

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**INFLUENCIA DEL VIDRIO MOLIDO RECICLADO COMO
AGREGADO FINO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES
FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO**
TESIS
**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

PRESENTADO POR:

BACH. ANCO AVILA, GERSON

BACH. SARMIENTO MARTEL, OSCAR

ASESOR: Mg. Ing. CHAVARRÍA REYES, LILIANA JANET

LIMA-PERÚ

2021

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis a mis familiares, a mi padre Felipe Anco y a mi madre Irene Avila, por ser el ejemplo a seguir, por la motivación constante que permitieron que hoy en día sea la persona que soy y por su amor incondicional. Así también quiero dedicar esta tesis a toda mi familia en general ya que siempre estuvieron ahí dándome su apoyo en los momentos difíciles de mi vida y así no darme por vencido y poder lograr con éxito mi carrera de Ingeniería Civil.

Anco Avila, Gerson

Dedico la presente tesis a mis padres Orlando y Maribel, a mis hermanos y familiares, agradecer por los consejos, comprensión y ayuda con los recursos necesarios para cumplir con mis objetivos. Me han dado todo lo que soy como persona, mis principios, mis valores, mi empeño y mi carácter para cumplir con mis metas que tengo planeado a futuro.

Sarmiento Martel, Oscar

AGRADECIMIENTO

Nuestro Agradecimiento a todos los que nos acompañaron e instruido en esta carrera, a nuestra asesora, Mg. Ing. Liliana Chavarría Reyes, por darnos su tiempo y encaminarnos hacia este gran paso y a nuestro metodólogo Dr. Ing. Carlos Magno Chavarry Vallejos, por orientarnos hacia la correcta elaboración de nuestra investigación. Gracias a las ganas de trasmitirnos sus conocimientos y dedicación para lograr culminar el desarrollo de nuestra tesis.

Anco Gerson y Sarmiento Oscar

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
INTRODUCCION	iii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Delimitación de la realidad problemática.....	1
1.2. Formulación del problema.....	2
1.2.1 Problema general	2
1.2.2 Problemas específicos	2
1.3. Objetivos de la investigación	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos	3
1.4. Delimitación de la investigación	3
1.5. Justificación.....	4
1.5.1. Conveniencia social	4
1.5.2. Relevancia social.	4
1.5.3. Aplicaciones prácticas.	4
1.5.4. Utilidad metodológica.....	4
1.5.5. Valor teórico.	5
1.6. Importancia del estudio	5
1.6.1 Nuevos conocimientos	5
1.6.2 Aporte	5
1.7. Limitaciones del estudio.....	5
1.7.1 Falta de estudios previos de investigación.....	5
1.7.2 Metodológicos o prácticos	6
1.7.3 Medidas para la recolección de los datos.....	6
1.7.4 Obstáculos de la investigación.....	6
1.8. Alcance	6
1.9. Viabilidad del estudio.....	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	7
2.1. Marco histórico.....	7
2.2. Investigaciones relacionadas con el tema.....	8
2.2.1 Investigaciones internacionales	8

2.2.2	Investigaciones Nacionales	11
2.2.3	Artículos relacionados con el tema	13
2.3.	Estructura teórica y Científica	22
2.3.1	Concreto	22
2.3.2	Concreto reforzado con vidrio molido	22
2.3.3	Propiedades del concreto	22
2.3.4	Vidrio	25
2.3.5	Aplicaciones.....	27
2.3.6	Ventajas del concreto con vidrio molido reciclado.....	28
2.3.7	Limitaciones del concreto con vidrio molido reciclado.....	28
2.3.8	Normas técnicas peruanas.....	28
2.3.9	Norma Técnica E-60 – Concreto Armado	29
2.3.10	Método ACI 211 – Diseño de mezclas de Hormigón.....	30
2.4	Definición de términos básico	30
2.5	Fundamentos teóricos que sustentan las hipótesis	31
CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPOTESIS		32
3.1	Hipótesis	32
3.1.1	Hipótesis general.....	32
3.1.2	Hipótesis específicas	32
3.2	Variables.....	32
3.2.1	Definición conceptual	32
3.2.2	Definición operacional.....	33
3.3	Operacionalización de variables.....	33
CAPÍTULO IV: METODOLOGIA		36
4.1.	Método de la investigación.....	36
4.2.	Tipo de investigación	36
4.3.	Nivel de investigación	37
4.4.	Diseño de la investigación.....	37
4.5.	Población y muestra	38
4.5.1.	Población	38
4.5.2.	Muestra	39
4.6.	Técnicas e instrumentación de recolección de datos.....	41

4.7. Descripción de procedimientos de análisis	41
--	----

CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA

INVESTIGACIÓN	42
5.1 Resultados de la investigación.	42
5.2 Análisis e interpretación de resultados.	63
5.3 Contrastación de la hipótesis	76
5.3.1 Al analizar el óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino aumenta la durabilidad del concreto.	76
5.3.2 Al analizar el óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino aumenta la resistencia a la compresión del concreto	78
5.3.3 Al analizar el óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino reduce la absorción de agua en la mezcla de concreto	81
5.3.4 Al analizar el óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino mejora el asentamiento en la mezcla de concreto.....	84
DISCUSIÓN	86
CONCLUSIONES	88
RECOMENDACIONES	90
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	91
ANEXOS	96
Anexo 1: Matriz de Consistencia.....	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Comparación resistencia probetas con vidrio molido vs mezcla normal	9
Tabla 2: Clasificación según su asentamiento	25
Tabla 3: Análisis químico de cemento y tipos de vidrio.....	27
Tabla 4: Requerimiento de granulometría agregado fino	28
Tabla 5: Tiempo de tolerancia de fracturado de probeta	29
Tabla 6: Resumen de operacionalización de variables	33
Tabla 7: Matriz de operacionalización de variables	35
Tabla 8: Cantidad de muestras a ensayar	39
Tabla 9: Numero de probetas – Autor 1	40
Tabla 10: Número de probetas – Autor 2	40
Tabla 11: Ensayo-Permeabilidad al cloruro (Coulomb) para determinar la durabilidad del concreto modificado con diferentes porcentajes de vidrio molido reciclado – 90um.	43
Tabla 12: Ensayo: Permeabilidad al cloruro (Coulomb) para determinar la durabilidad del concreto con diferentes porcentajes de vidrio molido reciclado color marrón – 1.18um.....	44
Tabla 13: Ensayo: Permeabilidad al cloruro (Coulomb) para determinar la durabilidad del concreto con diferentes porcentajes de vidrio molido reciclado color verde – 1.18um.....	44
Tabla 14: Ensayo: Permeabilidad al cloruro (Coulomb) para determinar la durabilidad del concreto con diferentes porcentajes de vidrio molido reciclado color claro – 1.18um.	45
Tabla 15: Ensayo: Permeabilidad al cloruro (Coulomb) para determinar la durabilidad del concreto con diferentes porcentajes de vidrio molido reciclado mezclado – 1.18um	45
Tabla 16: Ensayo: Permeabilidad al cloruro (Coulomb) para determinar la durabilidad del concreto con diferentes porcentajes de vidrio molido reciclado y agregados de piedra caliza – 125um.	46
Tabla 17: Ensayo: Permeabilidad al cloruro (Coulomb) para determinar la durabilidad del concreto modificado con diferentes porcentajes de vidrio molido reciclado – 84um.	48

Tabla 18: Resultados de asentamiento (mm) para mezclas de concretos modificados con vidrio molido reciclado con a/c =0.40.....	49
Tabla 19: Resultados de asentamiento (mm) para mezclas de concretos modificados con vidrio molido reciclado con a/c =0.45.....	50
Tabla 20: Resultados de asentamiento (mm) para mezclas de concretos modificados con vidrio molido reciclado con a/c =0.45.....	52
Tabla 21: Ensayo: Resistencia a la compresión a los 28 días reemplazando el agregado fino por porcentajes de vidrio molido reciclado – 90um.	53
Tabla 22: Ensayo: Resistencia a la compresión a los 28 días reemplazando el agregado fino por porcentajes de vidrio molido reciclado – 75um.	54
Tabla 23: Ensayo: Resistencia a la compresión a los 28 días reemplazando el agregado fino por porcentajes de vidrio molido reciclado marrón – 1.18um.	55
Tabla 24: Ensayo: Resistencia a la compresión a los 28 días reemplazando el agregado fino por porcentajes de vidrio molido reciclado neón – 1.18um.	56
Tabla 25: Ensayo: Resistencia a la compresión reemplazando el agregado fino por porcentajes de vidrio molido reciclado verde – 1.18um.	56
Tabla 26: Ensayo: Resistencia a la compresión reemplazando el agregado fino por porcentajes de vidrio molido reciclado color mixto – 1.18um.	56
Tabla 27: Ensayo: Porcentaje de absorción de agua reemplazando el agregado fino por porcentajes de vidrio molido reciclado – 125um.	58
Tabla 28: Ensayo: Porcentaje de absorción de agua reemplazando el agregado fino por porcentajes de vidrio molido reciclado – 90um	59
Tabla 29: Ensayo: Porcentaje de absorción de agua reemplazando el agregado fino por porcentajes de vidrio molido reciclado – 4.75mm	60
Tabla 30: Ensayo: Porcentaje de absorción de agua reemplazando el agregado fino por porcentajes de vidrio molido reciclado – 75um	61
Tabla 31: Resultados de la absorción de agua para mezclas de concretos modificados con vidrio molido reciclado – 125um	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Curva de Resistencia a la Compresión del Hormigón vs. Edad del Hormigón	10
Figura 2: Esquema ensayo RCPT	24
Figura 3: Esquema de los patrones de fractura.....	29
Figura 4: Fundamentos teóricos que sustentan las hipótesis	31
Figura 5: Carga Coulomb vs % Vidrio molido reciclado – 90um.....	43
Figura 6: Resultados de la influencia de vidrio molido color marrón, verde, blanco y mixto respecto a la penetración de cloruros en el hormigón modificado	45
Figura 7: Carga Coulomb vs % Vidrio molido reciclado – 125um.....	47
Figura 8: Carga Coulomb vs % Vidrio molido reciclado – 84um.....	48
Figura 9: Asentamiento (mm) de la mezcla del concreto con porcentaje de vidrio molido reciclado con a/c=0.40	49
Figura 10: Asentamiento (mm) de la mezcla del concreto modificado con porcentaje de vidrio molido reciclado con a/c=0.45	51
Figura 11: Asentamiento (mm) de la mezcla del concreto modificado con porcentaje de vidrio molido reciclado con a/c=0.45	52
Figura 12: Porcentaje de vidrio molido reciclado vs Resistencia a la compresión a los 28 días – 90um.	53
Figura 13: Porcentaje de vidrio molido reciclado vs Resistencia a la compresión a los 28 días – 75um.	54
Figura 14: Porcentaje de vidrio molido reciclado marrón, verde y neón vs Resistencia a la compresión a los 28 días – 1.18um	57
Figura 15: % Absorción de agua vs % Vidrio molido reciclado – 125um.....	58
Figura 16: %Absorción de agua vs % Vidrio molido reciclado – 90um.....	59
Figura 17: %Absorción de agua vs % Vidrio molido reciclado – 4.75mm.....	61
Figura 18: %Absorción de agua vs % Vidrio molido reciclado – 75um.....	62
Figura 19: %Absorción de agua vs % Vidrio molido reciclado – 125um.....	63
Figura 20: Resultados de la influencia de vidrio molido reciclado respecto a la penetración de cloruros en el hormigón modificado – 90um	64

Figura 21: Resultados de la influencia de vidrio molido respecto a la penetración de cloruros en el hormigón modificado – 1.18um	65
Figura 22: Resultados de la influencia de vidrio molido respecto a la penetración de cloruros en el hormigón modificado – 125um	66
Figura 23: Resultados de la resistencia a la compresión del concreto con vidrio molido reciclado a los 28 días con – 90um.....	67
Figura 24: Resultados de la resistencia a la compresión del concreto con vidrio molido reciclado a los 28 días – 75um.....	68
Figura 25: Resultados de la resistencia a la compresión del concreto con vidrio molido reciclado a los 28 días – 1.18um.....	69
Figura 26: Resultados del %Absorción de agua del concreto con vidrio molido reciclado – 90um.....	70
Figura 27: Resultados del %Absorción de agua del concreto con vidrio molido reciclado – 4.75mm.....	70
Figura 28: Resultados del %Absorción de agua del concreto con vidrio molido reciclado – 125um.....	71
Figura 29: Resultados del %Absorción de agua del concreto con vidrio molido reciclado – 4.75mm.....	72
Figura 30: Resultados del %Absorción de agua del concreto con vidrio molido reciclado – 125um.....	73
Figura 31: Asentamiento (mm) de la mezcla del concreto modificado con porcentaje de vidrio molido reciclado con a/c=0.40.....	74
Figura 32: Asentamiento (mm) de la mezcla del concreto modificado con porcentaje de vidrio molido reciclado con a/c=0.45.....	75
Figura 33: Asentamiento (mm) de la mezcla del concreto modificado con porcentaje de vidrio molido reciclado con a/c=0.45.....	75
Figura 34: Resultado de durabilidad del concreto con diferentes porcentajes óptimos de vidrio molido reciclado en reemplazo del agregado fino vs Autores.....	76
Figura 35: Resultado de la resistencia a la compresión del concreto con diferentes porcentajes óptimos de vidrio molido reciclado en reemplazo del agregado fino vs Autores.	78
Figura 36: Resultado de la absorción de agua del concreto con diferentes porcentajes de vidrio molido reciclado en reemplazo del agregado fino vs Autores.	81

Figura 37: Resultado de la relación agua cemento respecto al asentamiento de la
mezcla vs Autores 84

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo principal analizar la influencia del vidrio molido reciclado como agregado fino en el concreto, recolectando información de diversas investigaciones nacionales e internacionales con el fin de evaluar la mejora de las propiedades físicas y mecánicas del concreto. Esta investigación fue documental bibliográfico y descriptivo, de tipo correlacional y explicativo, donde se utilizaron estudios revisados, utilizando el método deductivo, orientación aplicada y enfoque cuantitativo, se usó la recolección de datos, nivel descriptivo y el diseño es retrospectivo. Las propiedades estudiadas fueron la resistencia a la compresión, durabilidad, absorción y trabajabilidad del concreto.

En la investigación el vidrio molido reciclado como agregado fino cumple características similares al cemento por ende mejora las propiedades físicas y mecánicas del concreto, en el ensayo de la resistencia a la compresión se obtienen un resultado de 351 kg/cm² con un óptimo porcentaje del 20% el cual representa una mejora del 26%, en el ensayo RCPT se observa que la menor carga obtenida es de 2500C para un porcentaje de remplazo de vidrio molido reciclado del 20% la cual determina una reducción del 59% respecto a la carga inicial aplicada, en el ensayo del asentamiento del concreto se observa que el mejor resultado es de 165mm para una relación a/c de 0.40 dando lugar a mejora del 57% del asentamiento y para la absorción de agua se determina que la mejor absorción de agua en el concreto es de 2.70% y se produce para un porcentaje óptimo del 30% que reemplaza el agregado fino por vidrio molido.

Palabras Clave: Vidrio molido reciclado, propiedades físicas, propiedades mecánicas, resistencia a la compresión, absorción de agua, asentamiento y durabilidad.

ABSTRACT

The main objective of this research was to analyze the influence of recycled ground glass as fine aggregate in concrete, collecting information from various national and international researches in order to evaluate the improvement of the physical and mechanical properties of concrete. This research was documentary bibliographic and descriptive, of correlational and explanatory type, where reviewed studies were used, using the deductive method, applied orientation and quantitative approach, data collection was used, descriptive level and the design is retrospective. The properties studied were the compressive strength, durability, absorption and workability of concrete.

In the research, the recycled ground glass as fine aggregate meets similar characteristics to cement, therefore it improves the physical and mechanical properties of concrete, in the compression resistance test a result of 351 kg / cm² is obtained with an optimal percentage of 20 % which represents an improvement of 26%, in the RCPT test it is observed that the lowest load obtained is 2500C for a percentage of replacement of recycled ground glass of 20% which determines a reduction of 59% with respect to the initial applied load, in the concrete slump test it is observed that the best result is 165mm for a w / c ratio of 0.40 giving rise to an improvement of 57% of the slump and for the absorption of water it is determined that the best absorption of water in the concrete is 2.70% and is produced for an optimal percentage of 30% that replaces fine aggregate with ground glass.

Keywords: Recycled ground glass, physical properties, mechanical properties, compressive strength, water absorption, slump and durability.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la industria de la construcción es una de las actividades que más afecta negativamente el medio ambiente y uno de los principales contaminantes es la producción de cemento se estima que la producción de una tonelada de cemento genera alrededor de 0.9 toneladas de CO₂ que se libera en el medio ambiente, también se están generando residuos de vidrio en todo el mundo y en su mayoría terminan en vertederos sin opción de reciclaje. Por ello el uso de vidrio molido reciclado en el concreto ha despertado gran interés en todo el mundo y se han realizado numerosas investigaciones que muestran la posibilidad de usar el vidrio molido reciclado como material de construcción al reemplazarlo parcialmente por el agregado fino en las mezclas de concreto.

La investigación realizada es de conveniencia social, ya que está basada en mejorar la calidad del concreto, mediante el uso del vidrio reciclado molido. La aplicación de esta investigación beneficia a las empresas dedicadas a la construcción de obras civiles ya que se tendría una mejor calidad de concreto optimizando costos, la contaminación ambiental reducirá debido que el vidrio es un producto no degradable y se disminuye la producción de cemento que tiene un impacto negativo en el medio ambiente por la emisión de CO₂ en su producción.

La presente tesis hace posible amplificar el conocimiento de uso de vidrio molido reciclado en reemplazo parcial del agregado fino en la mezcla de concreto para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas, además de su uso y óptimo porcentaje de reemplazo en la mezcla de concreto.

En este trabajo de investigación se analiza los agregados, tipo de cemento, porcentajes de vidrio molido reciclado, la relación a/c, tamaño de partículas de vidrio y aditivo adicionales que se utilizaron en la mezcla y lo cuales influenciaron en los resultados obtenidos.

El objetivo de la presente investigación se basó en analizar la influencia del vidrio molido reciclado para mejorar propiedades físicas y mecánicas del concreto. Y de esta manera se han planteado cuatro objetivos específicos:

- Analizar el óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino para aumentar la durabilidad del concreto.

- Analizar el óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino para mejorar el asentamiento en la mezcla de concreto.
- Analizar el óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino para aumentar la resistencia a la compresión del concreto.
- Analizar el óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino para reducir la absorción agua de la mezcla del concreto.

Al realizar una importante investigación sobre nuestros objetivos tiene como prioridad principal, analizar la influencia del vidrio molido reciclado como agregado fino para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto.

La presente investigación consta de seis capítulos; El capítulo I, presenta el planteamiento del problema, objetivos, la justificación, limitaciones y viabilidad de la investigación; el capítulo II, se centra el marco teórico donde se encuentra las definiciones conceptuales, investigaciones relacionadas con el tema, estructura teórica y científica que sustenta el estudio , para así poder responder a la pregunta de la investigación; el capítulo III, encuentra el sistema de hipótesis y formulamos la hipótesis general y específica, Asimismo, el diseño del sistema de variables; el capítulo IV, precisa el tipo, nivel, diseño y método de la investigación, la población y muestra, las técnicas de recolección y procesamiento del análisis de datos. Se realizó el diseño metodológico; el capítulo V, describe la presentación de resultados, análisis y contrastación de hipótesis. Finalmente, se muestra las discusiones con otros autores, conclusiones en base a lo demostrado en la investigación y recomendaciones según la experiencia obtenida al realizar nuestro aporte y aplicación, todos estos capítulos cumplen una gran importancia ya que implican el correcto desarrollo de la investigación.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Delimitación de la realidad problemática.

