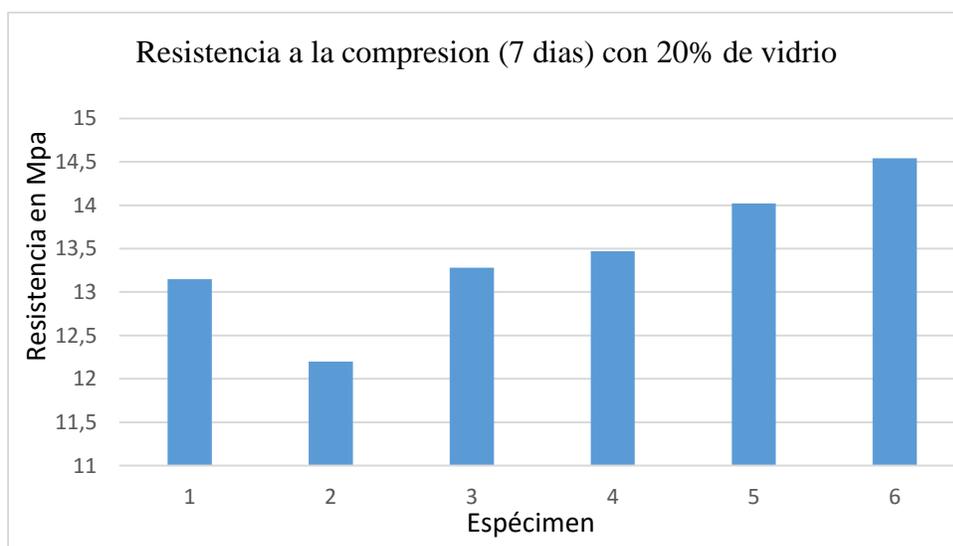


Figura 16 Resistencia a la compresión con 20% de vidrio a los 7 días

Los especímenes fallados con 20% de vidrio presentaron un comportamiento normal, mostrando una resistencia equivalente a la que se espera obtener a los 7 días de curado, donde debe estar entre el 60% y 65% de la resistencia de diseño.

3.5.1.5 Graficas de las densidades de todas las mezclas a los 7 días

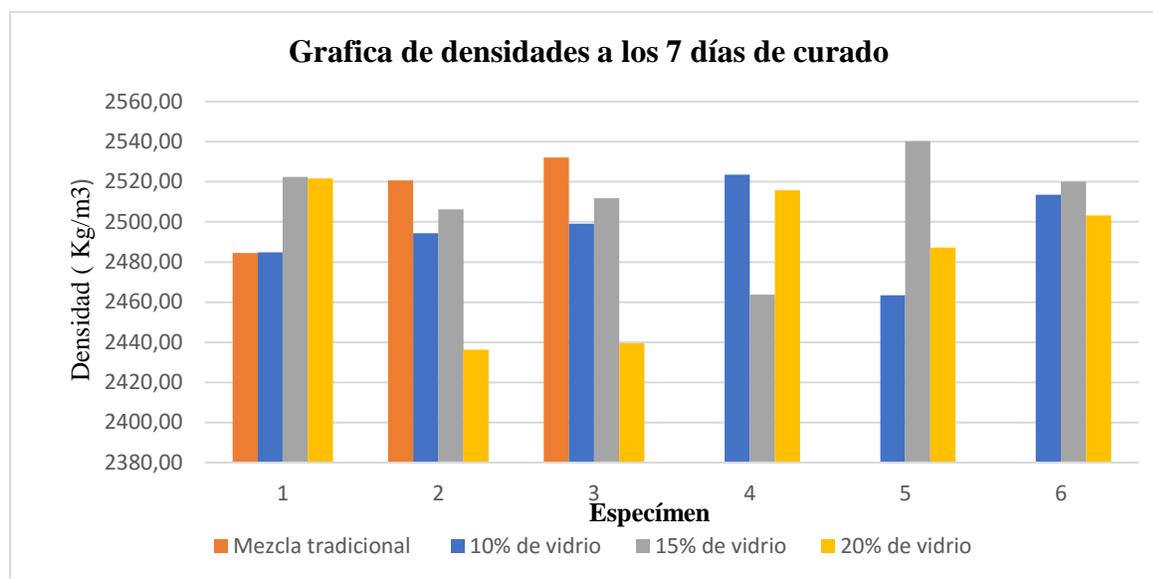


Figura 17 Grafica de las densidades de todas las mezclas a los 7 días de curado

Los ensayos de densidad se realizaron Siguiendo la NTC 673. Los resultados arrojaron que las densidades varían entre 2400 y 2500kg/m³, lo que se ajusta a los parámetros normales de densidad. Se observa que las probetas de mayor densidad son las realizadas con 15% de vidrio.

3.5.2 Resultados de ensayos a compresión y densidades de todos los diseños de mezclas a los 14 días de curado.

Los datos mostrados a continuación son tomados por los autores como lo establece la NTC 673. Se registraron las dimensiones de los cilindros de concreto al igual que su peso y la respectiva carga última arrojada por la máquina de compresión.

3.5.2.1 Resultados de ensayos a compresión del concreto convencional a los 14 días.

Diámetro (cm)	Altura (cm)	Masa (kg)	F'c (Mpa)	Carga Ultima (Kn)	Densidad (Kg/m3)
15.20	30.40	13.05	15.54	281.98	2462.26
15.30	30.50	13.37	12.79	235.14	2523.58
15.40	30.40	13.41	18.37	342.16	2530.75
F'c Promedio			15.57 Mpa		

Tabla 24 Resistencia a la compresión, cilindros y densidad, con mezcla convencional a los 14 días