El concreto es el material más utilizado en la industria de la construcción, pero su producción tiene un impacto negativo en el medio ambiente debido a la contaminación que se origina. Por ello se viene realizando estudios para reemplazarlo parcialmente con vidrio reciclado, el cual también es un problema ya que se viene acumulando en vertederos sin opción de reciclaje.

Actualmente, son muchos los estudios que muestran las buenas propiedades de los residuos de vidrio como sustituto del agregado fino en la mezcla de concreto. De hecho, se consideran uno de los sustitutos más adecuados de la arena y el cemento, debido a sus características físicas y composición química. Esta reutilización de materiales de desecho se convierte en una estrategia viable para reducir el uso de cemento Portland y las emisiones de CO₂.

Yeong et al. (2018), esta investigación estudia el concreto con adición de vidrio molido reciclado centrándonos en la mejora de las propiedades física y mecánicas a partir de las diferentes adiciones de vidrio en porcentajes que se agregaran a la mezcla de concreto. Estudiaron la producción de hormigón con la finalidad de diseñar mezclas de concretos para estructuras de drenaje hidráulico, mediante la adición de vidrio marrón recolectado en los desechos municipales de la región sin disminuir la cantidad del cemento, para luego realizar pruebas de resistencia y durabilidad en donde obtuvieron resultados positivos. Uno de sus puntos a iniciar la investigación es la gran contaminación que produce estos desechos de envases de vidrios utilizados los cuales no son biodegradables.

Trezza y Rahhal (2019), realizaron estudios comparativos con respecto a los cementos de escoria y el cemento portland, los cuales indican que presentan las mismas propiedades físicas y mecánicas, pero la gran diferencia se observa en la sostenibilidad que presenta el cemento de escoria y la principal desventaja del cemento de escoria es la baja resistencia a la compresión a edades tempranas debido a la baja tasa de hidratación de la escoria. Es por ello que realizaron investigaciones referente a la mezcla de cemento de escoria con residuos de polvo de vidrio, en las siguientes dosificaciones cemento de escoria al 70% y polvo de vidrio en 10%-

20%, en donde ellos determinan que el vidrio mejora la fluidez de los morteros y la resistencia a la compresión aumentado proporcionalmente con la edad de la mezcla, también indican que el cemento mezclado propuesto (cemento de escoria más vidrio molido) con referencia al cemento de escoria presenta mejores propiedades mecánicas y al utilizar menores cantidades de escoria se vuelve más sostenible y es un gran aporte a reutilización de residuos.

Jamshid y Oudah (2020), estudiaron el hormigón de vidrio de ultra rendimiento, determinando que es un concreto sostenible debido a que proporciona beneficios ambientales a través de la utilización de elementos desechados en vertederos, dicho estos materiales son indeseables para el ambiente ya que no son biodegradables ni amigables con el medio ambiente. Indican que una vez realizado la mezcla del hormigón con cemento se pudo determinar que la resistencia a la compresión es superior a 150 MPa. Según la composición del hormigón de vidrio ultra alto rendimiento, el polvo molido de vidrio es una influencia positiva en las propiedades mecánicas (compresión, axial, flexión) y microestructurales del hormigón ultra alto, ya que hoy en día la sostenibilidad del boom de la construcción debe ser una prioridad para las investigaciones futuras, ya que esta mezcla de materiales o composiciones son utilizados para general mayor durabilidad al concreto.

Augusto et al. (2017), estudiaron y realizaron ensayos de resistencia a la compresión de material compuesto con y sin uso de vidrios molido incoloro, demostraron que a un 10% de micropartículas de vidrio se presenta un ligero aumento de la resistencia mecánica de las muestras, pero a un 20 % de micropartículas de vidrio presentan un menor impacto a la resistencia a la compresión, ya que presenta valores similares a una muestra sin agregar vidrio.

1.2. Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿En qué medida el vidrio molido reciclado como agregado fino influye en las propiedades físicas y mecánicas del concreto?

1.2.2 Problemas específicos

a) ¿En qué medida el porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino influye en la durabilidad del concreto?

- b) ¿En qué medida el porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino influye en el asentamiento en la mezcla de concreto?
- c) ¿En qué medida el porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino influye en la resistencia a la compresión del concreto?
- d) ¿En qué medida el porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino influye en la absorción del agua en la mezcla del concreto?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Analizar el óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto.

1.3.2 Objetivos Específicos

- a) Analizar el óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino para aumentar la durabilidad del concreto.
- b) Analizar el óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino para mejorar el asentamiento de la mezcla de concreto.
- c) Analizar el óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino para aumentar la resistencia a la compresión del concreto.
- d) Analizar el óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino para reducir la absorción agua de la mezcla del concreto.

1.4. Delimitación de la investigación

Geográfica

Por motivo que la tesis es descriptiva los estudios son análisis de resultados existentes de diferentes laboratorios de concreto.

Temporal

Esta investigación se realizará desde el mes de mayo del 2021 hasta el mes de noviembre del 2021 por lo que quedará concluida.

Temática

Campo: Vidrio molido como agregado fino para mejorar el concreto

Área académica: Tecnología del concreto

Línea de Investigación: Diseño de mezclas

Sub línea de Investigación: Análisis de diseños realizados.

Muestral

Nuestra unidad de investigación será recolección de resultados de ensayos con vidrio molido reciclado en laboratorios.

1.5. Justificación

1.5.1. Conveniencia social

La investigación realizada es de conveniencia social, ya que está basada en mejorar la calidad del concreto, mediante el uso del vidrio reciclado molido. La aplicación de esta investigación es mejorar la durabilidad del concreto, resistencia a la compresión, mejorar la trabajabilidad y reducir la absorción de agua del concreto.

1.5.2. Relevancia social.

La aplicación de esta investigación beneficia a las empresas dedicadas a la construcción de obras civiles ya que se tendría una mejor calidad de concreto optimizando costos, la contaminación ambiental reducirá debido que el vidrio es un producto no degradable y la producción de cemento tiene un impacto negativo en el medio ambiente por la emisión de CO_2 en su producción.

1.5.3. Aplicaciones prácticas.

Esta investigación da a conocer las propiedades del vidrio reciclado molido y sus beneficios como agregado fino para mejorar las propiedades mecánicas y físicas del concreto.

1.5.4. Utilidad metodológica.

En esta investigación se va a recolectar datos y resultados de estudios anteriores, todo esto con el fin de analizar los resultados, compararlos y validar la importancia de la investigación.

1.5.5. Valor teórico.

La investigación realizada busca analizar la influencia de vidrio molido reciclado en un concreto para los ensayos de la resistencia a la compresión, durabilidad, absorción de agua y asentamiento, así obtener un concreto de mejor calidad que las adquiridas con el cemento portland. Por eso se hace empleo del vidrio reciclado molido, ya que cambian las propiedades del concreto para obtener excelentes resultados.

El vidrio reciclado este compuesto por sílice el cual tiene una densidad entre 150-700 kg/m³ por ello ayuda a mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto.

1.6. Importancia del estudio

1.6.1 Nuevos conocimientos

Mediante las investigaciones, análisis y comparación de resultados, realizados en diferentes laboratorios, podemos comparar las propiedades físicas y mecánicas del concreto con porcentajes de vidrio molido como agregado fino el cual nos da a conocer las ventajas que tiene el utilizar el vidrio reciclado molido en ciertos porcentajes en reemplazo del agregado fino del concreto.

1.6.2 Aporte

Esta investigación determina el crecimiento del uso vidrio molido reciclado en la mezcla del concreto independientemente del tipo de color o tamaño del vidrio a emplear con la finalidad de mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto.

1.7. Limitaciones del estudio

1.7.1 Falta de estudios previos de investigación

Los ensayos realizados en laboratorios de concreto sobre la influencia de vidrio molido reciclado como agregado fino, tesis referenciales, artículos entre otras fuentes de información serán utilizados para la base datos de la presente investigación.

1.7.2 Metodológicos o prácticos

La metodología de esta investigación será recopilar datos ya existentes para poder comparar, analizar y poder concretar los objetivos de la investigación.

1.7.3 Medidas para la recolección de los datos

La tesis es descriptiva por ello se da la recolección de datos de investigaciones anteriores respecto a las propiedades físicas y mecánicas del concreto con vidrio molido de investigaciones.

1.7.4 Obstáculos de la investigación

No hay límites de la investigación, ya que existe bastante información como tesis, libros, artículos entre otras fuentes que facilitara el estudio y desarrollo de la investigación. Debido a la pandemia no se podrá realizar la tesis experimental, pero se cuenta con todo lo primordial para su elaboración.

1.8. Alcance

Este trabajo de investigación tiene como finalidad dar a conocer que al agregar el vidrio molido reciclado como agregado fino se obtiene una mejora en las propiedades físicas y mecánicas del concreto.

1.9. Viabilidad del estudio

La investigación del sobre la influencia del vidrio reciclado molido como agregado fino es viable puesto que toda la información que se necesita para complementar la tesis se puede encontrar en investigaciones anteriores relacionadas al tema, es viable ya que aplicar el vidrio reciclado molido como agregado grueso en la mezcla del concreto se mejorarán las propiedades físicas y mecánicas del concreto.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Marco histórico

Rojas (2016), nos indica que desde el año 1970 se viene realizando estudios del vidrio reciclado como agregado para la elaboración de concreto, presentándose el problema de la reacción ASR(álcali-sílice) que provoca grietas superficiales en el concreto debido a una expansión generada por la reacción entre el sílice amorfo presente en el vidrio con la pasta de cemento de naturaleza alcalina; para la época este inconveniente parecía insuperable; actualmente varios estudios, técnicas y la ingeniería de materiales permiten controlar las reacciones álcali sílice, dentro de las cuales están el empleo de cemento de bajo contenido alcalino, usar aislantes en la superficie de vidrios para impedir las reacciones.

Meyer (2008), explica que se viene desarrollando diferentes estudios para lograr un aprovechamiento de agregados no convencionales en la preparación de mezclas de concreto como: fibras de polipropileno, viruta de acero, escoria de fundición, bagazo de caña, estopa de coco y escombros; son materiales aprovechados que anteriormente eran desechados y a su vez mejoró las propiedades del concreto como el uso alternativo de remplazar un porcentaje de cemento con dichos materiales reciclables donde la producción masiva del elemento mencionado es la causante de la emisión de CO₂ debido al proceso de des carbonatación que sufre la caliza en su calcinación para la obtención del clinker donde dicho elemento es uno de los causantes del calentamiento global.

El concreto es una composición de una mezcla la cual contiene (agua, cemento, agregados fino , agregado grueso y en algunos casos aditivos) los cuales forman una mezcla de consistencia rígida con propiedades de resistencia, por lo cual hace posible que se utilice como material para la construcción y bajo este enfoque iniciaron diferentes concretos con diferentes materiales y de todos los tipos con la finalidad de diseñar concretos con componentes que bien proporcionados aportan varias propiedades las cuales mejoren de manera positiva en la calidad del concreto. Por ello se plantea buscar nuevos componentes con la finalidad de aportar nuevas innovaciones a la ingeniería civil, sin embargo, para poder utilizar este material o componente se debe estudiar su estructura científica de dicho material en el estado

fresco del concreto y es en ese entonces donde manifiestan sus primeras propiedades físicas, para luego estudiar en el estado endurecido del concreto.

León y Razuri (2020), indica que el vidrio es un material que genera una gran contaminación al medio ambiente producto de su fabricación, proceso por el cual emite una gran cantidad de CO₂, también nos explica que el motivo que en la actualidad por que los grandes inversionistas vienen reutilizando el vidrio es porque presenta grandes cualidades de impermeabilidad y resistencia, las mismas que son de gran relevancia en los estudios aplicados a la tecnología del concreto, ya que el concreto es la base principal de la Ingeniería Civil porque el concreto es un material indispensable en la mayoría de estructuras de edificaciones, puentes entre otras construcciones, siendo el cemento uno de sus principales compuestos el cual tiene la característica que permita al concreto tener o adquirir la resistencia requerida para el uso que se desee, es por ello que León en su investigación nos explica que reemplazara al cemento por el vidrio molido reciclado en un 10%, 15% y 20% como agregado fino con la finalidad de estudiar la resistencia a la compresión del concreto.

2.2. Investigaciones relacionadas con el tema

2.2.1 Investigaciones internacionales

Cano y Cruz (2017), realizaron investigaciones que tuvieron como objetivo principal el análisis de mezclas de concreto sustituyendo al cemento con proporciones de vidrio molido reciclado, con la finalidad de obtener mejoras en la resistencia a la compresión del concreto, para ello utilizaron 3 muestras de vidrio molido reciclado de manera granulométrica y tamizada según las normas estipuladas en su localidad mediante ensayos de laboratorios para obtener la resistencia a la compresión del concreto con diferentes proporciones de vidrio molido y compararlas con el concreto tradicional como se puede observar en la Tabla 1. En su investigación también hacen hincapié que el vidrio es un material de características compatibles con los agregados del concreto, es decir es un material inerte y de excelentes propiedades físicas. Mecánicas.

Tabla 1: Comparación resistencia probetas con vidrio molido vs Mezcla normal

PROBETAS CON VIDRIO MOLIDO							
% de vidrio	Peso (Kg)	Edad (días)	Carga ultima (KN)	Área (mm ²)	Esfuerzo último (Mpa)	% obtenido	Comparación con Mezcla normal
Mezcla común	13,3	14	214,31	17671,46	12,13	57,57%	
	13,3	28	292,17	17671,46	16,53	78,73%	
3	13,1	14	224,67	17671,46	12,71	60,54%	104,83%
3	13,35	28	301,36	17671,46	17,05	81,21%	103,15%
5	13,1	14	198,7	17671,46	11,24	53,54%	92,72%
5	13,25	28	354,29	17671,46	20,05	95,47%	121,26%
7	13,05	14	210,65	17671,46	11,92	56,76%	98,29%
7	13,25	28	310,98	17671,46	17,60	83,80	106,44%

Fuente: Cano y Cruz (2017, p.61)

Catalan (2013), Informa sobre el estudio realizado en la Universidad Austral de Chile en la cual realizó estudios sobre la adición de vidrio molido reciclado en sustitución del cemento en las siguientes proporciones 15%, 20% y 30%. Obteniendo resultados favorables en las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido, tales resultados obtenidos fueron el aumento de la resistencia a la compresión del concreto con una proporción mayor al 10% de vidrio molido reciclado por el cemento. Si bien, según los resultados obtenidos, no se apreció una variación significativa en la resistencia a partir de los hormigones patrones, este mismo hecho permite verificar que la inclusión de vidrio en el hormigón, es completamente factible, desde el punto de vista de inalterabilidad de las características principales de este material (densidad y resistencia)

Núñez y Peñafiel (2016), estudio la sustitución del vidrio molido reciclado por la arena como agregado fino para lo cual se realizó los ensayos correspondientes que cumplan con los parámetros otorgados por ASTM C33, ya con estos antecedentes se procedió a la fabricación de concreto adicionando porcentajes de vidrio molido en la mezcla con los siguientes porcentajes 10%, 20%, 30% y 40% en reemplazo de la arena. Para lo cual estudió probetas ensayadas a compresión a las edades de 7, 14 y 28 días, deduciendo que para la edad de 7 días mientras agregas más porcentaje de vidrio molido a la mezcla reduce la resistencia a la compresión, en cambio para las edades de 14 y 28 días con un porcentaje óptimo de 40% de vidrio

molido por la arena se obtuvo resistencias mayores a la de un concreto 210kg/cm², El ensayo de compresión a los 28 días de edad arrojó los siguientes resultados de resistencia 227.73kg/cm², 224.09kg/cm², 223.66kg/cm², 221.68kg/cm² y 234.76kg/cm², para adición de vidrio molido del 0% - 10% - 20% - 30% y 40% respectivamente. Verificando así que todas alcanzaron la resistencia de diseño como se muestra en la Figura 1

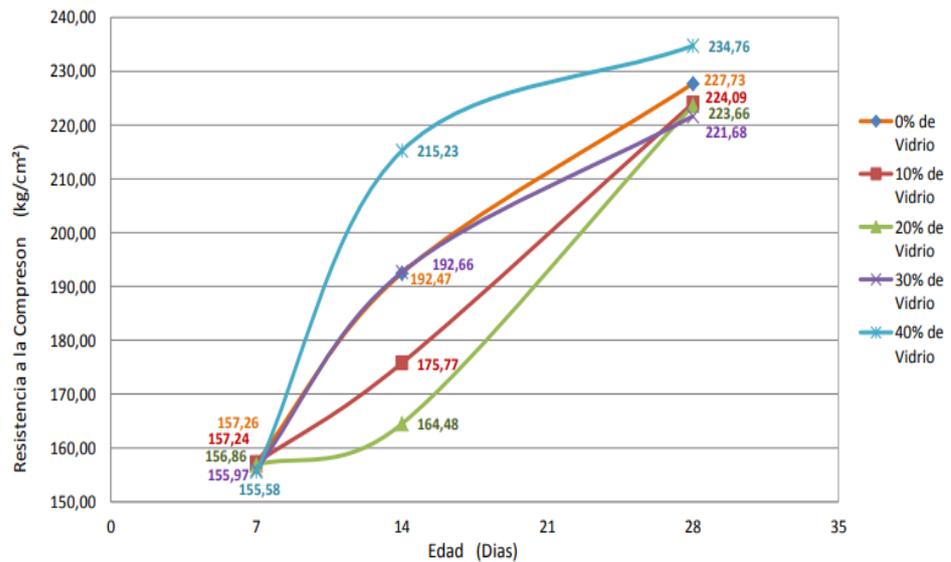


Figura 1: Curva de resistencia a la compresión del hormigón vs. Edad del hormigón

Fuente: Peñafiel (2016)

Aliabdo et al (2016), afirman que el hormigón es el material de gran aporte para la construcción, es decir es un material muy utilizado en las obras civiles por la calidad que brinda en elementos de material noble en la construcción, en su investigación también deduce que la fabricación de cemento es uno de los materiales que provoca el calentamiento global por la gran producción de dióxido de carbono que emana hacia el ambiente, es por ello que se viene buscando nuevas soluciones con materiales reciclables para la fabricación de hormigón y una de ellas es el vidrio reciclable. En su investigación examinó ciertas cantidades específicas de vidrio molido reciclado (0%, 10%, 20%, 30% y 40%) en sustitución parcial del cemento para la fabricación del concreto, obteniendo resultados favorables que mejoran las propiedades físicas – mecánicas del concreto.

2.2.2 Investigaciones Nacionales

Walhoff (2017), existe una influencia significativa en la resistencia a la compresión con un reemplazo del 5%, 10% y 15% de vidrio molido por cemento Portland a los 28 días. La investigación tuvo como objetivo evaluar la resistencia a la compresión de una mezcla de concreto $f'c$ 210 kg/cm² sustituyendo 5%, 10%, 15% del cemento Portland por vidrio molido, se determinó la resistencia a la compresión de una mezcla de concreto convencional y luego se procedió a comparar las características mecánicas de ambas mezclas. Para el concreto, se utilizó un diseño de mezcla $f'c$ 210 kg/cm²; mediante el diseño de mezcla se realizó tanto la mezcla convencional como la mezcla modificada donde se sustituyó el 5%, 10%, 15% del peso del cemento Portland por vidrio molido. El procedimiento se inició elaborando las probetas de concreto convencional para luego elaborar las probetas de concreto modificado. El ensayo realizado fue el de resistencia a la compresión a los 7, 14, 21 y 28 días.