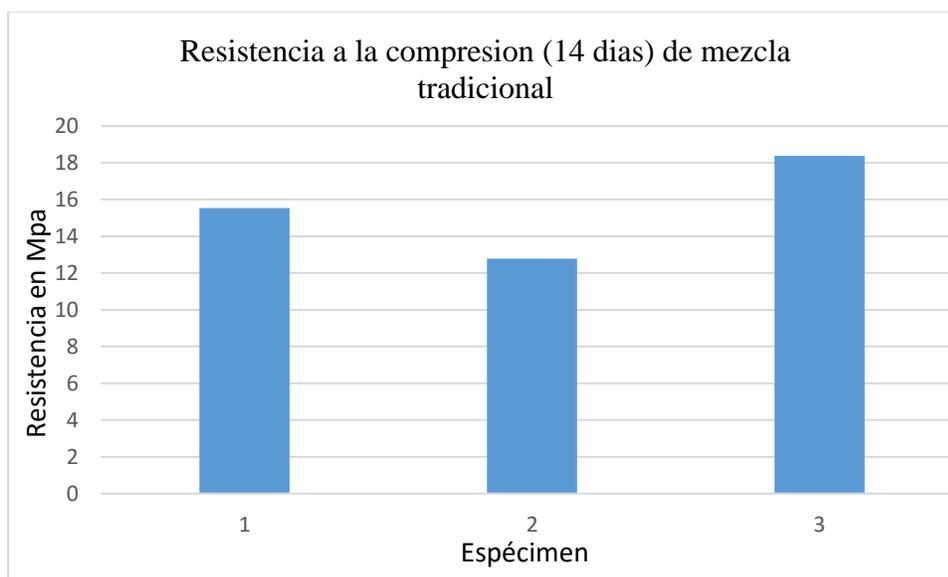


Figura 18 Resistencia a la compresión con 10% de vidrio a los 14 días

Las muestras convencionales ensayadas a los 14 días de curado muestran resultados inesperados, puesto que no existe una similitud en cuanto a su resistencia a la compresión. El espécimen número dos presenta un rendimiento muy bajo, incluso menor a las muestras ensayadas a los 7 días de curado, mientras que el espécimen número 3 llega al pico más alto de la resistencia superando los 18 Mpa.

3.5.2.2 Resultados de ensayos de compresión del concreto con 10% de vidrio a los 14 días de curado

Diámetro (cm)	Altura (cm)	Masa (kg)	F'c (Mpa)	Carga Ultima (Kn)	Densidad (Kg/m3)
15.00	30.50	13.09	16.53	274.35	2471.51
15.20	30.50	13.01	13.22	239.88	2455.66
15.40	30.40	13.40	14.94	278.28	2529.06
15.40	30.40	13.37	18.08	336.76	2523.21
15.40	30.50	13.03	15.80	294.29	2459.43
15.20	30.40	13.09	16.64	301.94	2470.00
F'c Promedio			15.86 Mpa		

Tabla 25 Resistencia a la compresión y densidad, cilindros con 10% de vidrio a los 14 días de curado

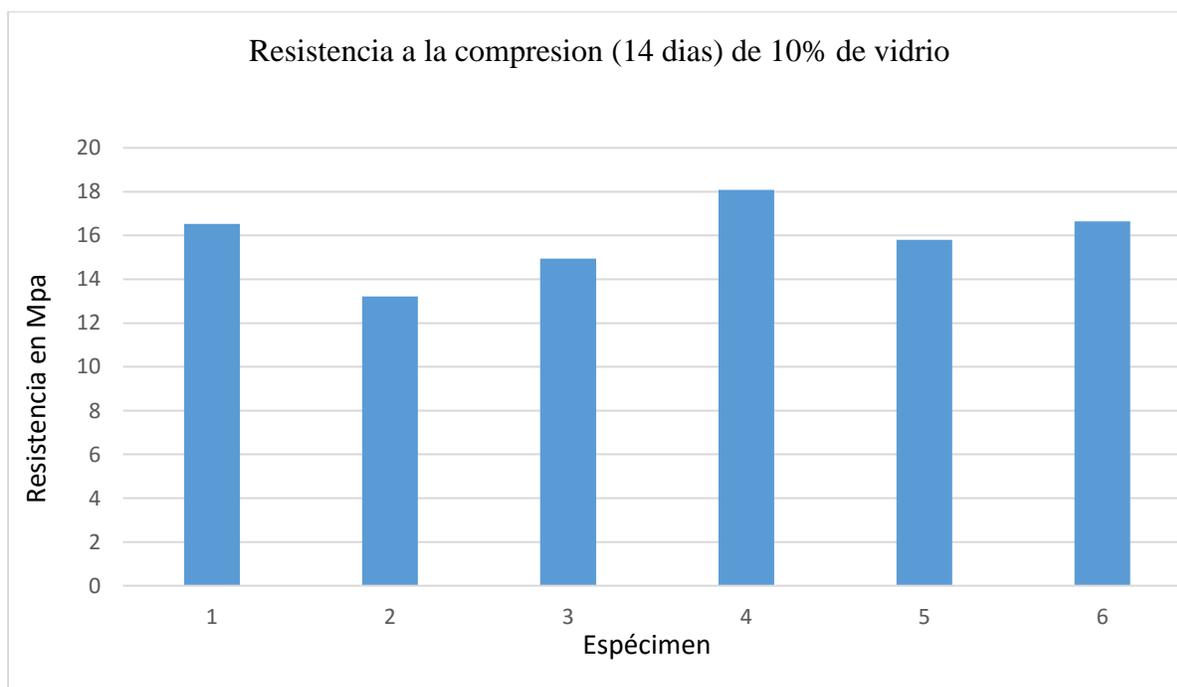


Figura 19 Resistencia a la compresión con 10% de vidrio a los 14 días de curado

Las probetas con 10% de vidrio presentan una resistencia promedio mayor que el concreto tradicional, sin embargo, ninguna de las pruebas superó la mayor de las resistencias del espécimen de mezcla tradicional. Los resultados indican que la dosificación con 10% de vidrio no presenta un mayor rendimiento que el concreto tradicional.

3.5.2.3 Resultados de ensayos de compresión del concreto con 15% de vidrio a los 14 días

Diámetro (cm)	Altura (cm)	Masa (kg)	F'c (Mpa)	Carga Última (Kn)	Densidad (kg/m³)
15.20	30.50	13.31	17.75	322.08	2511.32
15.40	30.40	13.25	17.41	324.28	2500.75
15.30	30.50	13.41	16.73	307.58	2530.94
15.40	30.40	13.33	17.35	323.17	2515.09
15.30	30.50	13.28	18.03	331.48	2505.85
15.20	30.40	13.05	18.97	344.22	2462.26
F'c Promedio			17.71Mpa		

Tabla 26 Resistencia a la compresión y densidad, cilindros de concretos con 15% de vidrios a los 14 días de curado

Las muestras ensayadas con la dosificación de 15% de vidrio presentan la mayor de las resistencias promedio de todos los diseños de mezcla a la altura de los 14 días de curado. La mezcla diseñada con este porcentaje de vidrio se perfila como la más óptima para utilizar en el concreto.

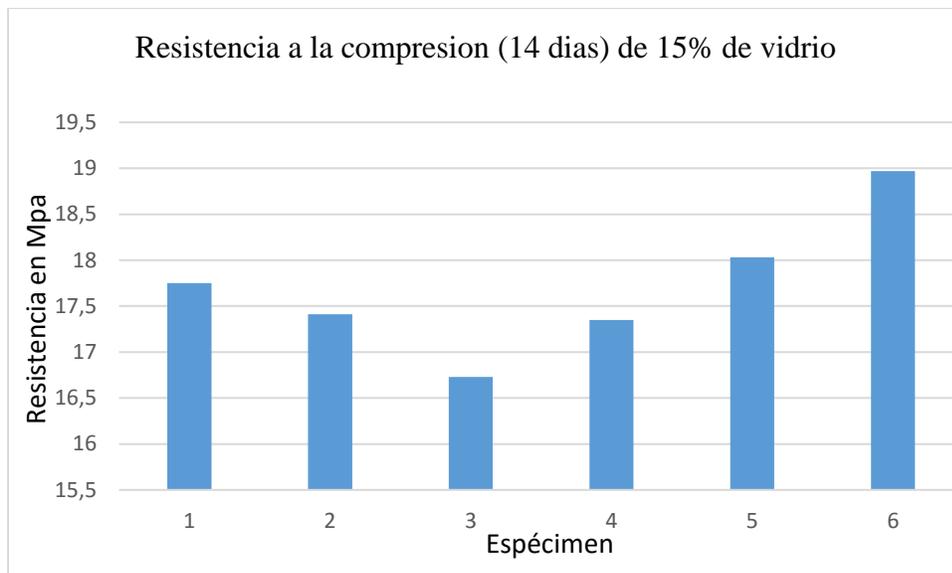


Tabla 27 Resistencia a la compresión de 15% de vidrio a los 14 días de curado

3.5.2.4 Resultados de ensayos de compresión del concreto con 20% de vidrio a los 14 días de curado

Diámetro (cm)	Altura (cm)	Masa (kg)	F'c (Mpa)	Carga Ultima (Kn)	Densidad (kg/m3)
15.40	30.30	13.37	15.01	279.58	2523.58
15.30	30.20	13.22	15.08	277.25	2494.34
15.40	30.40	13.29	15.33	285.54	2508.49
15.30	30.40	13.21	16.21	301.93	2492.64
15.20	30.40	12.94	16.60	301.22	2441.89
15.30	30.40	13.20	16.72	307.40	2492.08
F'c Promedio			15.83 Mpa		

Tabla 28 Resistencia a la compresión y densidad, cilindros de concreto con 20% de vidrio a los 14 días de curado



Figura 20 Resistencia a la compresión de 20% de vidrio a los 14 días de curado

Los resultados muestran que, a pesar de tener mayor cantidad de vidrio, este diseño de mezcla no presenta el mejor de los rendimientos, puesto que este es aún menor que el presentado por la mezcla convencional. Lo que es un indicador que a mayor cantidad de vidrio no se tendrá una mayor resistencia a la compresión.

3.5.2.5 Graficas de las densidades de todas las mezclas a los 14 días

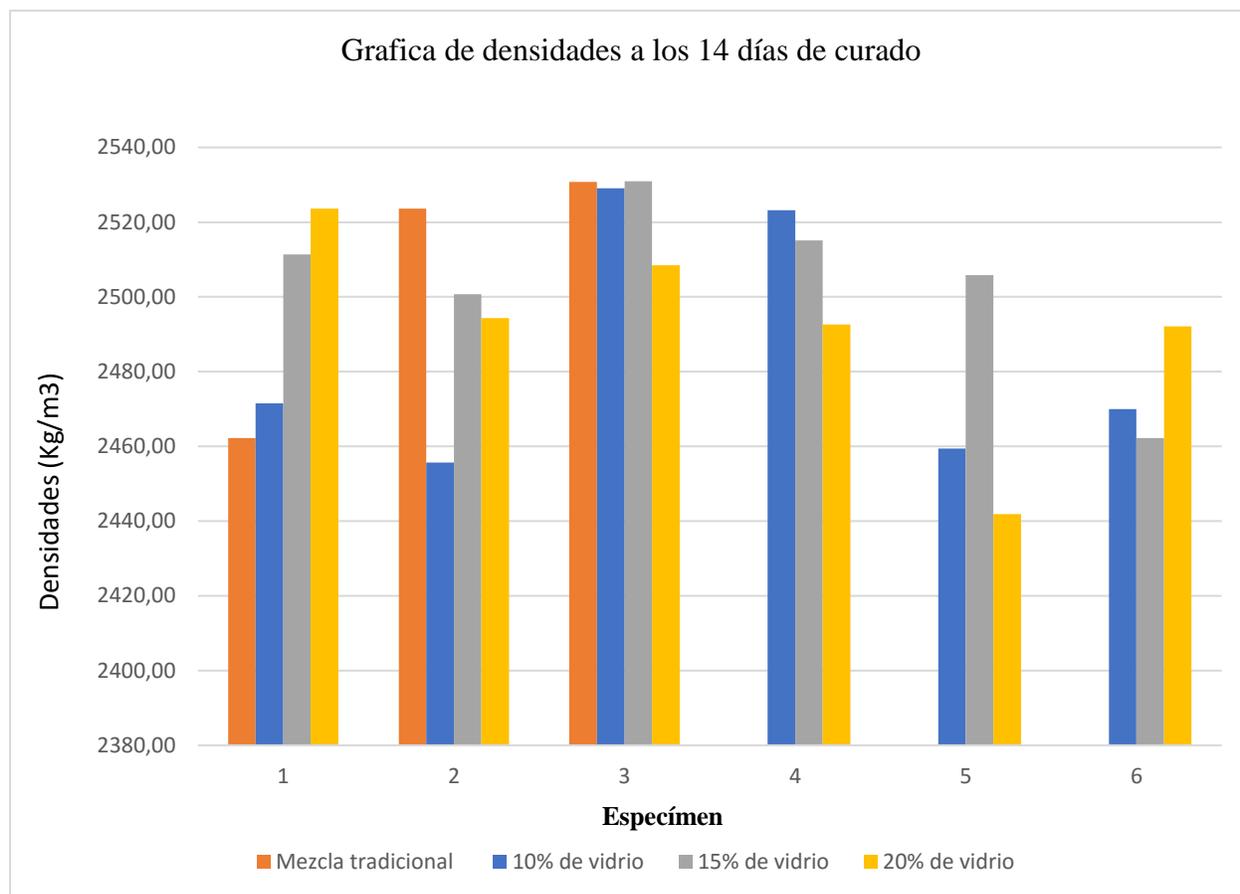


Figura 21 Grafica de las densidades de todas las mezclas a los 14 días de curado

Las densidades obtenidas a los 14 días de curado muestran una leve inclinación hacia la dosificación de 20% de vidrio, para indicar que a mayor cantidad de vidrio va decreciendo la densidad. Se evidencia que este diseño obtuvo la menor de estas.

3.5.3 Resultados de ensayos a compresión y densidades de todos los diseños de mezclas a los 28 días de curado.

Los datos mostrados a continuación son tomados por los autores como lo establece la NTC 673. Se registraron las dimensiones de los cilindros de concreto al igual que su peso y la respectiva carga última arrojada por la máquina de compresión.