Aguirre (2017), analiza y explica cómo se puede obtener un concreto en un estado endurecido con mayor resistencia a la compresión haciendo uso de materiales los cuales podemos encontrar de manera fácil en nuestros alrededores, no obstante existen componentes o aditivos para el concreto, por ello ha motivado la presente investigación: Influencia del uso de vidrio molido para aumentar la resistencia a la compresión, haciendo uso de este vidrio el cual lo encontramos a diario como vidrios de botellas y ventanas en materia de reciclaje. Es importante dar a conocer que estos vidrios contienen sílice el cual ayuda al cemento obtener una mayor resistencia, impermeabilidad y durabilidad.

La investigación analiza la resistencia a la compresión de un concreto adicionando vidrio reciclado para el uso en la losa de concreto del pavimento rígido, el cual mediante la prueba de resistencia a la compresión nos da un resultado positivo, esto quiere decir que agregando el vidrio molino obtenemos un concreto con mayor resistencia que el concreto sin agregar vidrio. Se realizaron pruebas de resistencia a la compresión en sus diferentes edades de 7, 14 y 28 días y finalmente se analizaron los resultados mediante gráficos y cuadros que se presentan en dicha investigación.

Arieta y Rengifo (2019), explican como el hormigón reforzado con vidrio molido y la relación con la resistencia a la compresión para controlar grietas y fisuras por contracción plástica, tiene una metodología con enfoque cuantitativo, con un nivel de estudio descriptivo, correlacional y explicativo ya que el objetivo fue realizar los diseños y referenciar escalonadamente el proceso de ensayos de laboratorio para hallar los resultados, notándose en numerables ocasiones, con el transcurso del tiempo la presencia de las fisuras y fallas en las losas apoyadas; cuya solución se resolvió diseñando mezclas de hormigón con vidrio molido para controlar la contracción plástica en losas apoyadas mediante ensayos de laboratorio, así mismo se diseñó mezclas con distintas dosificaciones de vidrio molido para mejorar las resistencias mecánicas del concreto adoptando 4 tipos de mezcla con vidrio molido de coloración verde y marrón (1% y 5% en relación al volumen del agregado fino) con edades de 3, 7, 14 y 28 días, con la resistencia de hormigón 210 kg/cm^2 , que fueron ensayadas a compresión, flexión y potencial de fisuración. Se concluyó que al incrementar la dosificación de vidrio molido 1% a 5% en relación al agregado fino del patrón, los resultados de los ensayos de compresión disminuyeron conforme se aumentaba la dosificación y el potencial de fisuración disminuye por ende se reduce la contracción plástica. También se concluyó que al ir incrementando la dosificación de vidrio molido se observó que la resistencia a la flexión no varía respecto a la del patrón. (p.12)

Huapaya y Valdivia (2019), los residuos de vidrio han incrementado con el pasar de los años, convirtiéndose en una amenaza grave para el medio ambiente. Esto ha generado que reciba mayor atención por las autoridades e investigadores a nivel global, proponiendo usos respetuosos con el medio ambiente de estos residuos, los cuales han ido desarrollando y mejorando en los últimos años. Este estudio profundiza en el posible uso del residuo de vidrio plano como una solución sostenible, al ser adicionados en el concreto. Para esto, se hicieron diseños de mezcla con diferentes cantidades de vidrio pulverizado y se realizaron comparaciones para identificar el efecto en las propiedades del concreto mediante ensayos de asentamiento, resistencia a la compresión resistencia a la compresión en condiciones de ataque por

sulfatos. Los resultados muestran que, para dichas pruebas, la adición de vidrio pulverizado favorece a las características de sus propiedades, presentando además un ahorro económico.

Paredes (2019), tuvo como objetivo principal analizar la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con adición de vidrio reciclado molido, mediante el reemplazo parcial en peso del agregado fino en porcentajes del 15%, 20% y 25%, con la finalidad de establecer una comparación entre un concreto convencional y otro con adición de vidrio reciclado molido. Se inició con el análisis de las propiedades físicas y químicas de los agregados pétreos y la elaboración de probetas de concreto y con adición de vidrio reciclado molido en el orden de 5%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30% de reemplazo en peso del agregado fino, con la finalidad de obtener los tres porcentajes de adición más adecuados, según la cantidad de vidrio utilizado y la semejanza de la resistencia a la compresión obtenida con el concreto convencional. Seguidamente, se procedió a la rotura de las probetas de concreto mencionadas, obteniendo 15%, 20% y 25% como los porcentajes de adición de vidrio más adecuados. Posteriormente, se elaboró probetas de concreto convencional y modificado con 15%, 20% y 25% de vidrio reciclado molido, y se efectuó las pruebas de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días de curado. Al finalizar los ensayos de resistencia a la compresión, se concluyó que usando el 15% de adición de vidrio reciclado molido como reemplazo en peso del agregado fino se obtiene mayor resistencia a la compresión en comparación con el concreto convencional y los demás porcentajes de adición estudiados. (p.14)

2.2.3 Artículos relacionados con el tema

Sobre la influencia del vidrio en el concreto para mejorar las propiedades física y mecánicas se tiene como referencia los siguientes artículos:

Lal et al (2020), afirman que el cemento portland es uno de los principales materiales utilizados para la producción de concreto y no tiene alternativa en la industria de la construcción civil. Por otra parte, la producción de cemento implica la emisión de grandes cantidades de gas de dióxido de carbono a la atmósfera, un factor relevante del efecto invernadero y al

calentamiento global, por lo que es inevitable buscar otro material o sustituirlo en parte por otro. La búsqueda de un material que pueda ser utilizado como alternativa o como complemento del cemento, debería conducir a un desarrollo global sostenible y a un impacto medioambiental lo más bajo posible.

Por ello se realizó una investigación acerca de la adición de polvo de vidrio al hormigón en la cual encontramos muchas ventajas como la alta resistencia, la durabilidad y la reducción de la producción de cemento. Utilizando polvo de vidrio en sustitución parcial del cemento es posible conseguir las propiedades de resistencia y durabilidad deseadas mediante el uso de material de desecho. El polvo de vidrio es más fino que el cemento y tiene mayor superficie por lo que la consistencia aumenta en gran medida, cuando aumenta el porcentaje de polvo de vidrio.

Tamanna et al (2020), afirman que el uso de vidrio reciclado triturado como reemplazo parcial del cemento en el concreto, se consideró vidrio sodocálcico que fueron recolectados de los desechos domésticos por el consejo Regional de Cairns en Australia, al tener menos afinidad por el agua el vidrio reciclado mejoro la trabajabilidad del concreto, también se observó una reducción de la densidad fresca con la adición del vidrio debido al menor peso específico del polvo de vidrio

La adición de vidrio triturado en reemplazo porcentual del cemento mejoro la densidad endurecida con el tiempo de curado a 28 días, ya que a temprana edad se notó una disminución en la resistencia, también se mostró una resistencia adecuada a la flexión y tracción.

Muestra que el uso de vidrio reciclado como reemplazo de cemento es factible para un porcentaje de 10%, siempre que el curado sea a largo plazo y la distribución más baja del tamaño de partículas se cumplan para el uso exitoso del vidrio reciclado triturado, este resultado de la investigación tiene como finalidad contribuir al desarrollo sostenible mediante la reducción del uso del cemento, así como la reducción de los residuos de vidrios que van a los vertederos.

Kamali y Ghahremaninezhad (2015), afirman que el comportamiento de resistencia mecánica y durabilidad de materiales cementosos modificados con dos tipos de polvos de vidrio, en varios niveles de reemplazo del cemento. Las resistencias mecánicas se evaluaron mediante pruebas de resistencia a la compresión y a la flexión, y las características de durabilidad estudiadas incluyeron reactividad álcali-sílice, resistividad eléctrica, permeabilidad al cloruro y porosidad. Los hallazgos de este estudio indicaron que los materiales cementosos modificados con polvos de vidrio mostraron una mejora en las resistencias a la compresión y flexión en comparación con el concreto de control en edades tardías de curado. Se encontró que la adición de polvos de vidrio disminuyó las expansiones de la reacción álcali-sílice de los materiales cementosos modificados cuando se mezclaron con arenas reactivas y aumentó la resistencia a la permeabilidad al cloruro y la resistividad eléctrica de los materiales cementosos. La mejora en la resistencia mecánica y durabilidad de los materiales cementosos modificados con polvos de vidrio puede atribuirse a la mejora de la microestructura derivada de la propiedad puzolánica de los polvos de vidrio. (p.407)

Afshinnia y Rao (2016), afirman que el impacto del uso de polvo de vidrio esmerilado como material de reemplazo de cemento o como material de reemplazo agregado en las propiedades frescas y mecánicas del concreto de cemento Portland. Además, se investigó la influencia sinérgica del uso de combinaciones de polvo de vidrio con agregado de vidrio triturado o agregado mineral natural en las propiedades del hormigón. Las propiedades del hormigón evaluadas en este estudio incluyen asentamiento (trabajabilidad), densidad, contenido de aire, resistencia a la tracción del hormigón a la compresión y al fraccionamiento. Los resultados de esta investigación mostraron que la trabajabilidad del concreto se vio significativamente afectada dependiendo de si el polvo de vidrio se usó como cemento o como material de reemplazo agregado; sin embargo, el contenido de aire y la densidad del concreto se vieron afectados solo cuando se usó polvo de vidrio como material de reemplazo del cemento. En términos de propiedades mecánicas, en ausencia de polvo de vidrio en el

concreto, los valores de resistencia a la tracción a la compresión y al desdoblamiento de las muestras de concreto que contienen agregado de vidrio triturado fueron significativamente más bajos que los del concreto que contiene agregado mineral natural. Cuando se utilizó polvo de vidrio como material de reemplazo del cemento en el concreto, la resistencia a la compresión del concreto disminuyó independientemente del tipo de agregado. Sin embargo, cuando se utilizó polvo de vidrio como material de reemplazo agregado. (p.1)

Lal et al (2020), afirman que el polvo de vidrio (GP) en 5%, 10%, 15%, 20% y 25%, y polvo de granito (GrP) en 10%, 20%, 30%, 40% y 50%, se agregaron a las mezclas de concreto. como suplemento parcial de cemento y arena, respectivamente. Se evaluó el rendimiento de durabilidad de una serie de mezclas combinadas para la absorción de agua, prueba de permeabilidad al agua, ataque ácido, ataque de sulfato y prueba rápida de penetración de cloruro (RCPT). Se observó una mejora significativa en las propiedades de durabilidad del hormigón que contiene 15% de GP y 30% de GrP en lugar de cemento y arena, respectivamente. Los resultados indican una mejora en la permeabilidad al agua y la absorción de agua del hormigón mezclado con granito de vidrio. La respuesta de la mezcla combinada contra el ataque de sulfatos y ácidos fue bastante mejor que la mezcla de concreto de control. El valor de RCPT también fue alentador para las mezclas combinadas. Se observó una mejora significativa en las propiedades de durabilidad del hormigón que contiene 15% de GP y 30% de GrP en lugar de cemento y arena, respectivamente. Los resultados indican una mejora en la permeabilidad al agua y la absorción de agua del hormigón mezclado con granito de vidrio.

Kamali y Ghahremaninezhad (2015), mencionan lo siguiente se realizó una investigación sobre el comportamiento de resistencia mecánica y durabilidad de materiales cementosos modificados con dos tipos de polvos de vidrio y cenizas volantes de clase F en varios niveles de reemplazo de cemento. Las resistencias mecánicas se evaluaron mediante pruebas de resistencia a la compresión y resistencia a la flexión, y las características de durabilidad estudiadas incluyeron reactividad álcali-sílice, resistividad

eléctrica, permeabilidad al cloruro y porosidad. Los hallazgos de este estudio indicaron que los materiales cementosos modificados con polvos de vidrio mostraron una mejora en las resistencias a la compresión y la flexión en comparación con el concreto de control en edades tardías de curado. Se encontró que la adición de polvos de vidrio disminuyó la expansión de la reacción álcali-sílice de los materiales cementosos modificados cuando se mezclaron con arenas reactivas y aumentó la resistencia a la permeabilidad al cloruro.

La mejora en la resistencia mecánica y durabilidad de los materiales cementosos modificados con polvos de vidrio puede atribuirse a la mejora de la microestructura derivada de la propiedad puzolánica de los polvos de vidrio.

Zheng (2013), afirma que las propiedades físicas y las propiedades mecánicas del hormigón de vidrio reciclado y analiza cómo el vidrio de desecho reciclado afecta estas propiedades. El capítulo trata sobre la durabilidad del hormigón de vidrio reciclado, especialmente sobre la reactividad álcali-sílice, ya que esta es la principal preocupación del hormigón de vidrio reciclado. También presenta sugerencias para estudios adicionales sobre hormigón de vidrio reciclado y propone tendencias futuras de uso de vidrio reciclado en hormigón de formas más económicas y ecoeficientes. (p.1)

Mardani et al, (2015), manifiestan que se investigaron los efectos del concreto reciclado fino y el agregado de vidrio sobre el desempeño mecánico y de durabilidad del concreto. El hormigón y el vidrio de desecho se trituraron, se tamizaron y se volvieron a mezclar para cumplir la misma gradación que la fracción de tamaño de agregado de piedra caliza triturada de 0 a 4 mm disponible. Los áridos reciclados se sustituyeron por áridos finos al 0, 15, 30, 45 y 60% en peso. Se determinó el rendimiento mecánico y de durabilidad de las mezclas a los 28 días. La máxima reducción en la resistencia se observó en las muestras que contenían 60% de agregado de vidrio reciclado. Además, el aumento del contenido de agregados de hormigón reciclado provocó una disminución en el valor de UPV y un

aumento de la absorción de agua, la profundidad de penetración del agua a presión, la penetración de iones de cloruro y la capacidad de absorción de agua de la mezcla de hormigón. (p.1)

Parghi y Shahria (2016), la posibilidad de utilizar polvo de vidrio reciclado (RGP) junto con materiales cementantes suplementarios (SCM), como cenizas volantes (FA) y humo de sílice (SF) como reemplazos parciales del cemento. Para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del mortero endurecido, También se añadió caucho de estireno butadieno (SBR) a la mezcla de mortero. El resultado muestra que la adición de finos RGP, FA y SF mejoró significativamente la unión entre el SBR y la matriz de cemento, lo que conduce a un aumento en las resistencias a la compresión y la flexión. Además, la adición de RGP, SF y FA redujo considerablemente las expansiones de la reacción de sílice alcalina (ASR), el porcentaje de absorción de agua y la tasa de absorción de agua que los de la mezcla de control. Este estudio muestra que el RGP se puede utilizar con éxito como un aditivo mineral eficaz en mortero de cemento con un 25% de reemplazo óptimo del cemento. SF y FA redujeron considerablemente las expansiones de la reacción de sílice alcalina (ASR), el porcentaje de absorción de agua y la tasa de absorción de agua que los de la mezcla de control. (p.1)

Collivignarelli et al, (2020), el comportamiento físico, mecánico y ambiental del hormigón incorporando residuos derivados de cuatro fuentes principales (residuos de construcción y demolición, residuos de tratamiento de residuos, subproductos de la industria metalúrgica y otros), como sustitutos de áridos finos o gruesos. Los agregados finos mostraron el mayor número de alternativas y nivel de reemplazo, con el impacto relevante en las propiedades del concreto; Los agregados gruesos, sin embargo, siempre alcanzan un reemplazo completo, con la exclusión del vidrio que afecta el rendimiento mecánico. (p.1)

Kashani et al, (2019), el reemplazo del 10% en peso de cemento Portland con vidrio molido resultó en una mayor resistencia en comparación con los otros materiales cementosos debido a una mejor compactación dentro del aglutinante y fortalecimiento de los poros efecto debido a la reordenación

del tamaño de los poros, así como a la reducción del peso unitario. El vidrio reciclado disminuyó ligeramente la absorción de agua, pero redujo sustancialmente la contracción por secado de la espuma de hormigón. (p.1)

García del Toro et al. (2021), se aplicaron diferentes dosis de polvo de vidrio y cemento para la fabricación de las mezclas de hormigón. Inicialmente se estudiaron las características del hormigón fresco, como consistencia, contenido de aire, densidad aparente y trabajabilidad. En segundo lugar, se realizaron ensayos de resistencia a la compresión en las diferentes mezclas de hormigón producidas. Las pruebas de consistencia nos permitieron clasificar estos hormigones dentro del grupo de fluidos. El contenido de aire de estos hormigones aumentó con la tasa de sustitución del cemento por polvo de vidrio, lo que resultó en hormigones más ligeros. Las pruebas de densidad mostraron que este parámetro disminuyó a medida que aumentaba la tasa de sustitución del cemento. (p.1)

Maher et al. (2019), indican que el uso de material de desecho de vidrio reutilizado en concreto como reemplazo parcial del cemento es viable. Se hicieron algunas propiedades endurecidas como resistencia a la compresión y flexión, módulo de elasticidad y % de absorción. Se examinó el efecto del polvo de vidrio sobre estas propiedades en comparación con las muestras de referencia sin polvo de vidrio. Se probó el cinco por ciento: 0% (referencia), 10%, 15%, 20% y 25%. A partir de los resultados de las pruebas, se puede concluir que la sustitución parcial del cemento por polvo de vidrio mejoró la resistencia del hormigón (compresión y flexión) hasta un 20% del nivel de sustitución. El uso de polvo de vidrio como sustitución parcial del cemento mejoró la resistencia y el módulo de elasticidad del hormigón. El % de absorción disminuye con el aumento del contenido de polvo de vidrio.

Burak (2016), nos menciona que los agregados utilizados en este estudio fueron piedra caliza. Se utilizó vidrio reciclado (menor de 1 mm) para reemplazar el agregado fino en proporciones de 10%, 20% y 30% por peso total de agregado. La zeolita reemplazó al cemento Portland en proporciones de 10% y 30% por tres proporciones diferentes de mezclas de hormigón de vidrio reciclado. Se realizaron mediciones de ASR y todas las muestras

cumplieron con los requisitos de expansión de ASR. El uso de vidrio reciclado aumentó las expansiones de ASR, pero la sustitución del cemento Portland por zeolita en una proporción del 30% disminuyó estas expansiones de manera significativa. La resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión de todas las muestras se midieron a los 28 y 90 días. La muestra en proporción de vidrio reciclado al 30% como agregado fino no cumplió con los requisitos de resistencia a la compresión. (p.1)

Paul et al (2018), afirman que la permeabilidad al oxígeno disminuye con el aumento de diferentes contenidos de polvo de vidrio en el concreto. Esto se debe a las composiciones químicas y la estructura de la sílice, que favorece una mayor reacción puzolánica. Esta reacción redujo la porosidad del hormigón y su permeabilidad. Las muestras se curaron en agua durante 60 días, lo que puede proporcionar suficiente humedad para la hidratación de los aglutinantes y una mejor permeabilidad del hormigón. Además, se encontró que el tamaño de partícula es un factor significativo para la permeabilidad al oxígeno. El hormigón autocompactante con polvo de vidrio de 10 μm mostró el mejor desempeño en permeabilidad al oxígeno en comparación con el polvo más grueso de 20 μm y 40 μm . Este efecto se volvió más dominante con el tiempo de curado. (p.40)

Augusto et al (2017), nos mencionan lo siguiente el estudio aborda la influencia de la sustitución del cemento en un 10 y un 20% de las partículas de vidrio sodocálcico incoloras y de color ámbar con un tamaño de alrededor de 9,5 μm sobre el desempeño de los morteros de cemento Portland. Los resultados revelaron que la reposición parcial de cemento podría contribuir a la producción de morteros duraderos en relación con la inhibición de la reacción álcali-agregado. Este efecto fue más marcado con un 20% de reemplazo usando vidrio ámbar. Las muestras que contienen micropartículas de vidrio fueron más resistentes a la corrosión, en particular los de vidrio incoloro. El uso de micropartículas de vidrio incoloras y ámbar promovió una reducción de la resistencia al desgaste.

Jang et al (2015), afirman que se realizaron experimentos para determinar el contenido de reemplazo óptimo y el tipo de partículas para asegurar que

se mantenga la calidad de los productos de concreto. Los resultados indican que el uso de polvo de vidrio de desecho como aditivo para mortero de cemento fue eficiente para reducir la expansión de la reacción álcali-sílice (ASR) y aumentar la trabajabilidad. La resistencia a la compresión de los morteros con vidrio residual también mejoró en comparación con la del mortero normal, debido a la mayor cantidad de hidratos de silicato de calcio creados por la reacción puzolánica. Pero era evidente que las propiedades de trabajabilidad, resistencia a la compresión y ASR eran significativamente diferentes con el tamaño de partícula del polvo de vidrio de desecho

Marcin et al (2020), nos mencionan lo siguiente se reemplazó el agregado fino por el vidrio de desecho fino en porcentajes de 5%, 10%, 15% y 20%. Se evaluaron las resistencias a la tracción a la compresión, la flexión y la división. Además, el módulo de elasticidad y el coeficiente de Poisson fueron determinados. La adición de vidrio aumenta las propiedades mecánicas del mortero. Al comparar la resistencia, además, se determinó que al aumentar el contenido de agregado de arena de vidrio reciclado, la densidad del mortero disminuyó. Además, se observaron las relaciones entre las propiedades del mortero que contiene el vidrio de desecho fino.

Ruiz y Rodríguez (2016), afirman que incorporación de vidrio de desecho finamente molido afecta directamente a la resistencia a la compresión y la reacción álcali-sílice de la mezcla. Se llevaron a cabo mezclas con distintos porcentajes de reemplazo de cemento. Los resultados de este estudio indican que el vidrio molido, en el tamaño utilizado, se comporta como una puzolana. Aunque el reemplazo de parte del cemento en la mezcla reduce su resistencia en edades tempranas, en comparación de la mezcla sin vidrio o mezcla patrón. Esto es evidente por el aumento de la resistencia en el tiempo del hormigón, como lo confirman los ensayos de probetas de hasta 270 días de edad. Las probetas patrones siempre mostraron resistencias mayores a las que se elaboraron con mezcla con vidrio.

Seong et al (2017), afirman que el estado fresco, estado endurecido y las propiedades de durabilidad del hormigón muestran una mejora significativa con inclusión de polvo de vidrio LCD (pantalla de cristal líquido) residual

en hormigón. La sustitución del 5% de cemento por polvo de vidrio LCD residual se considera el nivel de sustitución óptimo con respecto a los estudios de resistencia. La resistencia a la compresión del 5% de reemplazo se obtiene como un 20%, 28% y 36% más alta que la muestra de control después de 7 días, 28 días y 56 días respectivamente con respecto a la penetración de iones de cloruro, la sustitución del 5% del cemento muestra una óptima resultados, mientras que el 20% de reemplazo parcial con polvo de vidrio LCD da los mejores resultados en la resistencia a los sulfatos y el ataque de ácidos. En el concreto la sustitución del cemento por materiales puzolánicos, como el polvo de vidrio LCD residual, puede ser una opción viable para mitigar la contaminación ambiental mediante la reducción del consumo de cemento y la incorporación de desechos sólidos. (p.1)

2.3. Estructura teórica y Científica

2.3.1 Concreto

Padilla y Salazar (2019), científicamente se define al concreto como “la mezcla del cemento, agregados inertes (arena y grava) y agua, la cual se endurece después de cierto tiempo formando una piedra artificial”.

2.3.2 Concreto reforzado con vidrio molido

Es una mezcla de concreto simple con adición de vidrio molido reciclado en cantidades variables dependiendo de la resistencia y durabilidad que se desea obtener de la mezcla a diseñar. El vidrio molido genera a corto plazo sobre el concreto reforzado un incremento en la resistencia en estado endurecido.

2.3.3 Propiedades del concreto

Propiedades mecánicas del concreto

Es la propiedad del material que se relaciona con la capacidad de transmitir y resistir fuerzas que se le aplique.

Resistencia a la compresión.

La resistencia a la compresión es una característica principal del concreto, el cual representa la resistencia máxima de una probeta de concreto frente a una carga de compresión axial y es expresada en unidad de área por sección transversal.

Hernández (2010), sostiene que “La resistencia a la compresión del concreto se realiza mediante la norma ASTM C39 (ensayo de compresión en cilindros) y ASTM C31 (curado de muestras) y NTP 339.034, el concreto colocado en la estructura alcanzara la resistencia especificada, pero eso no ocurre siempre. Son varios los factores (forma de preparación, cantidad de materiales utilizados, calidad de los agregados, etc.) afectan positiva o negativamente esta importante propiedad del concreto”.

Resistencia a la tracción

Huamán (2015), sostiene que “La resistencia a la tensión del concreto, depende también de la tensión propia de la pasta de cemento y de los agregados y de la adherencia que se genera, para su medición se realiza pruebas mediante de ensayos de especímenes cilíndricos, sujetos a una carga de compresión diametral. Al diseñar las estructuras se procura que el concreto no trabaje a tensión, pero esto es inevitable, pues el concreto debe soportar ciertos esfuerzos a tensión, ya sea como consecuencia de la aplicación de alguna carga que involucran flexión y cortante”.

Resistencia a la flexión

Hernández (2010), define “A la resistencia a flexión del hormigón como la medida indirecta de la resistencia a la tracción, el parámetro que refleja este estado de carga se conoce como módulo de rotura, se determina mediante ensayos a vigas de sección cuadrada de 6 “X 6” de lado y 20” de longitud, se debe ensayar de acuerdo con las normas ASTM C78, ASTM C293 describen el procedimiento para realizar el ensayo sobre concretos convencionales cargando las vigas de uno a dos puntos en el medio”.

Durabilidad

Es una propiedad importante del concreto que debe ser capaz de resistir a la intemperie o agentes químicos estará actuando durante su estado de servicio.

Cantillo y Fuentes (2014), sostiene que “El ensayo base para medir la resistencia del concreto a la penetración de ion cloruro se conoce con el nombre de “Ensayo Rápido de Permeabilidad del Cloruro” (RCPT). Este ensayo normalizado por la norma ASTM 1202 y la AASHTO T277. Consiste en valorar la habilidad del concreto para resistir la penetración de

los cloruros mediante una indicación eléctrica. El ensayo consiste en preparar una probeta de concreto, con un espesor de 50mm y un diámetro de 100mm, esta muestra se somete a 60V de corriente directa durante seis horas. La probeta de concreto se coloca entre 2 reservorios, uno de ellos con solución de cloruro de sodio (NaCl) a los 3% y el otro con una solución de hidróxido de sodio (NaOH) de 0.3% . La carga total transmitida por este sistema es usada para valorar la permeabilidad del concreto. Este ensayo fue desarrollado por D. Whiting en 1981 y se conoce normalmente como “Ensayo Rápido de Permeabilidad del Cloruro”, aunque realmente no se mide la permeabilidad del concreto, sino el intercambio iónico. El montaje experimental de RCPT se puede observar en la Figura 2”

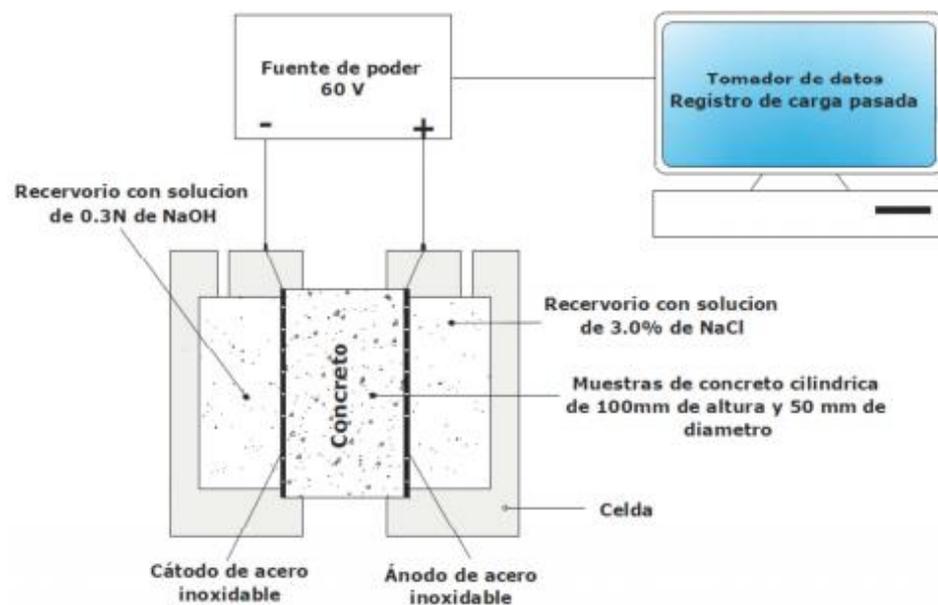


Figura 2: Esquema ensayo RCPT

Fuente: López Yépez (2011, p63)

Propiedades físicas del concreto

Es la propiedad del material que puede ser medible en su estado físico y dichas mediciones se reflejan mediante valores

Ensayo del asentamiento del concreto

Es un ensayo que se ejecuta al concreto fresco para determinar la consistencia de la mezcla que cumpla con los parámetros establecidos para

el tipo de obra. El método para la determinación del asentamiento de la mezcla es mediante por el método del cono de Abrams o el ensayo del slump que clasifica los diseños de mezcla según la Tabla 2.

Tabla 2: Clasificación según su asentamiento

CONSISTENCIA	SLUMP	TRABAJABILIDAD	MÉTODO DE COMPACTACIÓN
Seca	0" a 2"	Poco trabajable	Vibración normal
Plástica	3" a 4"	Trabajable	Vibración ligera, varillado
Fluida	>5"	Muy trabajable	Varillado

Fuente: Tecnología del concreto - Abanto Castillo 2017

Trabajabilidad del concreto

Es la característica que representa la facilidad del concreto fresco para ser colocado, compactado y mezclado sin segregación y exudación durante su operacionalización.

2.3.4 Vidrio

Rengifo (2019), define al vidrio como es un material cuyo componente mayor es la sílice proveniente de arena, pedernal o cuarzo de apariencia dura, frágil y generalmente transparente, aunque se comporta como un sólido, es un fluido de muy alta viscosidad. Está compuesto por una mezcla de óxidos metálicos, siendo su componente principal el óxido de sílice, conocido como silicio (SiO_4). Si bien a simple vista pareciera ser muy similar a un cristal, la diferencia con éste radica en el ordenamiento que tienen las moléculas que lo componen, donde los enlaces Si-O están distribuidos de manera irregular, sin un patrón determinado, siendo por definición, un material amorfo. (p.11-12).

Propiedades físicas del vidrio

Rengifo (2019), indica que, Dependiendo de la composición interna, algunos vidrios funden a temperaturas bajas, como 500°C , mientras que otros necesitan 1650°C , aunque de manera común, al presentar un contenido elevado de sílice, la temperatura final de fusión se encuentra más cercana a este último valor. (p.13)

Rengifo (2019) afirma: “En cuanto, a resistencia mecánica, normalmente presenta una resistencia a la tracción entre 3.000 y 5.500 N/cm², aunque también puede llegar a sobrepasar los 70.000 N/cm², si es que el vidrio recibió algún tratamiento especial” (p.13).

Rengifo (2019) afirma: “El vidrio es un mal conductor de calor y de electricidad, por lo cual resulta práctico para el aislamiento térmico y eléctrico” (p.13).

Rengifo (2019) afirma: “El color natural del vidrio es un tono verdoso, al cual se le agregan decolorantes para hacerlo traslúcido, y colorantes para colocarle distintas tonalidades. Los envases de vidrio de colores sirven para proteger el contenido de la luz, por lo que sus usos primordiales se dan en la industria de alimentos y farmacológica” (p.13).

Tipo de vidrio

Tabla 3: Análisis químico de cemento y tipos de vidrio

Análisis químico de cemento y tipos de vidrio				
Nombre del elemento	% vidrio marrón	% vidrio verde	% vidrio neón	Cemento portland ordinario
Si	57.41	64.03	68.22	21.93
Ca	4.88	12.41	22.552	66.11
Al	1.68	1.6	-	4.98
Fe	0.86	0.52	2.87	3.1
K	0.6	0.32	3.174	-
Mg	2.75	3.31	-	2
Pb	-	-	0.571	-
Cu	-	-	0.157	-
Ag	-	-	0.096	-
Mn	-	-	0.067	-
Zn	-	-	0.02	-
Ba	-	-	1.773	-
Sulfato SO3	-	-	-	2.25
Residuo insoluble (IR)	-	-	-	1.29
Perdida por ignición (LOI)	-	-	-	2.39
C3A	-	-	-	7.98
C4AF	-	-	-	-
C3S	-	-	-	-
C2S	-	-	-	-
Fe2O3-Al2O3	-	-	-	-
Factor de saturación cal (L.F.S)	-	-	-	0.93

Fuente: Al-Zubaid et al (2017).

2.3.5 Aplicaciones

El concreto con vidrio molido reciclado en la actualidad se viene utilizando en proyectos que demanden grandes cantidades de concreto mejorando sus propiedades físicas y mecánicas, como por ejemplo edificios multifamiliares.

2.3.6 Ventajas del concreto con vidrio molido reciclado

- Economizar la energía de producción del concreto.
- Reducir el impacto de desperdicios sólidos producidos por botellas de vidrios.
- Reducir el consumo de materias primas para la fabricación del concreto.
- Mayor durabilidad y menor absorción de agua del concreto.
- Presentan un gran aporte para diseños estructural que necesitan resistencia a la compresión con un porcentaje óptimo.

2.3.7 Limitaciones del concreto con vidrio molido reciclado

- Se necesita de un ingeniero o técnico de calidad especializado.
- No se puede realizar la mezcla de manera manual en obra.
- Se necesita controlar la calidad de los agregados pétreos.
- Para la preparación de la mezcla se necesita un tecnólogo especialista.

2.3.8 Normas técnicas peruanas

NTP 400.037

Esta norma define los requisitos mínimos de granulometría y calidad de los agregados finos y gruesos para la elaboración de concretos (NTP 400.037:2018) como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4: Requerimiento de granulometría agregado fino

Tamiz	Porcentaje que pasa
9.5 mm (3/8 pulg)	100
4.75 mm (No. 4)	95 a 100
2.36 mm (No. 8)	80 a 100
1.18 mm (No. 16)	50 a 85
600 μ m (No. 30)	25 a 60
300 μ m (No. 50)	5 a 30
150 μ m (No. 100)	0 a 10
75 μ m (No. 200)	0 a 3,0

Fuente: NTP 400.037:2018

NTP 339.034

La siguiente Norma Técnica Peruana nos brinda información de como determinar la resistencia a la compresión para probetas cilíndricas y extracciones de concreto. “El método consiste en aplicar una carga de

compresión axial a los cilíndricos moldeados o extracciones diamantinas a una velocidad normalizada en un rango prescrito mientras ocurre la falla. La resistencia a la compresión de la probeta es calculada por división de la carga máxima alcanzada durante el ensayo, entre el área de la sección recta de la probeta”. (NTP 339.034:2008). Como se muestra en la Figura 3.

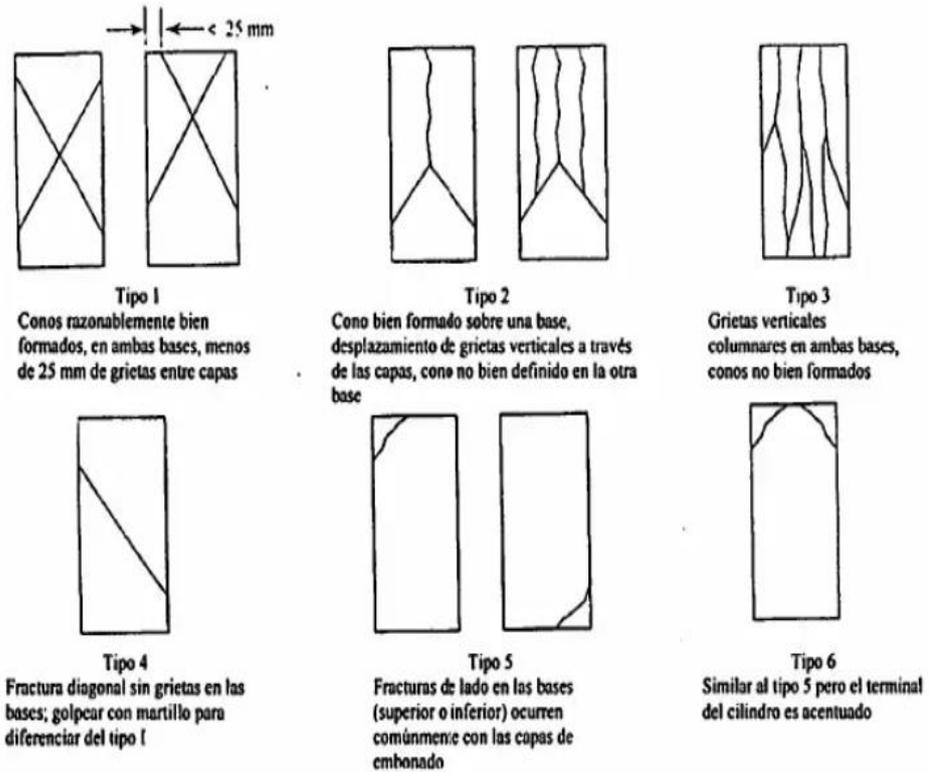


Figura 3: Esquema de los patrones de fractura
Fuente: Norma Técnica Peruana 339.034:2018

Tabla 5: Tiempo de tolerancia de fracturado de probeta

Edad de ensayo	Tolerancia permisible
24 h	± 0,5 h ó 2,1 %
3 d	± 2 h ó 2,8 %
7 d	± 6 h ó 3,6 %
28 d	± 20 h ó 3,0 %
90 d	± 48 h ó 2,2 %

Fuente: Norma técnica peruana 339.034:2018

2.3.9 Norma Técnica E-60 – Concreto Armado

La Supervisión o la autoridad competente podrán ordenar, en cualquier etapa de ejecución del proyecto, el ensayo de cualquier material empleado en las obras de concreto, con el fin de determinar si corresponde a la calidad

especificada. 3.1.2 El muestreo y los ensayos de materiales y del concreto deben hacerse de acuerdo con las Normas Técnicas Peruanas - NTP correspondientes”. N.T.E. E-60

2.3.10 Método ACI 211 – Diseño de mezclas de hormigón

Romero y Hernández (2014), nos indican que el método ACI es un procedimiento de dosificación para las mezclas de concreto, que se enfoca básicamente en mediar los materiales del hormigón (cemento, agua, piedra chancada y arena) en peso y volumen, el diseño se realiza tanto para el estado fresco y endurecido. Este método se rige a la norma ASTM C33 que se referencia a las especificaciones granulométricas. El método A.C.I. es usado cuando los agregados cumplen con las recomendaciones granulométricas ASTM C33.

2.4 Definición de términos básico

Mezclas de prueba:

Intor (2015), las mezclas de prueba o diseño de mezclas son el desarrollo de los conocimientos técnicos y prácticos de las propiedades de los componentes del concreto y su combinación para obtener resultados que satisfagan lo mínimo requerido.

Vidrio molido:

Walhoff (2016). elemento que será obtenido mediante la ruptura de botellas y demás elementos que contengan vidrio. Lo cual servirá para mejorar las propiedades mecánicas del diseño de mezcla.

Contracción plástica:

Arieta y Padilla (2019), las grietas por contracción plástica son causadas por una rápida pérdida de agua de la superficie del concreto antes de que éste haya fraguado.

Dosificación:

Atoche (2017), son proporciones de los componentes del concreto que se dan dependiendo del tipo de método aplicado y las propiedades físicas de cada uno de sus elementos, dando como resultado las cantidades necesarias para obtener un concreto con las características mínimas requeridas.