8.5.3.1 Resultados de ensayos a compresión del concreto convencional a los 28 días de curado

Diámetro (cm)	Altura (cm)	Masa (kg)	F'c (Mpa)	Carga Ultima (Kn)	Densidad kg/m ³)
15.20	30.30	13.04	21.07	382.33	2461.70
15.30	30.20	13.36	21.17	389.21	2521.32
15.40	30.20	13.33	21.10	393.10	2515.85
F'c Promedio			21.11 Mpa		

Tabla 29 Resistencia a la compresión y densidad, cilindros de concreto de mezcla tradicional a los 28 días de curado

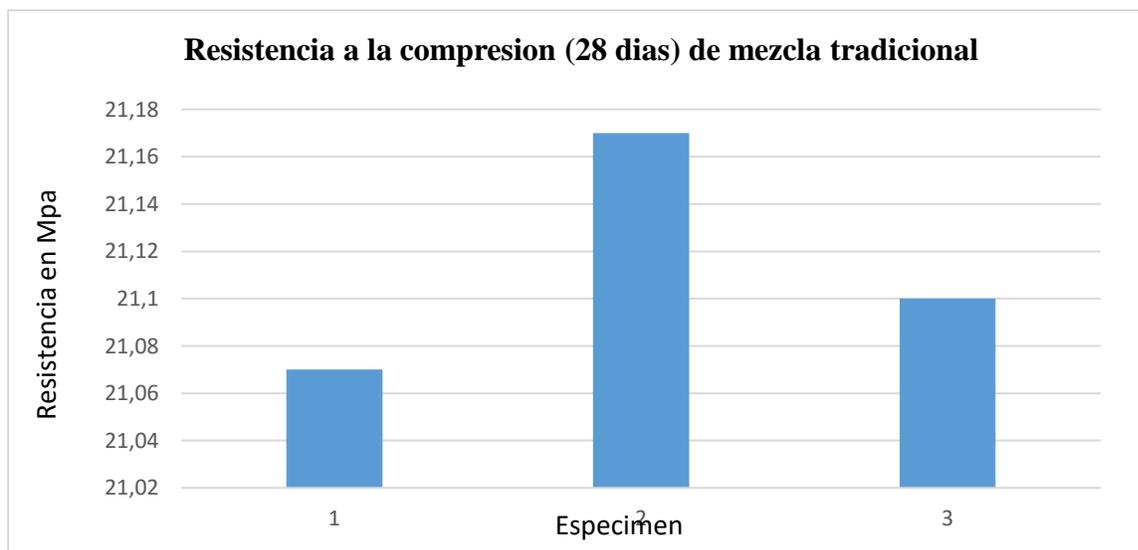


Figura 22 Resistencia a la compresión de la mezcla tradicional a los 28 días de curado

A los 28 días de curado el concreto alcanza su resistencia máxima. En los resultados se evidencia que la mezcla convencional cumple con el rendimiento esperado puesto que fue diseñada para alcanzar una resistencia máxima de 21 Mpa.

8.5.3.2 Resultados de ensayos de compresión del concreto con 10% de vidrio a los 28 días de curado

Diámetro (cm)	Altura (cm)	Masa (kg)	F'c (Mpa)	Carga Ultima (Kn)	Densidad (kg/m3)
15.30	30.30	13.12	18.61	342.15	2475.66
15.40	30.20	13.39	20.12	374.76	2526.79
15.30	30.20	13.32	17.06	313.65	2514.72
15.30	30.30	13.29	17.80	327.26	2509.06
15.30	30.20	13.46	19.55	359.43	2541.13
15.40	30.20	13.27	18.13	337.69	2505.28
F'c Promedio			18.55 Mpa		

Tabla 30 Resistencia a la compresión con 10% de vidrio a los 28 días de curado

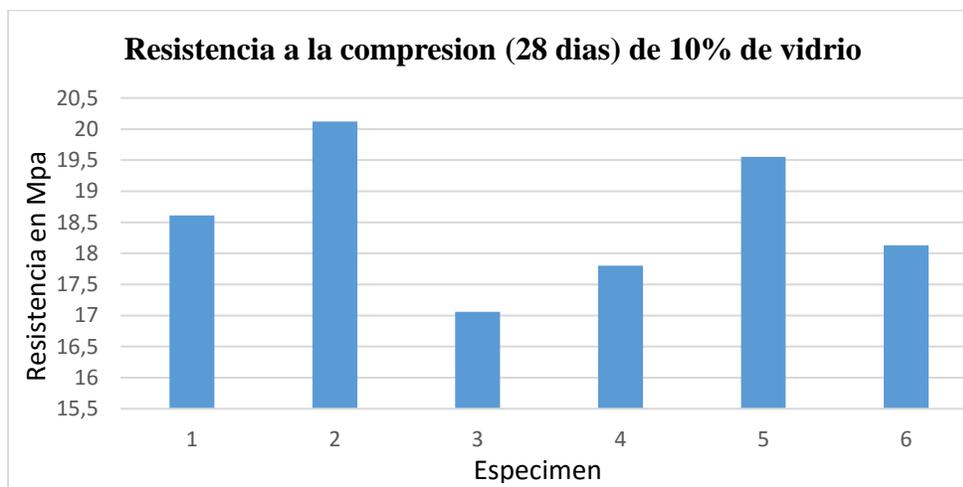


Figura 23 Resistencia a la compresión de 10% de vidrio a los 28 días de curado

Los especímenes ensayados a los 28 días de curado presentan un rendimiento por debajo de los obtenidos por la mezcla convencional, lo que indica que la dosificación con 10% de agregado de vidrio no es una buena opción para utilizarla en el concreto puesto que esta causa una disminución en su resistencia a la compresión.

3.5.3.3 Resultados de ensayos de compresión del concreto con 15% de vidrio a los 28 días.

Diámetro (cm)	Altura (cm)	Masa (kg)	F'c (Mpa)	Carga Ultima (Kn)	Densidad (kg/m3)
15.30	30.40	13.33	22.76	418.45	2516.79
15.40	30.30	12.97	22.55	420.10	2447.17
15.30	30.30	12.94	22.82	419.55	2441.51
15.20	30.30	13.26	21.10	382.87	2502.45
15.30	30.00	12.99	23.00	422.86	2452.26
15.30	30.00	13.43	22.95	421.94	2534.72
F'c Promedio			22.53 Mpa		

Tabla 31 Resistencia a la compresión con 10% de vidrio a los 28 días de curado

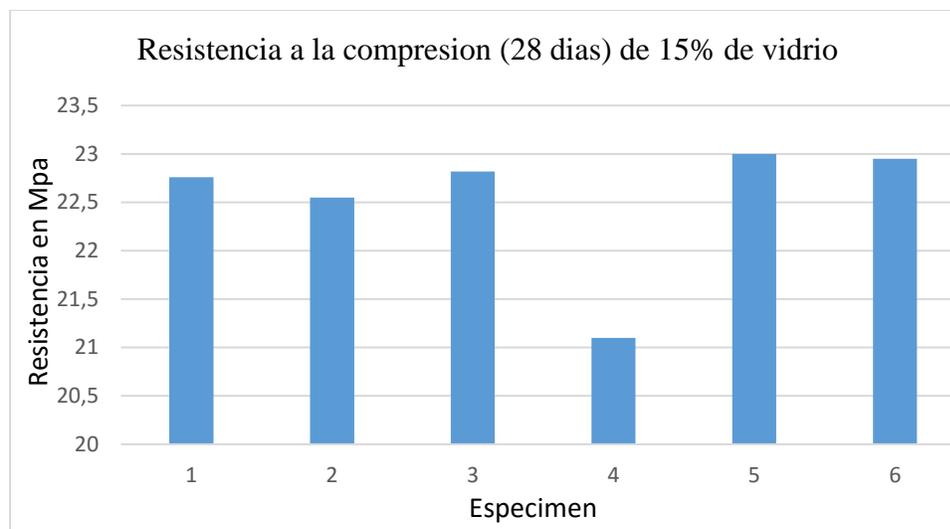


Figura 24 Resistencia a la compresión con 15% de vidrio a los 28 días de curado

Los especímenes ensayados con la dosificación de 15% de vidrio obtuvieron el promedio más alto de resistencia a la compresión, incluso por encima de los alcanzados por la mezcla convencional, además, todas las probetas ensayadas a los 28 días de curado alcanzaron resistencias mayores a todas las de los diseños realizados, por ende, en esta investigación se evidencia que el mejor porcentaje para sustituciones en el concreto es el elaborado con 15% del agregado de vidrio.

3.5.3.4 Resultados de ensayos de compresión del concreto con 20% de vidrio a los 28 días.

Diámetro (cm)	Altura (cm)	Masa (kg)	F'c (Mpa)	Carga Ultima (Kn)	Densidad (kg/m3)
15.30	30.00	13.29	19.49	358.33	2508.49
15.20	30.20	13.03	18.50	335.59	2459.81
15.20	30.20	13.04	18.79	340.96	2461.89
15.30	30.40	13.49	18.28	336.10	2546.60
15.10	30.20	13.06	18.69	334.69	2464.91
15.20	30.40	13.00	18.92	343.32	2453.40

F'c Promedio	18.78 Mpa
--------------	-----------

Tabla 32 Resistencia a la compresión y densidad, cilindros de concretos con 20% de vidrio a los 28 días de curado

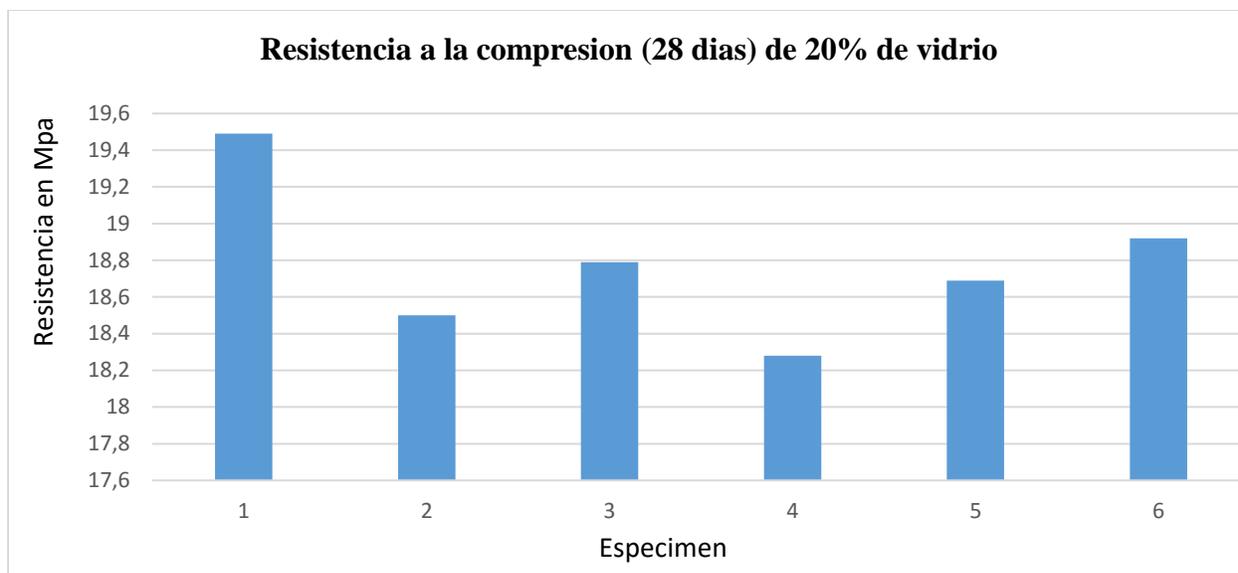


Figura 25 Resistencia a la compresión de 20% de vidrio a los 28 días de curado

Los resultados obtenidos de las muestras con 20% de vidrio arrojan que esta dosificación presenta un rendimiento menor a la mezcla convencional y a las otras dos dosificaciones de vidrio. Además, esta no alcanza la resistencia de diseño de 21 Mpa en ninguna de las muestras ensayadas.