Resistencia a la compresión:

Es el máximo esfuerzo que puede soportar un material bajo fuerzas aplicadas transversalmente. Dicha resistencia se determina con los ensayos de compresión realizados a las probetas obtenidas con el diseño de mezcla del concreto.

Resistencia a la flexión:

Es el máximo esfuerzo que puede soportar un material bajo fuerzas aplicadas en tres puntos generando una carga de arqueamiento. Dicha resistencia se determina con los ensayos de la prueba de flexión para especímenes de sección circular o rectangular.

Potencial de fisuración:

Son las posibilidades que tiene el concreto de presenciar fisuras en su estructura el cual es medido bajo distintos métodos y análisis comparativos entre elementos vaciados con fibras y elementos que no las contienen.

2.5 Fundamentos teóricos que sustentan las hipótesis

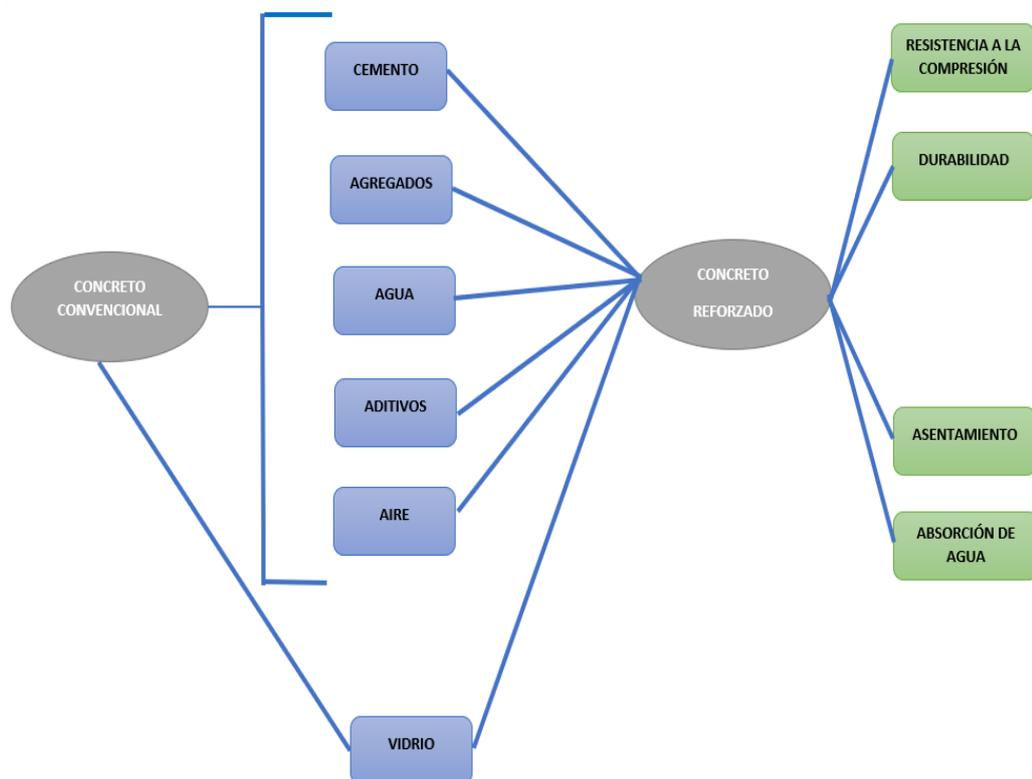


Figura 4: Fundamentos teóricos que sustentan las hipótesis

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis general

Al analizar el óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino se mejoran las propiedades físicas-mecánicas del concreto.

3.1.2 Hipótesis específicas

- a) Al analizar el óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino aumenta la durabilidad del concreto.
- b) Al analizar el óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino se mejora el asentamiento de la mezcla de concreto.
- c) Al analizar el óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino aumenta la resistencia a la compresión del concreto.
- d) Al analizar el óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino se reduce la absorción de agua de la mezcla del concreto.

3.2 Variables

Variable Independiente: Vidrio molido reciclado

Variable dependiente: Propiedades físicas – mecánicas del concreto.

3.2.1 Definición conceptual

Vidrio molido reciclado

El vidrio molido reciclado, cumplirá la función de un agregado fino incluyéndose en la mezcla de concreto con la finalidad de mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto.

Propiedades del concreto

Es la característica física, química y mecánica de la mezcla del concreto el cual está compuesto por agregados grueso y agregados, los cuales son los responsables de definir la calidad del concreto.

3.2.2 Definición operacional

Vidrio molido reciclado

El vidrio molido reciclado es un material similar a los agregados finos de una mezcla de concreto, por lo cual en este estudio el vidrio molido se utilizará en reemplazo del agregado fino en la mezcla del concreto para mejorar sus propiedades físicas y químicas.

Propiedades del concreto

Es la mezcla inicial del concreto donde se define las propiedades mecánicas del concreto es decir la resistencia del concreto mediante testigos cilíndricos y la durabilidad mediante el ensayo RCPT.

Es la mezcla del concreto donde se define las propiedades físicas del concreto es decir la trabajabilidad y la absorción de agua de la mezcla en los diferentes moldes que se necesiten colocar la mezcla de concreto.

3.3 Operacionalización de variables

Tabla 6: Resumen de operacionalización de variables

Variable dependiente Propiedades del concreto		Variable independiente Componentes del concreto	
Indicadores	Índice	Indicadores	Índice
Resistencia	Compresión axial	Propiedades	Fisuración
	Tracción		Porcentaje de vidrio molido
	Flexión		
Durabilidad	Vida útil	Relación a/c	Hidratación del cemento
	Interperismo		
	Manejarse		
Trabajabilidad	Asentamiento	Granulometría	Módulo de fineza
	Colocación		
Absorción de agua	Segregación	Granulometría	Módulo de fineza
	Exudación		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7: Matriz de operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Índice	Unidades de medida	Escala	Instrumento de medida	Herramientas	Ítems
Independientes										
Vidrio molido reciclado	El vidrio molido reciclado, cumplirá la función de un agregado fino incluyéndose en la mezcla de concreto con la finalidad de mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto	El vidrio molido reciclado es un material similar a los agregados finos de una mezcla de concreto, por lo cual en este estudio el vidrio molido se utilizará en reemplazo del cemento para mejorar la resistencia a edades tempranas	Técnicas	Propiedades	Fisuración	gr/cm3	Cuantitativo continua	Formatos de laboratorio	Norma ASTM	Indicado en los formatos
					Porcentaje de vidrio molido	%				
				Relación a/c	Hidratación del cemento	Interperismo	Cualitativo o discreto			
				Granulometría	Módulo de fineza del agregado	%	Cuantitativo			
Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Índice	Unidades de medida	Escala	Instrumento de medida	Herramientas	Ítems
Dependientes										
Propiedades físicas y mecánicas del concreto	Es la característica física, química y mecánica de la mezcla del concreto el cual está compuesto por agregados grueso y agregados, los cuales son los responsables de definir la calidad del concreto	Es la mezcla inicial del concreto donde se define las propiedades mecánicas del concreto es decir la resistencia del concreto mediante testigos cilíndricos	Endurecido	Resistencia	Compresión	kg/cm2	Cuantitativo continua	Formatos de laboratorio	Norma ASTM 400 037. E 060 Fichas técnicas	Indicado en los formatos
					Tracción	kg/cm3				
					Flexión	kg/cm4				
			Durabilidad	Vida útil	adi					
		Interperismo		ppm						
		Fresco	Es la mezcla del concreto donde se define las propiedades físicas del concreto es decir la trabajabilidad y cohesividad de la mezcla en los diferentes moldes que se necesiten colocar la mezcla de concreto	Trabajabilidad	Manejarse	a/c	Cuantitativo continua	Formatos de laboratorio	Norma ASTM 400 037. E 060 Fichas técnicas	Indicado en los formatos
					Asentamiento	a/c				
Colocación	Prueba del Slump									
Cohesividad	Segregación			Peso específico						
	exudación	ppm								

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV: METODOLOGIA

4.1. Método de la investigación

El método aplicado es deductivo porque esta investigación propone demostrar que las propiedades físicas y mecánicas del concreto mejoraran a partir de la variable independiente que es el vidrio molido reciclado. La orientación es aplicada porque pretende resolver el problema planteado.

Es una investigación causal dado que estudia la relación entre la variable independiente agregar vidrio reciclado molido (causa) y las variables dependientes la resistencia a la compresión, durabilidad, trabajabilidad y absorción de agua del concreto. Su objetivo es conocer el efecto positivo o negativo que puede producir un cambio inesperado entre las variables.

4.2. Tipo de investigación

León y Rázuri (2020), la investigación propuesta tiene un enfoque cuantitativo porque se determinó la relación entre las variables vidrio molido reciclado (independiente) y las propiedades físicas y mecánicas del concreto (dependiente), con la finalidad de formular un nuevo diseño de mezcla de concreto agregando vidrio molido reciclado con la intención de obtener un mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas del concreto.

Paredes (2019), el estudio de la investigación tiene un enfoque experimental, ya que tuvo como objetivo principal determinar una importante característica del concreto simple, para lo cual se ha empleado materiales de reciclaje en su composición con la finalidad que se utilice como material alternativo en futuras obras civiles.

Huapaya y Valdivia (2019), esta investigación es descriptiva porque se tiene un planteamiento de problema general, es explicativa porque posterior al problema se plantea una solución en base a diversas fuentes, son de variables correlacional es decir las propiedades físicas y mecánicas dependen de la incorporación de vidrio molido.

4.3. Nivel de investigación

León y Rázuri (2020), el nivel de estudio de la siguiente investigación fue experimental porque se realizaron probetas de concreto sustituyendo el 10%, 15% y 20% de agregado fino por vidrio reciclado finamente molido de un concreto convencional $f'c$ 210 kg/cm², para luego realizar el ensayo de la resistencia a la compresión en laboratorio.

Paredes (2019), la investigación es explicativa porque se ejecutaron ensayos de compresión en probetas de concreto simple sustituyendo porcentajes de vidrio molido por agregado fino, con la finalidad de obtener los porcentajes óptimos que influyan y sean admisibles en la resistencia del concreto a distintas edades.

Huapaya y Valdivia (2019), la investigación se enfoca en un nivel tipo explicativo, ya que tiene la finalidad de determinar la relación causa-efecto, debido a que se tiene variación en el porcentaje óptimo de vidrio incoloro pulverizado (variable independiente) en las mezclas de concreto con porcentajes con 0%, 6%, 7%, 8%, 9%, con la que obtuvo una relación de la variable independiente y la variable dependiente (resistencia a la compresión del concreto).

4.4. Diseño de la investigación

León y Rázuri (2020), el diseño de esta investigación se realizó con un diseño experimental, ya que la elección para las probetas de concreto se hizo de manera aleatoria, con la finalidad de determinar la resistencia del concreto sometido a cargas axiales al reemplazar agregado fino por vidrio reciclado finamente molido en el concreto.

Paredes (2019), la siguiente investigación es representada por un diseño experimental que consiste en la manipulación de la variable independiente y que mediante porcentajes óptimos produce un efecto en la variable dependiente y a la vez se comparan la variable independiente con un grupo de control.

Huapaya y Valdivia (2019), la siguiente investigación es de tipo experimental, ya que se manipuló directamente a las variables independientes y medir la variable dependiente, Todos estos procedimientos fueron descritos y resueltos mediante pruebas y grupos de control con la finalidad de determinar las propiedades del concreto que pueden ser alteradas al añadir vidrio incoloro molido.

4.5. Población y muestra

4.5.1. Población

Se tomó como referencias 3 tesis nacionales o internacionales:

- a) Análisis de la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ con adición de vidrio reciclado molido. Paredes (2019) afirma:
En la presente investigación, se consideró como población a la cantidad de probetas de control con concreto $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$, y los concretos con adición de 15, 20 y 25 % de vidrio reciclado molido elaboradas, con un tiempo de curado de 7, 14 y 28 días, siendo 45 probetas por cada diseño de mezcla, lo cual hace un total de 180 probetas. (p.36)
- b) Resistencia a la compresión de un concreto agregando vidrio reciclado finamente molido (León y Rázuri 2020) compuesta por la mezcla de concreto $f'c 210 \text{ kg/cm}^2$ y el concreto modificado sustituyendo el 10%, 15% y 20% de agregado fino por VRFM. La mezcla de concreto fue hecha en las Instalaciones del laboratorio de suelos y materiales de la Universidad Cesar Vallejo, filial Trujillo.
- c) Uso de vidrio reciclado como adición en la elaboración de concreto $f'c=315 \text{ kg/cm}^2$ para obras portuaria. Huapaya y Valdivia (2019) afirma:
En su investigación los análisis e interpretación de resultados tienen como objeto de estudio a las probetas cilíndricas de 4 por 8 pulgadas de concreto con cemento HS (alta resistencia al ataque por sulfatos), sin adición de vidrio y con adiciones de vidrio en porcentajes de 6%, 7%, 8% y 9% con respecto a la cantidad de cemento utilizado. Para delimitar la población se tuvo en cuenta la adición de cemento respecto al vidrio, delimitación espacial fueron los diseños realizados en Lima, delimitación temporal fueron los diseños realizados en meses de enero y febrero. (p.25)

4.5.2. Muestra

La muestra de estudio de la presente investigación son los ensayos que se han realizado en investigaciones pasadas así analizarlos y compararlos

- a) Análisis de la resistencia a la compresión del concreto $F'_c=210$ kg/cm² con adición de vidrio reciclado molido. (Paredes, 2019) afirma: “La muestra contiene 45 probetas de concreto por cada diseño de mezcla de concreto, coincidiendo con la población, al ser este una población relativamente baja, siendo la muestra de tipo censal” (p.36).

Tabla 8: Cantidad de muestras a ensayar

% de vidrio reciclado molido	Tiempo de curado			Sub total de probetas
	7 días	14 días	28 días	
0(control)	10	10	25	45
15	10	10	25	45
20	10	10	25	45
25	10	10	25	45
Total				180

Fuente: Paredes, A. 2019

- b) Resistencia a la compresión de un concreto agregando vidrio reciclado finamente molido (León y Rázuri, 2020) afirma:
La muestra fue ensayada a las edades de 14 y 28 días, sustituyendo el 10%, 15% y 20% de agregado fino por VRFM, para lograr evaluar la resistencia del concreto sometido a compresión. Se cumplió con la NTP 339.183, la cual establece un mínimo de 3 muestras para cada edad y 3 muestras por cada proporción de vidrio reciclado molido; obteniendo una media de dos ensayos; se consideró el siguiente número de probetas. (p.11)

Tabla 9: Numero de probetas – Autor 1

Días de curado	Concreto f'c 210 kg/cm ²	Concreto con 10% de vidrio molido reciclado	Concreto con 15% de vidrio molido reciclado	Concreto con 20% de vidrio molido reciclado	TOTAL
14	6	6	6	6	24
28	6	6	6	6	24
TOTAL	12	12	12	12	48

Fuente: León y Rázuri (2020)

- c) Uso de vidrio reciclado como adición en la elaboración de concreto f'c=315 kg/cm² para obras portuarias. (Huapaya, A. & Valdivia, J. 2019) afirma:

En cuanto al muestreo de la investigación se elaboró un total de 105 probetas, las cuales fueron realizadas en grupo de 12 y 9 probetas por mezcla para el ensayo de resistencia a compresión y las pruebas de ataque por sulfatos respectivamente; a 7, 28 y 90 días. Según las dimensiones de los moldes de las probetas, la norma de Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-05) menciona que la cantidad mínima de probetas para moldes de 4 por 8 pulgadas debe ser al menos de 3 probetas, por lo que la selección de 4 probetas por ensayo y tiempo estaría dentro del margen permitido. (p.26)

Tabla 10: Número de probetas – Autor 2

Ensayo/prueba	Edad	HSV0	HSV6	HSV7	HSV8	HSV9
Resistencia a la compresión	7 días	4	4	4	4	4
	28 días	4	4	4	4	4
	90 días	4	4	4	4	4
Ataque por sulfatos	7 días	3	3	3	3	3
	28 días	3	3	3	3	3
	90 días	3	3	3	3	3

Fuente: Huapaya y Valdivia (2019)

4.6. Técnicas e instrumentación de recolección de datos

Por la coyuntura actual del COVID -19 la tesis es documental/bibliográfica por ello para la recolección de datos la técnica que utilizaremos es la recopilación de toda la información existente en la web y repositorios universitarios, gracias a ello podemos conocer investigaciones de especialistas de todo el mundo, la web será la fuente principal para lograr recopilar toda la información posible de la presente investigación.

4.7. Descripción de procedimientos de análisis

Para conocer los beneficios de aplicar vidrio reciclado molido como agregado fino en las propiedades físicas y mecánicas del concreto, se hizo recopilaciones de tesis pasadas y nos enfocamos en los resultados y conclusiones obtenidos para poder realizar el análisis de esta investigación.

CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

5.1 Resultados de la investigación.

El vidrio molido reciclado presenta diferentes comportamientos dependiendo de diferentes factores: tipo o color de vidrio, tipo de cemento, relación a/c, factores externos entre otros. En esta investigación presentamos una recopilación de estudios científicos y ensayos que evidencian diferentes comportamientos del uso del vidrio reciclado en las propiedades físicas y mecánicas de concreto.

Analizar el óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino para aumentar la durabilidad del concreto:

Kishan et al. (2020)

- Tipo de aglutinante: cemento Portland ordinario (OPC) grado 43 según las especificaciones de IS 8112: 2013.
- Prueba rápida de permeabilidad al cloruro (RCPT): Se observó que la carga mínima se pasó a través de mezclas de concreto de control es de 2756C y la el porcentaje óptimo obtenido es de 1745C para un reemplazo del 15% de vidrio molido reciclado
- Método de ensayo: La resistencia de las mezclas de concreto mezclado contra el ataque de ácidos se estudió siguiendo la norma ASTM C 267-01. Se hicieron referencia a las especificaciones de ASTM C 642 al realizar una prueba de absorción de agua. El ensayo de prueba de permeabilidad de cloruros es una de las pruebas más importantes para determinar el comportamiento de durabilidad del hormigón.
- Tamaño de partícula: 90um
- Relación agua/cemento: 0.53
- Contenido adicional: Supe plastificante con base de formaldehído de naftaleno sulfonado.
- Resultado experimental:

Tabla 11: Ensayo-Permeabilidad al cloruro (Coulomb) para determinar la durabilidad del concreto modificado con diferentes porcentajes de vidrio molido reciclado – 90um.

% Vidrio molido reciclado	Carga coulomb (Permeabilidad al cloruro)
0	2756
5	2510
10	2460
15	1745
20	2860
25	2875

Fuente: Elaboración propia.

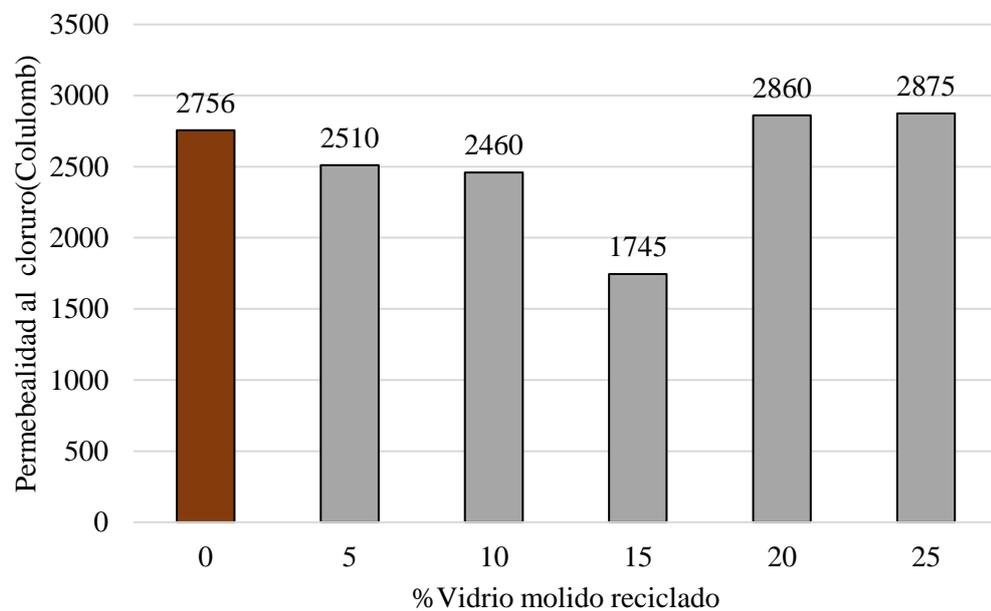


Figura 5: Carga Coulomb vs % Vidrio molido reciclado – 90um.