3.5.3.5 Graficas de las densidades de todas las mezclas a los 28 días

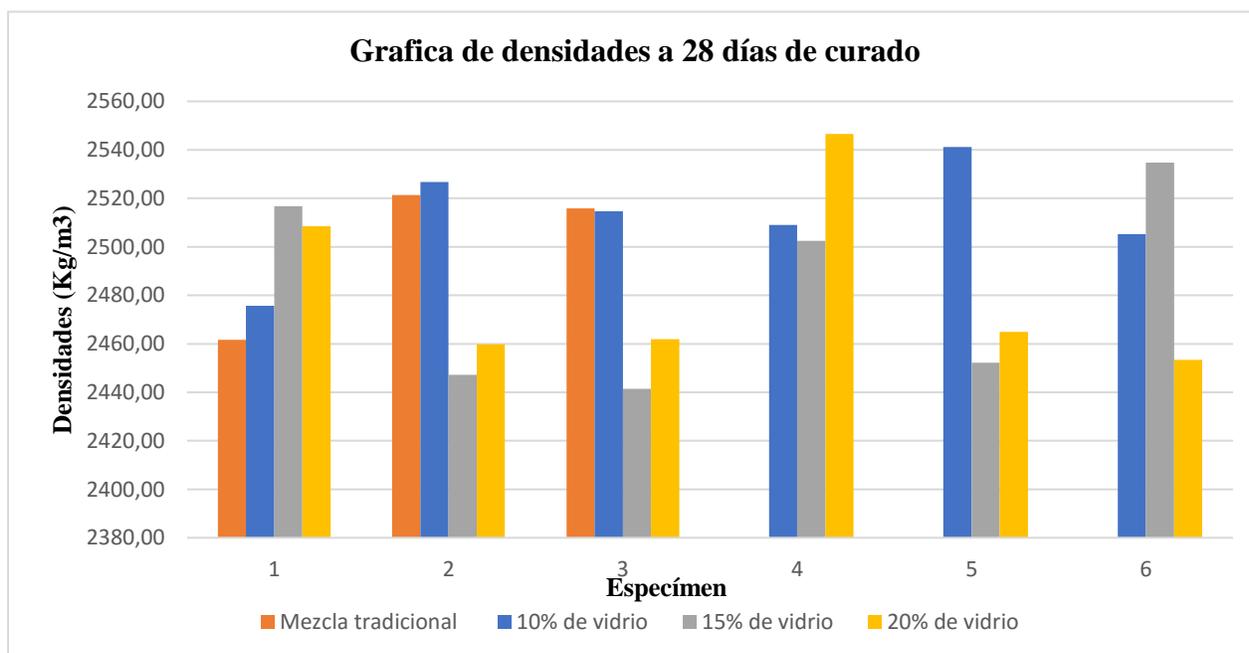


Figura 26 Grafica de densidades de las mezclas de concreto a los 28 días de curado

A los 28 días de curado las muestras ensayadas presentaron variaciones en sus densidades con respecto a los datos obtenidos en los ensayos anteriores, en estos, el diseño que alcanza mayor densidad es el del 20% mientras que el menor es el realizado con 10% de vidrio.

3.5.4 Grafica del promedio de densidades a los 28 días de curado.

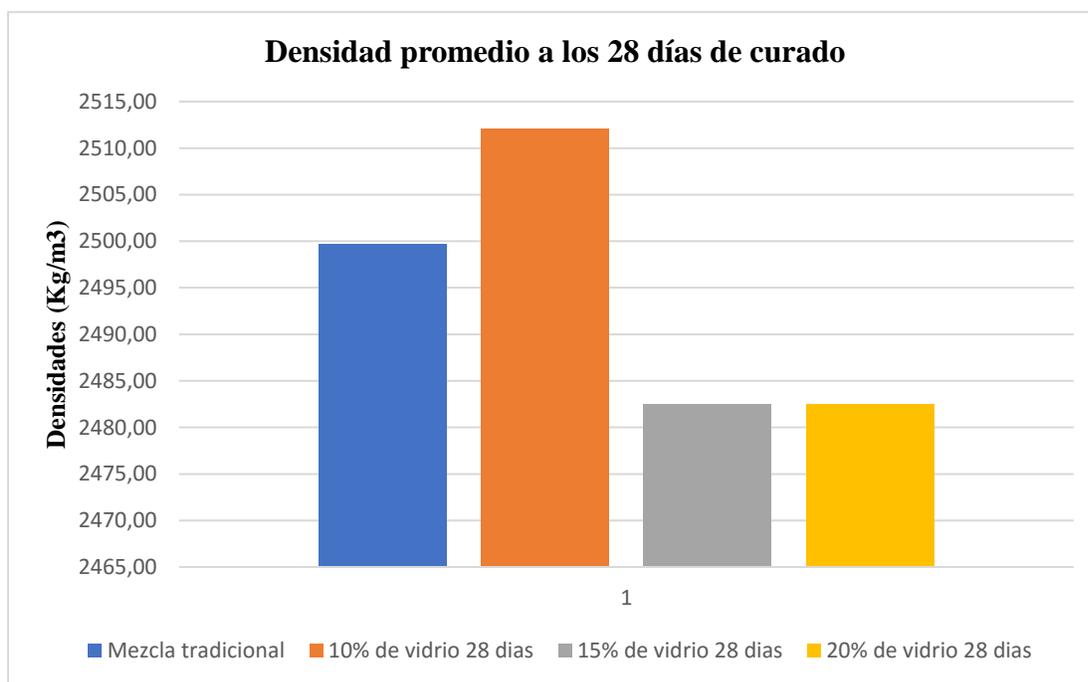


Figura 27 Densidad promedio de las mezclas de concreto a los 28 días de curado

El promedio de las densidades obtenidas al cabo de 28 días de curado demuestra que la disminución de la densidad es inversamente proporcional a la cantidad de vidrio, es decir que, a mayor cantidad de vidrio la densidad irá decreciendo.

3.5.5 Grafica de resistencia a la compresión con las sustituciones de vidrio de 10%, 15%,20% y mezcla convencional a los 7, 14 y 28 días de curado.

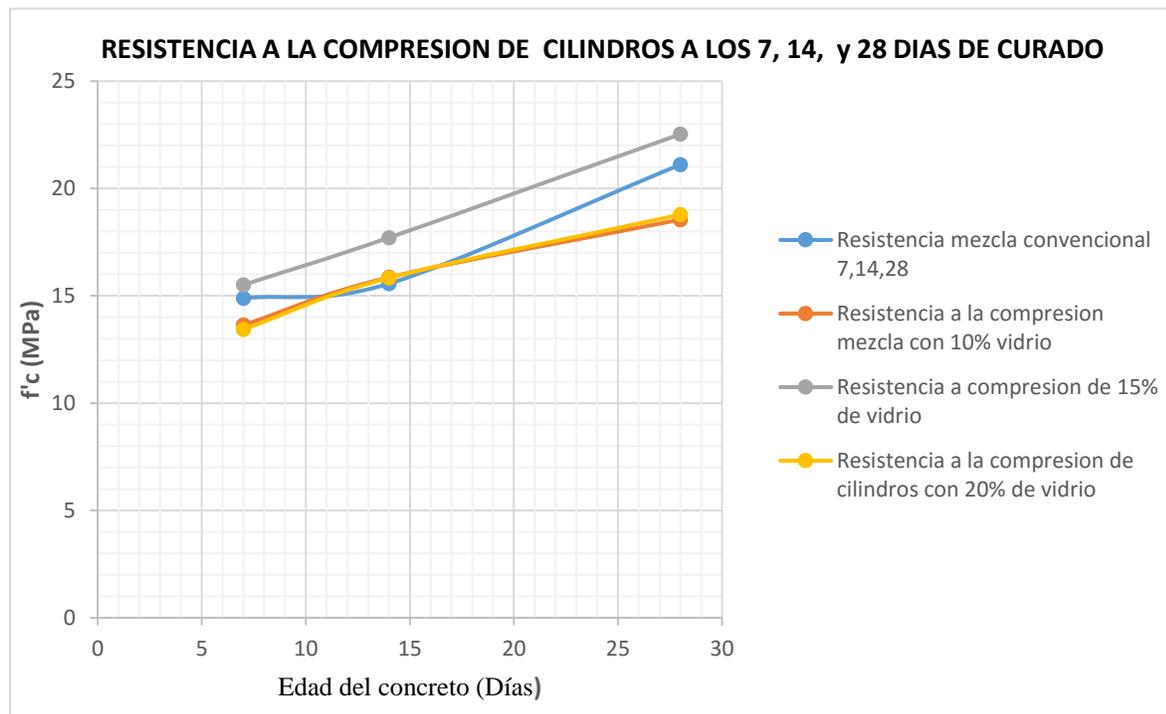


Figura 28 Resistencia a la compresión cilindros a los días 7,14 y 28 días de curado

Como se muestra en la figura 28 las muestras de concreto con sustituciones de 10% y 20% de vidrio presentan un incremento en su resistencia al pasar los días, sin embargo, estas no alcanzan el valor de diseño requerido. Respecto a la mezcla convencional, se evidencia que pudo llegar a los 21 MPa al pasar los 28 días de curado, mientras que la dosificación con 15% de vidrio, manifestó un leve aumento en su resistencia a compresión, superando los límites de resistencia diseñada.