Fuente: Elaboración propia.

Suvash et al. (2018)

- Tipo de aglutinante: cemento Portland tipo I
- Prueba rápida de permeabilidad al cloruro (RCPT): Llegaron a la conclusión de que la reacción puzolánica y la capacidad de relleno de poros del polvo de vidrio mejoraron la resistencia del hormigón a la penetración de cloruros. Se midió una carga más baja (que significa una mejor resistencia al cloruro)

pasando a través de las muestras con un contenido de polvo de vidrio en aumento.

- Método de ensayo: Del ensayo se puede afirmar la mejora en la resistencia a la penetración de iones cloruro se observó en morteros autocompactantes con hasta un 100% de arena reemplazada por polvo de vidrio después de la exposición a diferentes temperaturas también encontraron una profundidad de penetración de cloruro más baja y una capacidad de paso de carga total más baja en el concreto a los 56 días de prueba, cuando el 20% del cemento fue reemplazado por polvo de vidrio.
- Tamaño de partícula: 1.18um
- Relación agua/cemento: 0.42
- Resultado experimental:

Tabla 12: Ensayo: Permeabilidad al cloruro (Coulomb) para determinar la durabilidad del concreto con diferentes porcentajes de vidrio molido reciclado color marrón – 1.18um.

% Vidrio molido reciclado BROWN	Carga coulomb (Permeabilidad al cloruro)
0	6900
25	6150
50	6100
75	5900
100	2950

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13: Ensayo: Permeabilidad al cloruro (Coulomb) para determinar la durabilidad del concreto con diferentes porcentajes de vidrio molido reciclado color verde – 1.18um

% Vidrio molido reciclado GREEN	Carga coulomb (Permeabilidad al cloruro)
0	6900
25	6000
50	4700
75	3950
100	2900

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14: Ensayo: Permeabilidad al cloruro (Coulomb) para determinar la durabilidad del concreto con diferentes porcentajes de vidrio molido reciclado color claro – 1.18um.

% Vidrio molido reciclado CLEAR	Carga coulomb (Permeabilidad al cloruro)
0	6900
25	5700
50	4700
75	4150
100	4600

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15: Ensayo: Permeabilidad al cloruro (Coulomb) para determinar la durabilidad del concreto con diferentes porcentajes de vidrio molido reciclado mezclado – 1.18um

% Vidrio molido reciclado MIXER	Carga coulomb (Permeabilidad al cloruro)
0	6900
25	5750
50	4200
75	2500
100	2500

Fuente: Elaboración propia

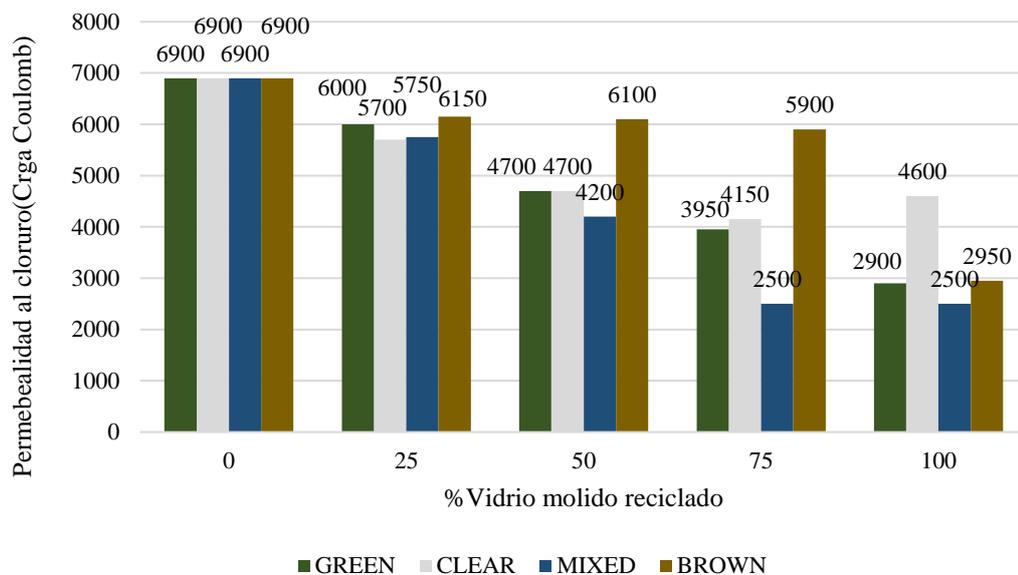


Figura 6: Resultados de la influencia de vidrio molido color marrón, verde, blanco y mixto respecto a la penetración de cloruros en el hormigón modificado

Fuente: Elaboración propia.

Mardani et al (2015)

- Tipo de aglutinante: cemento Portland ordinario (que tiene una gravedad específica de 3,11)
- Prueba rápida de permeabilidad al cloruro (RCPT): Los valores de penetración de iones cloruro de las mezclas de hormigón son inferiores a 1000 Coulomb, el límite especificado para muy buena resistencia a la penetración de iones cloruro de las mezclas de hormigón de acuerdo con la norma ASTM C 1202.
- Método de ensayo: La penetración de iones cloruro de mezclas de hormigón se determinó en muestras cilíndricas de 100 mm de diámetro y 50 mm de longitud de acuerdo con ASTM C 1202 a Los 28 días de edad.
- Tamaño de partícula: 125um
- Relación agua/cemento: 0.45
- Contenido adicional: Caliza
- Resultado experimental:

Tabla 16: Ensayo: Permeabilidad al cloruro (Coulomb) para determinar la durabilidad del concreto con diferentes porcentajes de vidrio molido reciclado y agregados de piedra caliza – 125um.

% Vidrio molido reciclado	Carga coulomb (Permeabilidad al cloruro)
0	800
15	790
30	785
45	780
60	775

Fuente: Elaboración propia

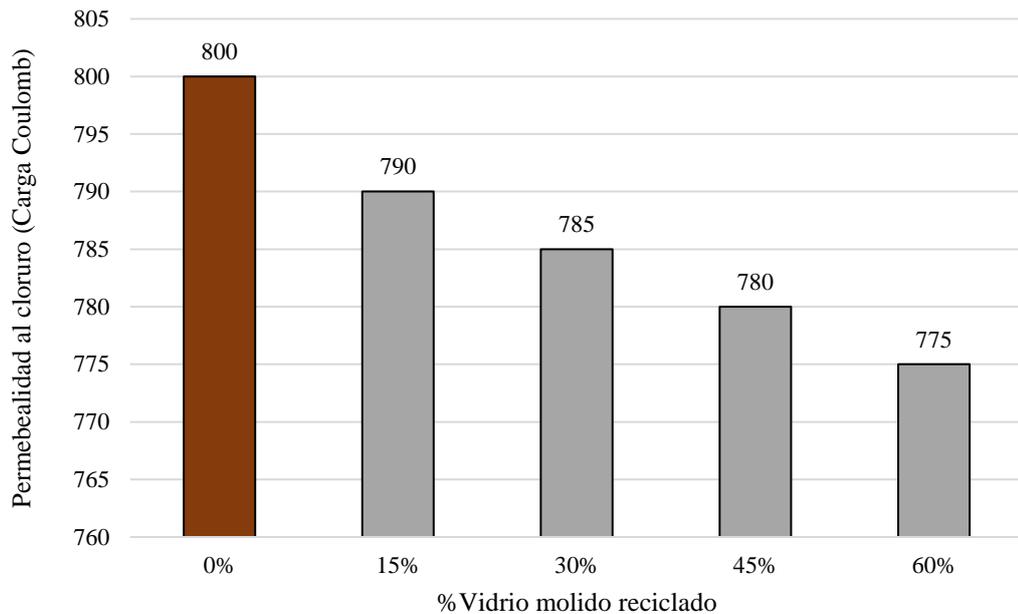


Figura 7: Carga coulomb vs % Vidrio molido reciclado – 125um

Fuente: Elaboración propia

Kamali y Ghahremaninezhad (2015)

- Tipo de aglutinante: cemento Portland tipo I y II.
- Prueba rápida de permeabilidad al cloruro (RCPT): En esta prueba, las probetas consistieron en una rodaja de 50 mm de espesor cortada de los cilindros de hormigón, recubierta en la superficie con epoxi para evitar la pérdida de humedad y sometida a saturación al vacío con agua desairada. La muestra se colocó en una configuración de prueba, en la que un extremo de la muestra está en contacto con una solución 0,3 N de NaOH y el otro extremo en contacto con una solución al 3% de NaCl. Se aplicó un potencial eléctrico de 60 V entre las soluciones de catolito (NaCl) y anolito (NaOH) y se registró la carga pasada durante un período de 6 h.
- Método de ensayo: La penetración de iones cloruro de mezclas de hormigón se determinó en muestras cilíndricas de 100 mm de diámetro y 50 mm de longitud de acuerdo con ASTM C 1202 a Los 28 días de edad.
- Tamaño de partícula: 84um
- Relación agua/cemento: 0.50
- Contenido adicional: Caliza
- Resultado experimental:

Tabla 17: Ensayo: Permeabilidad al cloruro (Coulomb) para determinar la durabilidad del concreto modificado con diferentes porcentajes de vidrio molido reciclado – 84um.

% Vidrio molido reciclado	Carga coulomb (Permeabilidad al cloruro)
0	800
10	790
15	785
20	780

Fuente: Elaboración propia

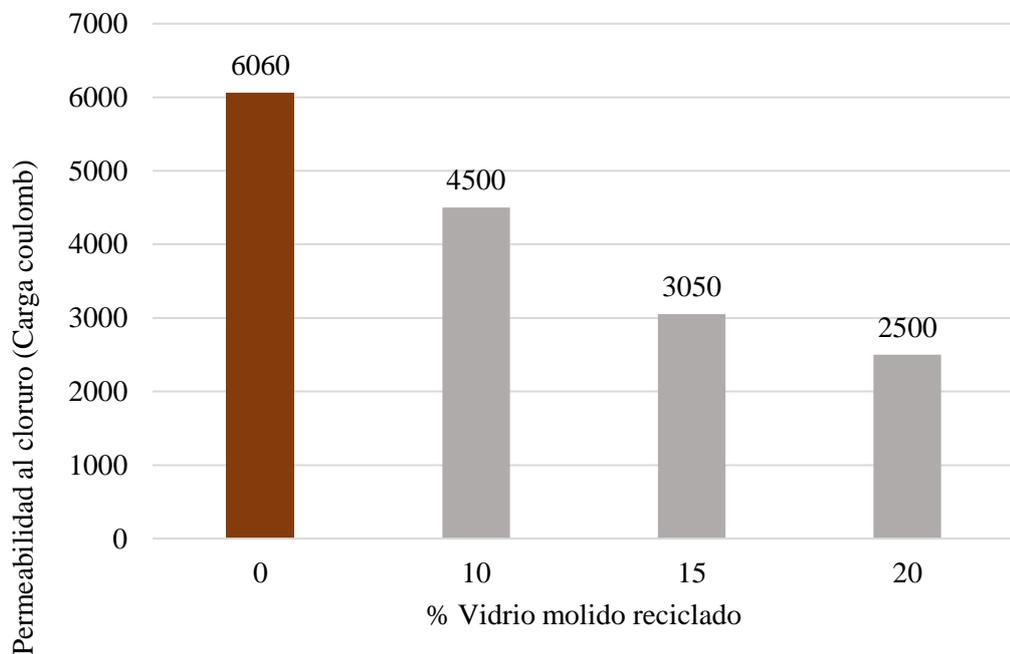


Figura 8: Carga Coulomb vs % Vidrio molido reciclado – 84 um

Fuente: Elaboración propia

Analizar el óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino para mejorar el asentamiento de la mezcla de concreto.

Aliabdo et al. (2016)

- Tipo de aglutinante: Cemento Portland Ordinario
- La tendencia general observada indica que la incorporación de vidrio reciclado como reemplazo del agregado fino no reduce obviamente la trabajabilidad hasta que el reemplazo alcanza un cierto nivel. Con el aumento

en el nivel de reemplazo, los efectos negativos de las partículas de vidrio sobre la trabajabilidad superan a los positivos, el hormigón con agregado de vidrio reciclado requiere un mayor contenido de agua para alcanzar la misma trabajabilidad.

- Método de Ensayo: Se realizó el ensayo del cono de slump para medir el asentamiento de la mezcla de concreto.
- Relación agua cemento: $a/c = 0.40$
- Tamaño de Partícula: 125um

Tabla 18: Resultados de asentamiento (mm) para mezclas de concretos modificados con vidrio molido reciclado con $a/c = 0.40$

% Vidrio molido reciclado	Asentamiento (mm)
0	153
5	160
10	173
15	180
20	197
25	210

Fuente: Elaboración propia

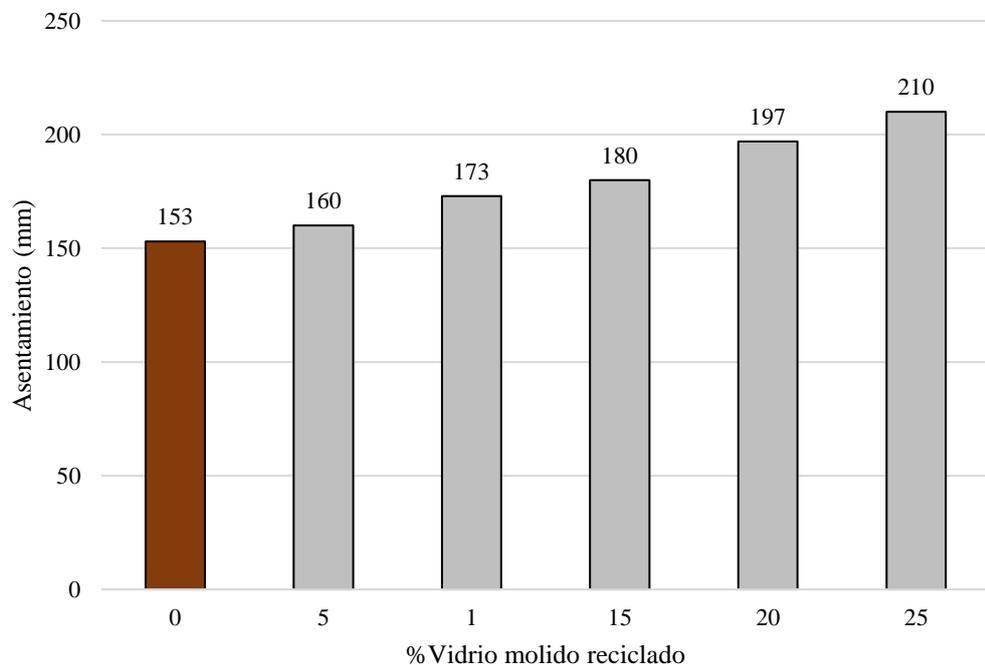


Figura 9: Asentamiento (mm) de la mezcla del concreto con porcentaje de vidrio molido reciclado con $a/c = 0.40$

Fuente: Elaboración propia

Mardani et al. (2015)

- Tipo de aglutinante: Cemento portland ordinario – gravedad específica 3.11
- Asentamiento de la mezcla: Se observó un aumento insignificante en el asentamiento de las mezclas que contienen vidrio molido reciclado al aumentar el porcentaje de reemplazo.
- Método de Ensayo: Se realizó el ensayo del cono de slump para medir el asentamiento de la mezcla de concreto para vidrio reciclado (vidrios reciclados convencionales)
- Relación agua cemento: $a/c = 0.45$
- Tamaño de partícula: 38um
- Contenido de algo adicional: En las mezclas de hormigón se utilizaron fracciones de dos tamaños de un agregado de piedra caliza gruesa triturada (4–16 y 16–25 mm). Se utilizó un agregado de piedra caliza fina triturada (fracción de tamaño de 0 a 4 mm) en la mezcla de control.

Tabla 19: Resultados de asentamiento (mm) para mezclas de concretos modificados con vidrio molido reciclado con $a/c = 0.45$

% Vidrio reciclado	Asentamiento (mm)
0	105
15	110
30	115
45	120
60	120

Fuente: Elaboración propia

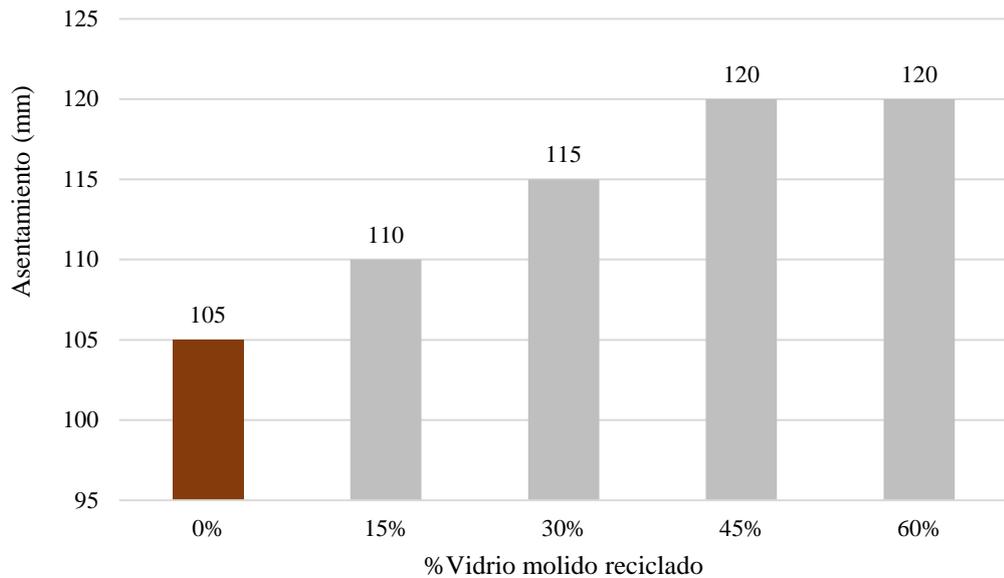


Figura 10: Asentamiento (mm) de la mezcla del concreto modificado con porcentaje de vidrio molido reciclado con $a/c=0.45$

Fuente: Elaboración propia

De la Figura 10 se observa que el porcentaje óptimo se dio para un 45% de reemplazo de vidrio molido reciclado, al superar dicho porcentaje el asentamiento se estabilizó en un resultado de 120mm.

Kumar et al. (2019)

- Tipo de aglutinante: Cemento portland ordinario – gravedad específica 3.11
- Se examina que la adición de polvo de vidrio con la sustitución parcial de agregados finos resultó un aumento en la trabajabilidad que es un factor positivo para tener una buena mezcla de concreto.
- Método de Ensayo: La prueba de asentamiento se realiza de acuerdo con la norma TS 2871 para evaluar la trabajabilidad. Cada mezcla de concreto después del endurecimiento se probó para resistencia a la compresión, flexión y tracción dividida de acuerdo con la norma TS3114 ISO4012
- Relación agua cemento: $a/c = 0.45$
- Tamaño de partícula: 2mm a 0.75mm
- Contenido de algo adicional: Supe plastificante químico “Complast SP 430”.