3.5.6 Comportamiento de la densidad tras 28 días de curado

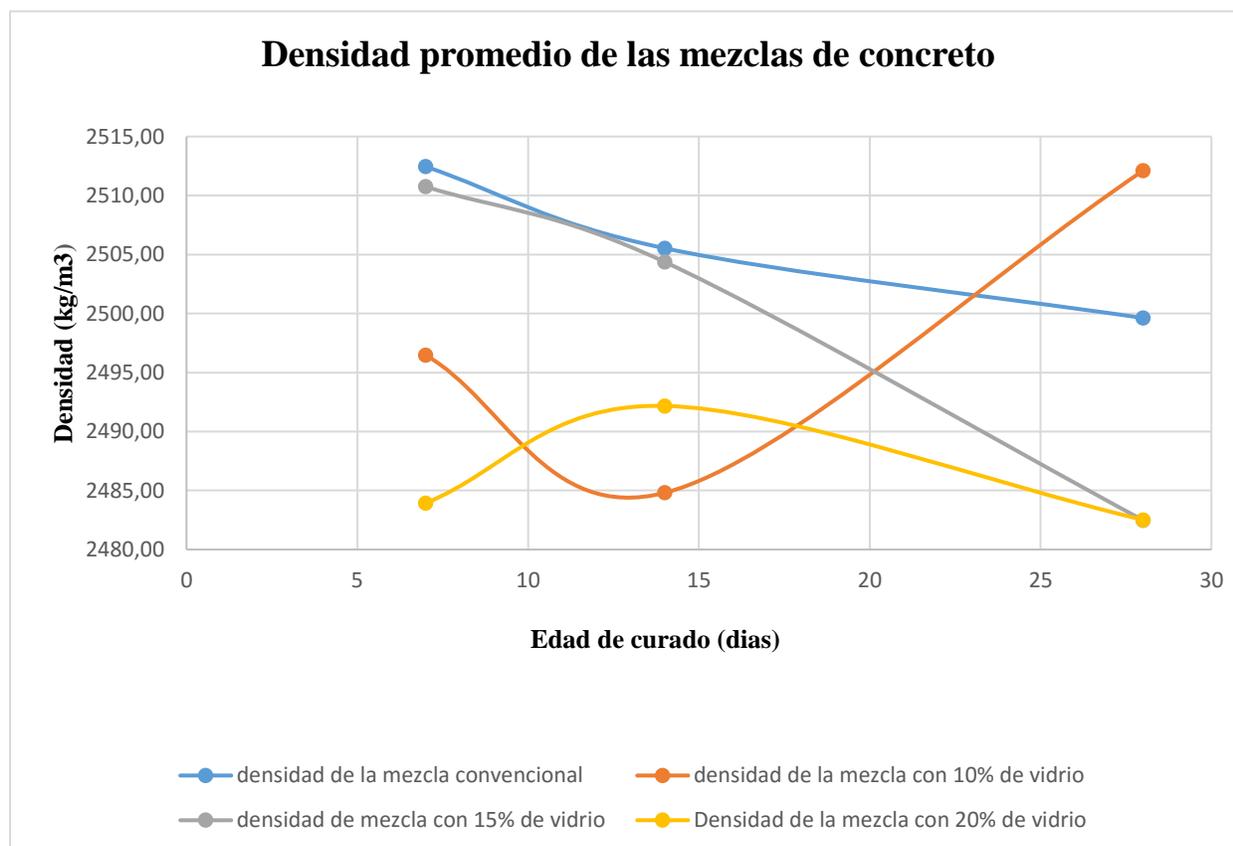


Figura 29 Grafica de las densidades

Las densidades no presentan una variación tan amplia, estas se mantienen en un rango de 2480 kg/m³ y 2520 kg/m³, estos valores eran los esperados debido a que los agregados finos (arena y vidrio) presentaron resultados similares en los ensayos de masa unitaria. El diseño que presenta mayor variación es el realizado con 15% de vidrio, el cual desde los primeros días de curado mantiene una tendencia a disminuir en su densidad.

3.5.7 Variación de la densidad

Densidad Mezcla convencional (kg/m ³)	% De Sustitución	Densidad con sustituciones de vidrio de 10%, 15% y 20% (kg/m ³)	Variación de la densidad %
2499.62	10	2512.11	+0.49
	15	2482.48	-0.68
	20	2482.52	-0.68

Tabla 33 Variación de la densidad

En la tabla 33 se muestran los comportamientos que mantuvieron los especímenes al transcurrir un tiempo de curado de 28 días, en los que se evidenció que los especímenes de concreto con las diferentes sustituciones de vidrio no presentan mayor variación respecto a los diseñados con la mezcla convencional.

3.5.8 Variación de la resistencia a compresión del concreto

Resistencia de la Mezcla convencional (MPa)	% De Sustitución	Resistencia de la Mezcla con sustituciones de vidrio de 10%, 15% y 20% (MPa)	Variación de la resistencia %
21.11	10	18.55	-12.12
	15	22.53	+6.72
	20	18.78	-11.03

Tabla 34 Variación de la resistencia a compresión

Los ensayos de resistencia a la compresión realizados luego de 28 días de curado manifestaron que los especímenes diseñados con 10% y 20% de vidrio tuvieron una reducción en su resistencia a la

compresión, por lo que no se recomienda el uso de estas dosificaciones para usos estructurales. Los mejores resultados fueron los obtenidos con una sustitución del 15% de vidrio, ya que esta pudo superar en un 6.72% de resistencia alcanzada del concreto convencional.

Capítulo 4: conclusiones y recomendaciones

El vidrio triturado y reciclado se considera un material no convencional, el cual se utilizó para elaborar las muestras de concreto, afianzando la teoría de poder utilizarlo en aplicaciones constructivas, generando así un impacto positivo en el medio ambiente al ser reutilizado.