Tabla 20: Resultados de asentamiento (mm) para mezclas de concretos modificados con vidrio molido reciclado con $a/c = 0.45$

% Vidrio molido reciclado	Asentamiento (mm)
0	74
3	77
6	78
9	81
12	82
15	85

Fuente: Elaboración propia

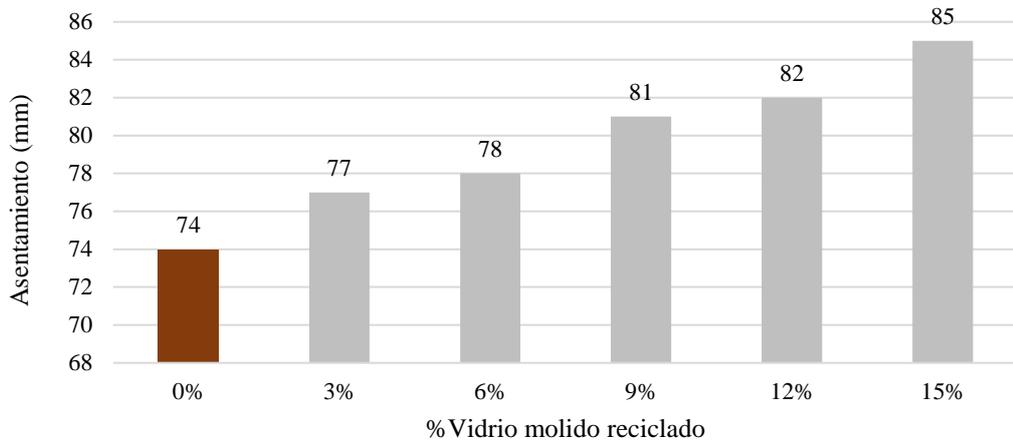


Figura 11: Asentamiento (mm) de la mezcla del concreto modificado con porcentaje de vidrio molido reciclado con $a/c=0.45$

Fuente: Elaboración propia

Analizar el óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino para aumentar la resistencia a la compresión del concreto.

Lal et al. (2020)

- Tipo de aglutinante: cemento portland ordinario (OPC) grado 43 según las especificaciones de IS 8112: 2013.
- Resistencia a la compresión del concreto: La resistencia máxima a la compresión alcanzó una resistencia igual 350 kg/cm^2 para el concreto agregado con vidrio molido reciclado y fue un 24.8% superior que la mezcla de control.
- Método de ensayo: Se realizó una prueba de resistencia a la compresión de acuerdo con IS 516: 1959 [32]. Se moldearon cubos de tamaño 100 mm y se

probaron en una máquina de prueba de compresión de 200 toneladas con una madurez de 28 días. La resistencia de las mezclas de concreto mezclado contra el ataque de ácidos se estudió siguiendo la norma ASTM C 267-01.

- Tamaño de partícula: 90um
- Relación agua/cemento: 0.53
- Contenido adicional: Super plastificante con base de formaldehído de naftaleno sulfonado.
- Resultado experimental:

Tabla 21: Ensayo: Resistencia a la compresión a los 28 días reemplazando el agregado fino por porcentajes de vidrio molido reciclado – 90um.

% Vidrio molido reciclado	Resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm ²)
0	280
5	305
10	326
15	341
20	353
25	265

Fuente: Elaboración propia

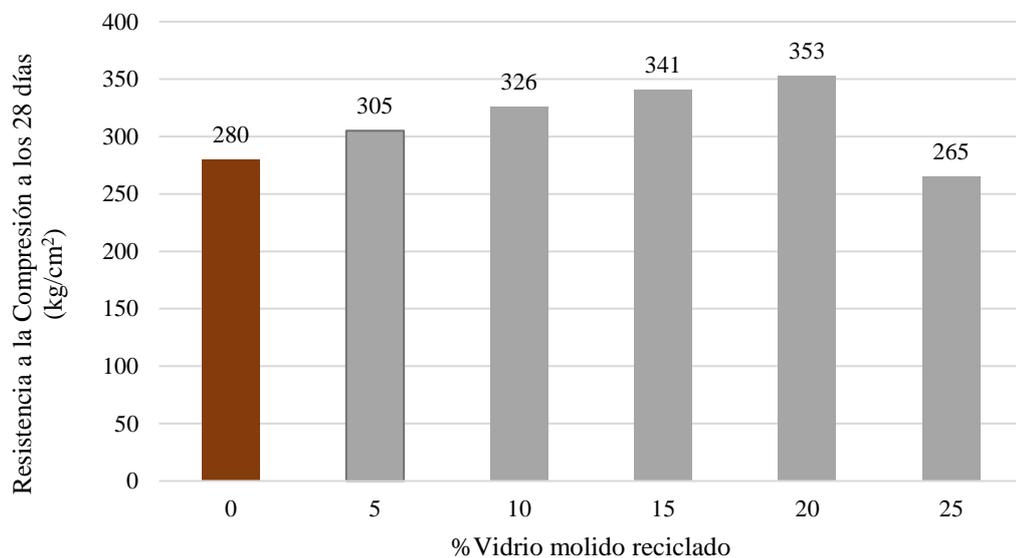


Figura 12: Porcentaje de vidrio molido reciclado vs Resistencia a la compresión a los 28 días – 90um.

Fuente: Elaboración propia

Anand y Yogesh (2020)

- Tipo de aglutinante: Cemento Portland Ordinario Grado 53
- Resistencia a la compresión del concreto: El reemplazo del 10% en peso del agregado fino por vidrio molido reciclado (sin moler o molido), la arena y el humo de sílice mostraron una caída de alrededor del 15% en la resistencia a la compresión del mortero.
- Método de ensayo: Los valores individuales de resistencia a la compresión fueron una media de tres muestras de tamaño 150 x 150 x 150 mm durante 7 y 28 días respectivamente.
- Tamaño de partícula: 75 μm
- Relación agua/cemento: 0.4
- Contenido adicional: La resistencia a la compresión, la absorción y el SAI del hormigón se mejoran como resultado del uso del 20% de vidrio molido reciclado en reemplazo del agregado fino.
- Resultado experimental:

Tabla 22: Ensayo: Resistencia a la compresión a los 28 días reemplazando el agregado fino por porcentajes de vidrio molido reciclado – 75 μm .

% Vidrio molido reciclado	Resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm ²)
0	408
10	433
20	469
30	398

Fuente: Elaboración propia.

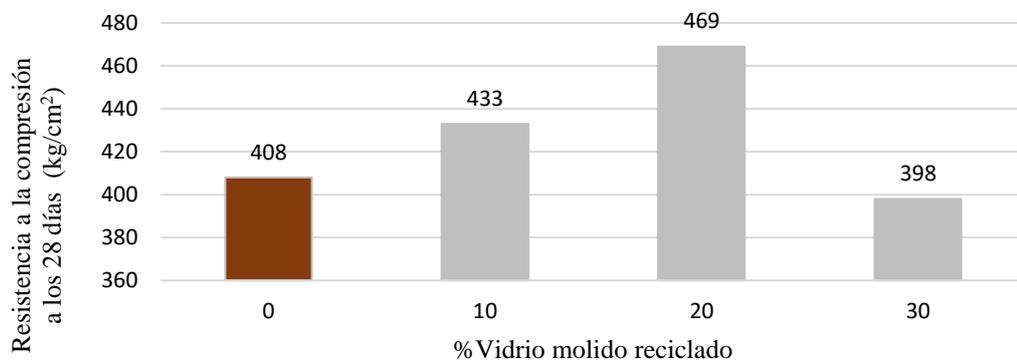


Figura 13: Porcentaje de vidrio molido reciclado vs Resistencia a la compresión a los 28 días – 75 μm .

Fuente: Elaboración propia

Chandra et al. (2018)

- Resistencia a la compresión del concreto: Se puede ver que el desarrollo de resistencia a la compresión del hormigón con polvo de vidrio es mayor en edades posteriores. Se ha sugerido que, en edades tempranas, el vidrio reciclado actúa más como un catalizador.
- Método de ensayo: Se midió la resistencia con diferentes tipos de vidrios mediante diferentes ensayos de resistencia a la compresión, es bien sabido que la inclusión de agregados de vidrio en el concreto puede desencadenar la ASR. Normalmente, la naturaleza rica en sílice y la estructura amorfa del polvo de vidrio reaccionan con el hidróxido de calcio del cemento portland y forman un gel silíceo. Este gel dentro de la pasta de cemento absorbe agua y se hincha. Una presión de hinchamiento suficiente puede causar micro fisuras, expansión y en última instancia el deterioro del hormigón circundante.
- Tamaño de partícula: 1.18 μm
- Relación agua/cemento: 0.42
- Contenido adicional: La resistencia a la compresión, la absorción y el SAI del hormigón se mejoran como resultado del uso del 20% de vidrio molido reciclado en reemplazo del agregado fino.
- Resultado experimental:

Tabla 23: Ensayo: Resistencia a la compresión a los 28 días reemplazando el agregado fino por porcentajes de vidrio molido reciclado marrón – 1.18 μm .

% Vidrio molido reciclado	Resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm^2)
0	284
11	269
13	296
15	184

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24: Ensayo: Resistencia a la compresión a los 28 días reemplazando el agregado fino por porcentajes de vidrio molido reciclado neón – 1.18um.

% Vidrio molido reciclado	Resistencia a la Compresión a los 28 días (kg/cm ²)
0	0
11	251
13	272
15	224

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25: Ensayo: Resistencia a la compresión reemplazando el agregado fino por porcentajes de vidrio molido reciclado verde – 1.18um.

% Vidrio molido reciclado	Resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm ²)
0	0
11	287
13	324
15	111

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26: Ensayo: Resistencia a la compresión reemplazando el agregado fino por porcentajes de vidrio molido reciclado color mixto – 1.18um.

% Vidrio molido reciclado	Resistencia a la Compresión(kg/cm ²)
0	281
11	267
13	295
15	172

Fuente: Elaboración propia

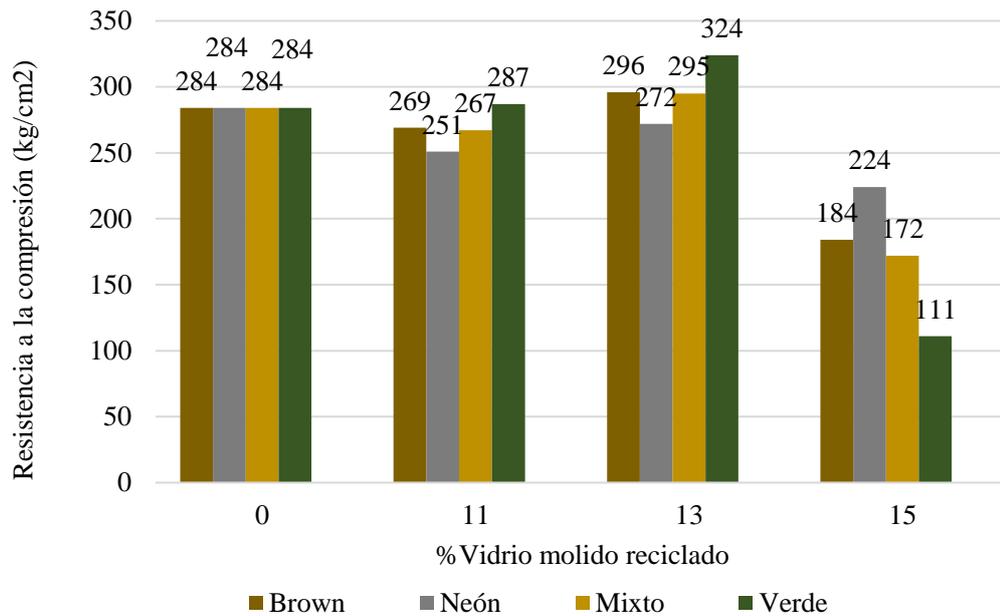


Figura 14: Porcentaje de vidrio molido reciclado marrón, verde y neón vs Resistencia a la compresión a los 28 días – 1.18mm

Fuente: Elaboración propia.

Analizar el óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino para reducir la absorción de agua de la mezcla del concreto.

Mardani et al. (2015).

- Tipo de aglutinante: cemento Portland ordinario (que tiene una gravedad específica de 3,11)
- Prueba de Absorción: En el caso del agregado del vidrio molido reciclado en el concreto, con el aumento del nivel de reemplazo del agregado hasta un 60%, se mejoraron todas las propiedades de transporte de las mezclas de concreto. Esto se debe a una menor permeabilidad, por lo tanto, una menor capacidad de absorción de agua del vidrio molido reciclado en comparación con los de la piedra caliza
- Método de ensayo: La absorción de agua de 28 días de muestras de cubos de 150 mm se obtuvo de acuerdo con ASTM C 642-82 97 [48] estándar. La penetración de iones cloruro de mezclas de hormigón se determinó en muestras cilíndricas de 100 mm de diámetro y 50 mm de longitud de acuerdo con ASTM C 1202 a los 28 días de edad

- Tamaño de partícula: 125um
- Relación agua/cemento: 0.45
- Contenido adicional: Caliza
- Resultado experimental:

Tabla 27: Ensayo: Porcentaje de absorción de agua reemplazando el agregado fino por porcentajes de vidrio molido reciclado – 125um.

% Vidrio molido reciclado	% Absorción
0	4.50
15	4.49
30	4.47
45	4.44
60	4.38

Fuente: Elaboración propia.

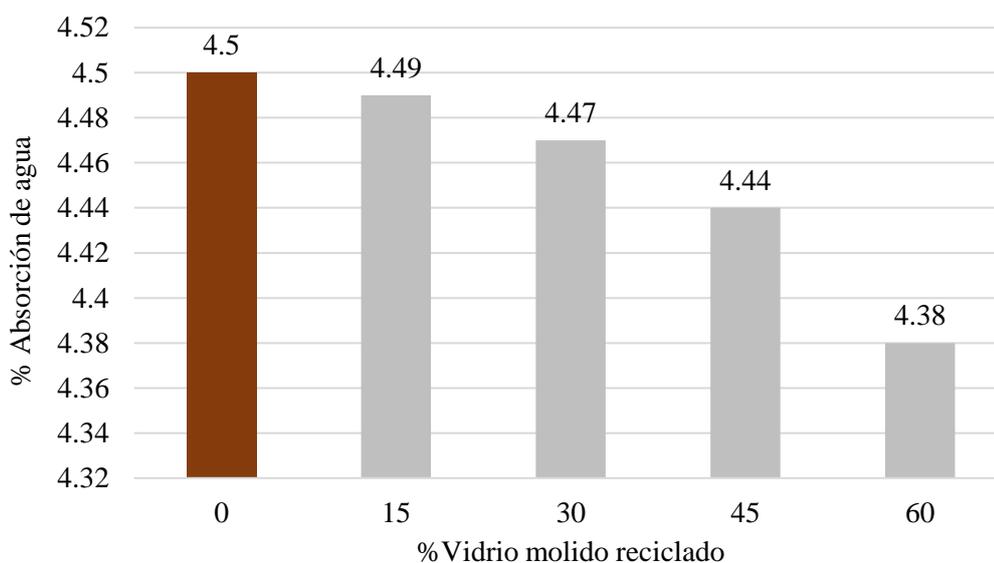


Figura 15: % Absorción de agua vs % Vidrio molido reciclado – 125um

Fuente: Elaboración propia.

Lal, et al. (2020).

- Tipo de aglutinante: cemento portland ordinario (OPC) grado 43 según las especificaciones de IS 8112: 2013.
- Prueba de Absorción: Revela que la absorción de agua para las mezclas de concreto agregado con vidrio molido reciclado en un 15% fueron menores que las del concreto de control obteniendo un resultado de 2.75% el cual fue inferior a la mezcla de control 3.7%.

- Método de ensayo: Se realizó una prueba de resistencia a la compresión de acuerdo con IS 516: 1959. Se moldearon cubos de tamaño 100 mm y se probaron en una máquina de prueba de compresión de 200 toneladas con una madurez de 28 días. La resistencia de las mezclas de concreto mezclado contra el ataque de ácidos se estudió siguiendo la norma ASTM C 267-01.
- Tamaño de partícula: 90um
- Relación agua/cemento: 0.53
- Contenido adicional: Supe plastificante con base de formaldehído de naftaleno sulfonado.
- Resultado experimental:

Tabla 28: Ensayo: Porcentaje de absorción de agua reemplazando el agregado fino por porcentajes de vidrio molido reciclado – 90um

% Vidrio molido reciclado	% Absorción
0	3.70
5	3.25
10	2.90
15	2.75
20	3.80
25	3.95

Fuente: Elaboración propia.

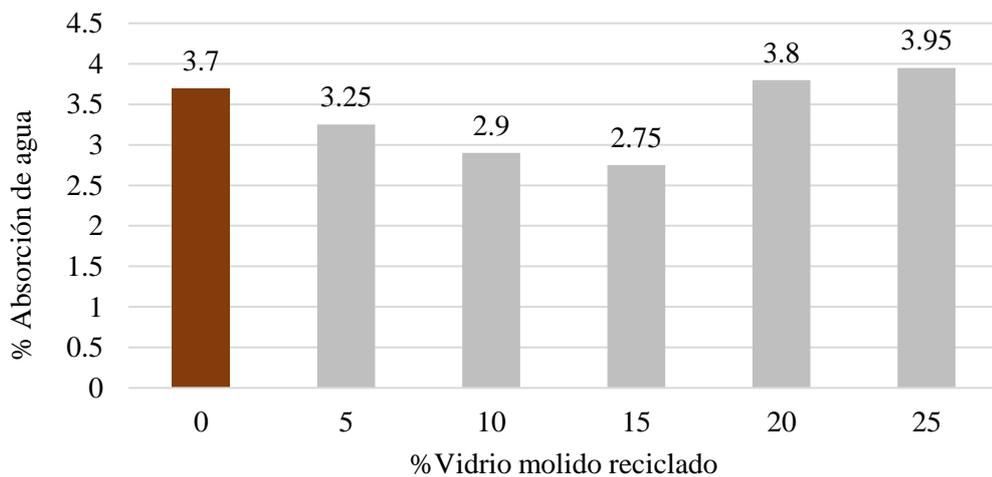


Figura 16: %Absorción de agua vs % Vidrio molido reciclado – 90um

Fuente: Elaboración propia.

Maher et al. (2019)

- Tipo de aglutinante: Cemento Portland Tipo I, peso específico 3.16
- Prueba de Absorción: Los resultados muestran que todas las mezclas con vidrio molido reciclado dieron porcentajes de absorción inferiores respecto a la mezcla de control. Los % de absorción obtenidos fue de 15,47%, 26,58%, 30,44% 35,27% para 10%, 15%, 20% y 25% de reemplazo, respectivamente.
- Método de ensayo: Se realizó la prueba de absorción y se observa que la absorción de agua del concreto disminuye con el aumento del contenido de polvo de vidrio.
- Tamaño de partícula: <4.75mm
- Relación agua/cemento: 0.32
- Contenido adicional: Super plastificante de alto rendimiento (Sika Se utilizó ViscoCrete-5930) tipo G y F para mejorar la trabajabilidad de las mezclas sin aumentar la relación a / c.

Tabla 29: Ensayo: Porcentaje de absorción de agua reemplazando el agregado fino por porcentajes de vidrio molido reciclado – 4.75mm

% Vidrio molido reciclado	% Absorción
0	1.031
10	0.875
15	0.76
20	0.72
25	0.67

Fuente: Elaboración propia.