En esta investigación se demuestra mediante la caracterización del vidrio como agregado fino, que este cumple con los requisitos de gradación establecidos por la NTC 174 para ser considerado como material óptimo y ser utilizado en el concreto.

En los agregados finos utilizados para la realización de este proyecto, es decir, la arena y el vidrio, se demuestra que existe una similitud entre ellos, sin embargo, se puede verificar que, aunque el vidrio presenta unas propiedades diferentes en cuanto a densidades y absorción, este puede cumplir perfectamente las funciones de la arena, además, si se agregan en dosificaciones adecuadas puede mantener y/o superar las capacidades de resistencia de un concreto convencional.

Referente a las mezclas elaboradas con las tres dosificaciones de vidrio del 10%, 15% y 20% y el diseño convencional, se logra comprobar que el concreto con mejor comportamiento de resistencia a compresión es el realizado con 15% del agregado de vidrio, ya que este diseño obtuvo un incremento del 6.72% respecto a la mezcla convencional, mientras que los otros dos porcentajes de vidrio presentan disminuciones en su resistencia del 12.12% y 11.03% respectivamente.

Las densidades obtenidas de los 4 diseños de mezclas muestran que no existe mayor variación entre estos. Para las sustituciones con 10% de vidrio se evidencio un crecimiento que no alcanzo el 1 %, mientras que para los diseños restantes se obtuvo un decrecimiento del 0, 68%, lo que no representa un cambio significativo entre las diferentes dosificaciones. Estos resultados se preveían, dado que en los ensayos previos de masas unitarias, tanto el vidrio como la arena presentaron resultados similares.

Se recomienda seguir con este tipo de investigaciones para llegar a establecer el diseño más óptimo para la sustitución en el concreto, con el fin de poder llegar a utilizar estos diseños en aplicaciones constructivas.

Para obtener mejores resultados en futuras investigaciones es necesario establecer un procedimiento donde se pueda estandarizar la trituración del vidrio, con el fin de utilizar un material más homogéneo que permita tener resultados más certeros.

Esta investigación se llevó a cabo con vidrio convencional obteniendo resultados satisfactorios con la dosificación del 15%, puesto que este porcentaje de sustitución alcanzó una resistencia a compresión promedio de 22.53Mpa mayor a los 21Mpa para lo que se estaban diseñando las mezclas, sin embargo, no se realizó un análisis de la composición química, por lo cual se recomienda tener en cuenta este aspecto para futuros proyectos,

Se propone utilizar diferentes tamaños de vidrio con el fin de encontrar un tamaño óptimo para representar el mejor comportamiento a la compresión.

Referencias bibliográficas

- [1] Argos, «blog.360 grados en concreto,» [En línea]. Available: <http://blog.360gradosenconcreto.com/wp-content/uploads/2016/02/WEB-Los-agregados-en-el-concreto.pdf>.
- [2] «greenfacts,» 15 octubre 2015. [En línea]. Available: <https://www.greenfacts.org/es/extraccion-arena/index.htm>.
- [3] Technology-nventory. [En línea]. Available: <http://www.toolbase.org/Technology-nventory/Foundations/concrete-aggregate-substitutes>.
- [4] M. F. S. Abdallah, «Characteristics of concrete with waste glass as fine aggregate replacement,» *Int. J. Eng. Tech. Res.*, pp. 11-17, 2014.
- [5] G. N. B. Taha, « Utilizing waste recycled glass as sand/cement replacement in concrete,» *J. Mater. Civil Eng*, pp. 709-721, 2009.
- [6] E. A.-H. Z.Z. Ismail, «Recycling of waste glass as a partial replacement for fine aggregate in concrete,» *Waste Manage*, pp. 655-659, 2009.
- [7] S. A.-T. E.E. Ali, «Recycled glass as a partial replacement for fine aggregate in self compacting concrete,» *Constr. Build. Mater*, pp. 785-791, 2012.
- [8] T. Borhan, «Properties of glass concrete reinforced with short basalt fibre,» *Mater. Des*, pp. 265-271, 2012.
- [9] E. Y. P. Turgut, «Research into concrete blocks with waste glass,» *Int. J. Environ. Sci. Eng*, pp. 186-192, 2009.
- [10] Y. W. M. Adaway, «Recycled glass as a partial replacement for fine aggregate in structural concrete,» *Effects on compressive strength, Electron. J. Struct. Eng*, pp. 116-122, 2015.
- [11] K. H. T. Hongjian Du*, «Properties of high volume glass powder concrete,» *Cement and Concrete Composites*, 2017.

- [12] b. A. T.-H. a. Ahmed Omran a, «Performance of glass-powder concrete in field applications,» *Construction and Building Materials*, 2016.
- [13] P. R. R. Kaveh Afshinnia, «Impact of combined use of ground glass powder and crushed glass,» *Construction and Building Materials*, 2016.
- [14] S. R. a. H. B. P. Spiesz, «Utilization of waste glass in translucent and photocatalytic concrete,» *Construction and Building Materials*, 2016.
- [15] A. S. GUTIÉRREZ, ANÁLISIS DE MEZCLAS DE CONCRETO CON PROPORCIONES DE VIDRIO, PEREIRA, Colombia: UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA, 2017.
- [16] F. s. Laura bastidas, «evaluación del comportamiento mecánico de bloques de concreto modificado con cenizas de locaciones petroleras,» 2015.
- [17] reciclajesavi. [En línea]. Available: <http://reciclajesavi.es/la-importancia-de-reciclar-vidrio/#>.
- [18] *Construction and Building Materials*, «*Construction and Building Materials*,» 15 enero 2014. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061813008556>.
- [19] J. D. Osorio, «360 gradros concreto,» Cemento Argos, [En línea]. Available: <https://mniapsccp01.azurewebsites.net/comunidad360/blog/detalle/category/calidad-y-aspectos-tecnicos/resistencia-mecanica-del-concreto-y-compresion>.
- [20] J. D. Osorio, «BLOG 360° EN CONCRETO,» 28 junio 2013. [En línea]. Available: <http://blog.360gradosenconcreto.com/resistencia-mecanica-del-concreto-y-resistencia-a-la-compresion/>.
- [21] M. N. Remolina, «360 grados en concreto,» 2016. [En línea]. Available: <http://blog.360gradosenconcreto.com/wp-content/uploads/2016/02/WEB-Los-agregados-en-el-concreto.pdf>.
- [22] «konkretar.com,» [En línea].
- [23] «Arkiplus.com,» [En línea].
- [24] «Ehu.es,» [En línea].

[25] J. D. OSORIO, «360° en concreto,» Argos, [En línea]. Available:
<https://mniapscpp01.azurewebsites.net/comunidad360/blog/detalle/category/calidad-y-aspectos-tecnicos/disenio-de-mezclas-de-concreto>.

[26] Incontec, «NTC 673».