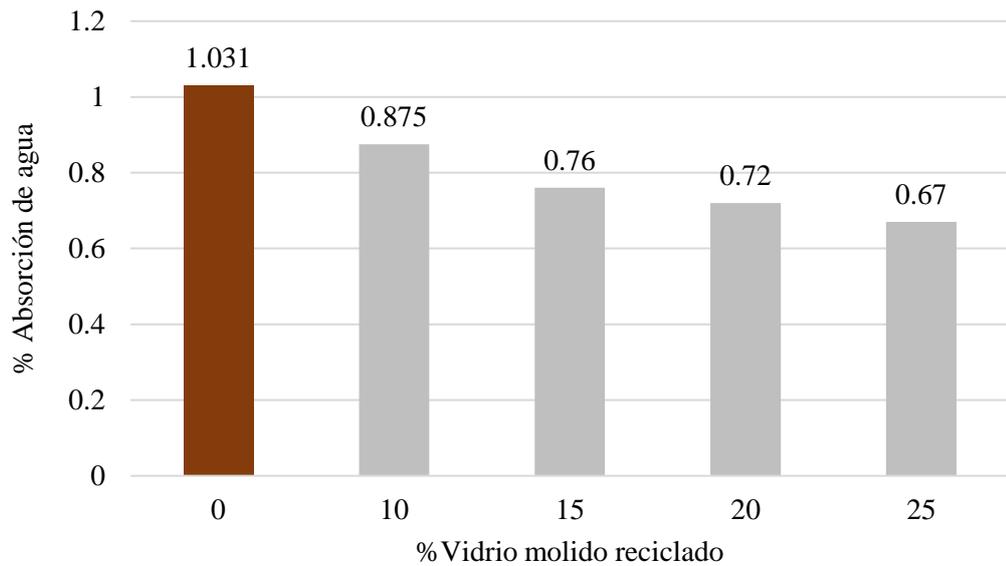


Figura 17: %Absorción de agua vs % Vidrio molido reciclado – 4.75mm

Fuente: Elaboración propia.

Zanwar y Patil (2020)

- Tipo de aglutinante: Cemento Portland Ordinario Grado 53
- Prueba de Absorción: Los resultados de la prueba de absorción cuando un porcentaje del nivel de reemplazo del vidrio molido reciclado aumenta, se ve que la absorción de agua continúa disminuyendo. La absorción de agua se reduce en un 16%, 33%, 51% y 60% en comparación con el concreto normal con reemplazo del vidrio molido reciclado al 10%, 20% y 30% respectivamente. El aumento del vidrio molido reciclado disminuye la absorción de agua como resultado del relleno de los poros y el efecto puzolánico.
- Método de ensayo: La absorción de agua se calculó según ASTM C642.
- Tamaño de partícula: máx. 75um
- Relación agua/cemento: 0.4

Tabla 30: Ensayo: Porcentaje de absorción de agua reemplazando el agregado fino por porcentajes de vidrio molido reciclado – 75um

% Vidrio molido reciclado	% Absorción
0	4.5
10	3.75
20	3.0
30	2.7

Fuente: Elaboración propia

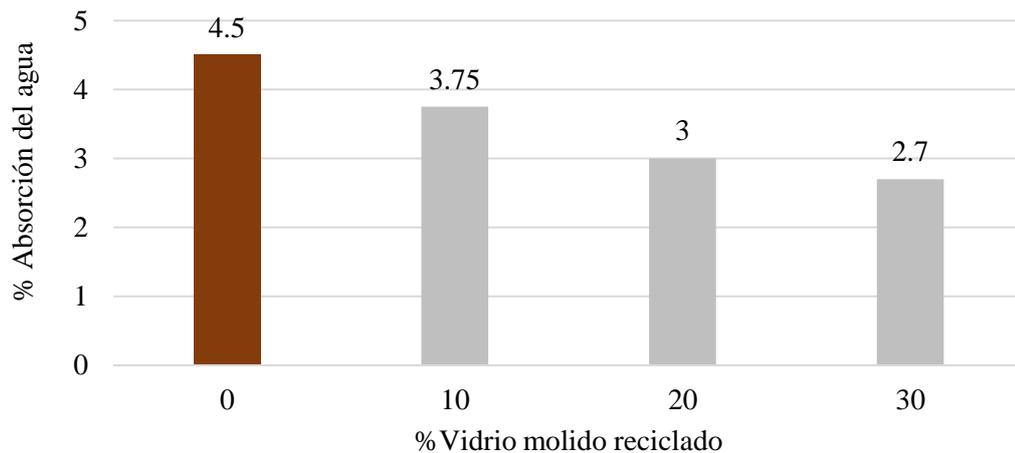


Figura 18: %Absorción de agua vs % Vidrio molido reciclado – 75um

Fuente: Elaboración propia.

Aliabdo et al. (2016)

- Tipo de aglutinante: Cemento Portland Ordinario
- Prueba de Absorción: Los resultados de la prueba de absorción cuando un porcentaje del nivel de vidrio molido reciclado aumenta, se ve que la absorción de agua continúa disminuyendo. La absorción de agua se reduce en un 14%, 20%, 25%, 27% y 13% en comparación con el concreto normal con reemplazo de vidrio molido reciclado al 5%, 10%, 15%, 20% y 25% respectivamente. El aumento del vidrio molido reciclado disminuye la absorción de agua como resultado del relleno de los poros y el efecto puzolánico.
- Método de Ensayo: Se realizó la prueba de absorción y se observa que la absorción de agua del concreto disminuye con el aumento del contenido de vidrio molido reciclado hasta en un 20% de reemplazo.
- Relación agua cemento: $a/c = 0.40$
- Tamaño de Partícula: 125um

Tabla 31: Resultados de la absorción de agua para mezclas de concretos modificados con vidrio molido reciclado – 125um

% Vidrio molido reciclado	% Absorción
0	6.3
5	5.4
10	5.0
15	4.7
20	4.6
25	5.5

Fuente: Elaboración propia

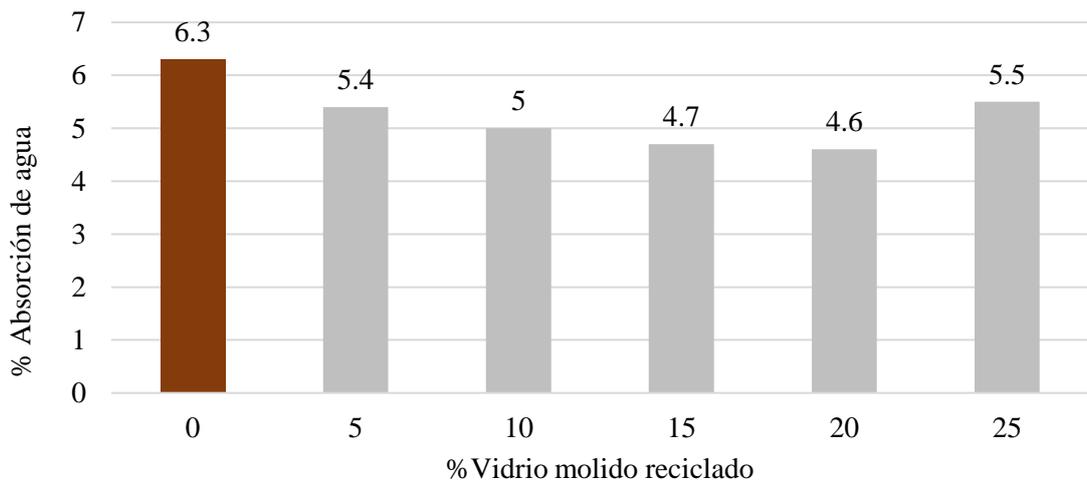


Figura 19: % Absorción de agua vs % Vidrio molido reciclado – 125um.

Fuente: Elaboración propia.

5.2 Análisis e interpretación de resultados.

Al analizar el óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino aumenta la durabilidad del concreto

Lal et al. (2020)

La Figura 20 presenta los resultados obtenidos del ensayo permeabilidad rápida al cloruro del concreto modificado con vidrio molido reciclado y super plastificante naftaleno que tiene como finalidad reducir considerablemente el consumo de agua en la mezcla del concreto, donde se observa que a medida que aumenta la sustitución de vidrio molido reciclado por cemento en la mezcla del concreto, la carga aplicada decrece hasta el 15% de sustitución, ya que a partir del 20% de sustitución la carga aplicada aumento superando a la mezcla de control.

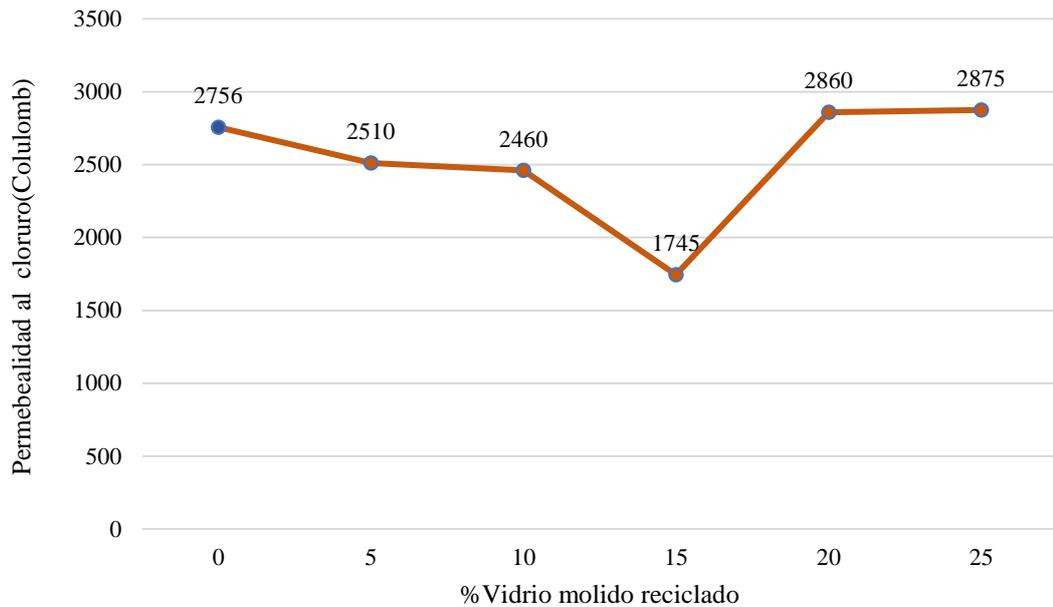


Figura 20: Resultados de la influencia de vidrio molido reciclado respecto a la penetración de cloruros en el hormigón modificado – 90um

Fuente: Elaboración propia.

También se determinó que el porcentaje óptimo de sustitución es del 15% obteniendo una carga de 1750 C inferior en 36% respecto a la carga obtenida para mezcla de control 2750 C.

Chandra et al. (2018)

La Figura 21 presenta los resultados del ensayo de permeabilidad al cloruro del concreto modificado con vidrio molido reciclado de diferentes colores, dicha gráfica indica que a medida que aumenta la sustitución de vidrio molido reciclado por agregado fino la carga aplicada en el ensayo decrece considerablemente para los 3 colores de vidrios trabajados.

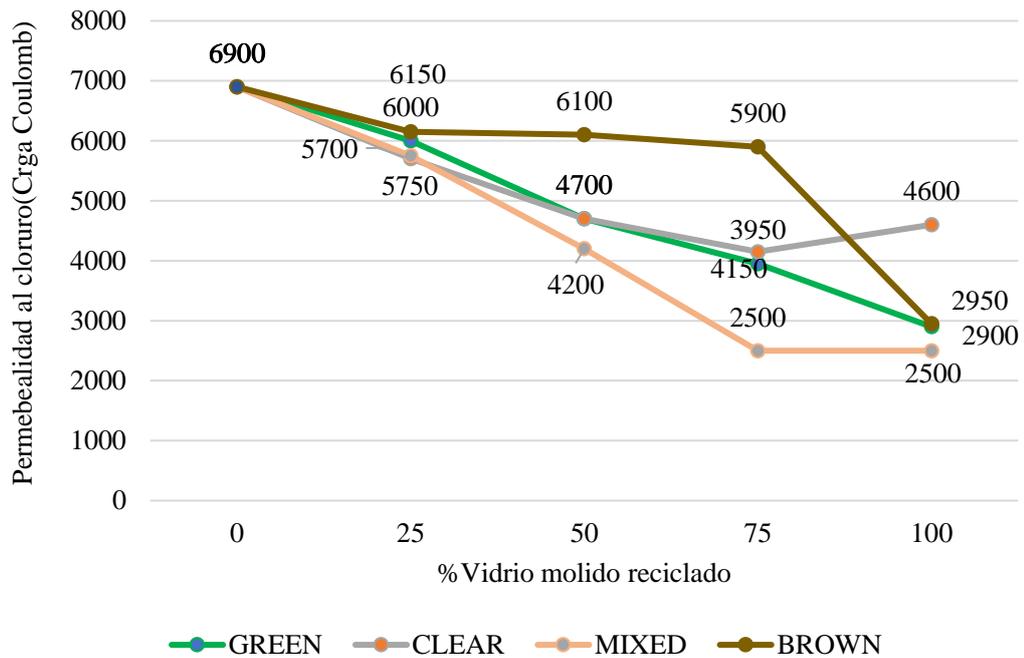


Figura 21: Resultados de la influencia de vidrio molido respecto a la penetración de cloruros en el hormigón modificado – 1.18um

Fuente: Elaboración propia.

Se observa de la gráfica que los porcentajes óptimos obtenidos fueron de 100%, 100%, 100% y de 75% para los vidrios de colores verde, marrón, mixto y blanco respectivamente. Obteniendo cargas inferiores respecto a la mezcla de control que representa una disminución de 56%, 56%, 56% y 38% respectivamente.

Mardani et al. (2015).

La Figura 22 presenta los resultados del ensayo de permeabilidad al cloruro del concreto modificado con vidrio molido reciclado con diferente porcentaje de sustitución, dicha gráfica indica que a medida que aumenta la sustitución de vidrio molido reciclado por agregado fino la carga aplicada en el ensayo decrece hasta en un 3%.

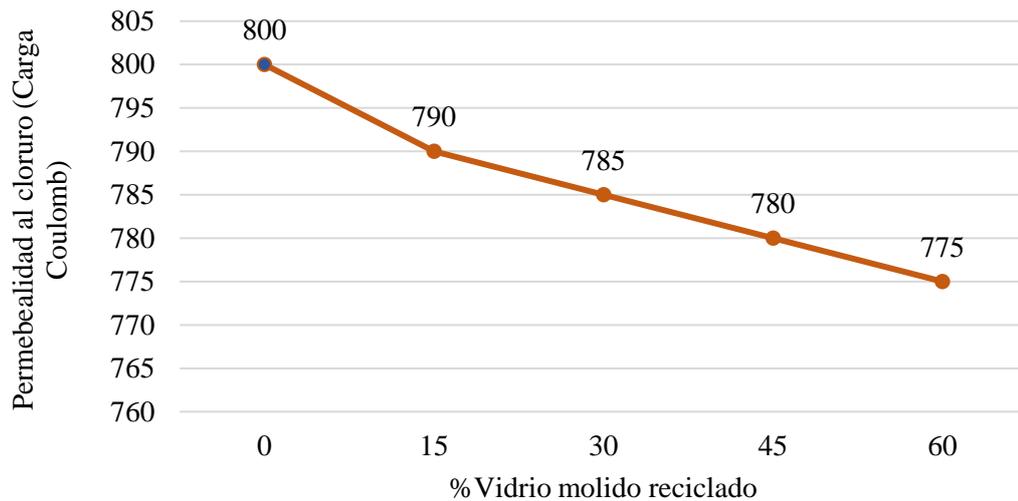


Figura 22: Resultados de la influencia de vidrio molido respecto a la penetración de cloruros en el hormigón modificado – 125um

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que a partir del 15% de sustitución se observa una tendencia decreciente que a medida se sigue agregando el 15% de vidrio decrece en un 0.7% la carga aplicada en el ensayo. Obteniendo un óptimo porcentaje al 60% de sustitución para una carga de 775 C el cual fue inferior en un 3% respecto a la mezcla de control 800 C.

Al analizar el óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino aumenta la resistencia a la compresión del concreto.

Lal et al. (2020)

La Figura 23 presenta los resultados del ensayo de resistencia a la compresión del concreto modificado con vidrio molido reciclado, en la gráfica se puede afirmar que cuando reemplazamos vidrio molido por el agregado fino en la mezcla la resistencia a la compresión disminuye, teniendo su menor resistencia cuando se reemplaza el vidrio molido reciclado en 25%.

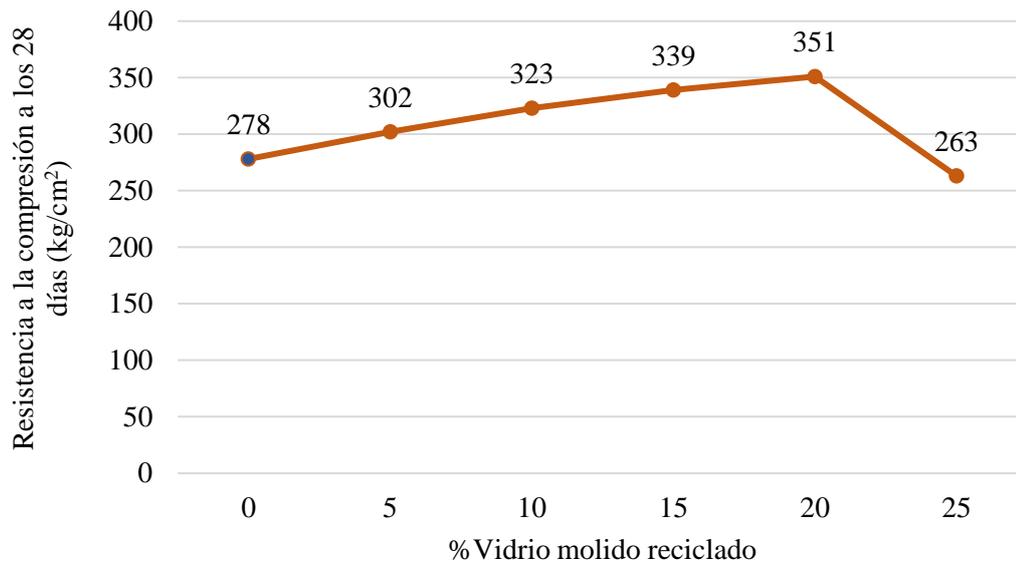


Figura 23: Resultados de la resistencia a la compresión del concreto con vidrio molido reciclado a los 28 días – 90um

Fuente: Elaboración propia

Se observa que inicialmente se agregó 5%, 10%, 15%, 20% y la resistencia a la compresión fue aumentando a medida que se aumenta el vidrio molido reciclado, su punto más alto fue de 20%, pero cuando se agrega 25% la resistencia a la compresión disminuye, por ello se afirma que el mejor porcentaje de sustitución de vidrio molido reciclado es 20%. Obteniendo un óptimo porcentaje al 20% de sustitución resultando un valor de ensayo igual a 350kg/cm² el cual fue superior en un 25% respecto al ensayo de control 280 kg/cm².

Zanwar y Patil (2020)

La Figura 24 presenta los resultados del Ensayo de resistencia a la compresión del concreto modificado con vidrio molido reciclado, en la gráfica se puede afirmar que cuando reemplazamos vidrio molido por el agregado fino en la mezcla la resistencia a la compresión aumenta, teniendo su mayor resistencia cuando se reemplaza el vidrio molido reciclado en 20%.

Se observa que se trabajó con porcentajes de vidrio molido reciclado de 10% y 20%, la resistencia a la compresión fue aumentando a medida que se aumenta el porcentaje de vidrio molido, su punto más alto fue en 20%, pero cuando se agrega

30% la resistencia a la compresión disminuye, por ello se afirma que el mejor porcentaje de sustitución de vidrio molido reciclado es de 20%.

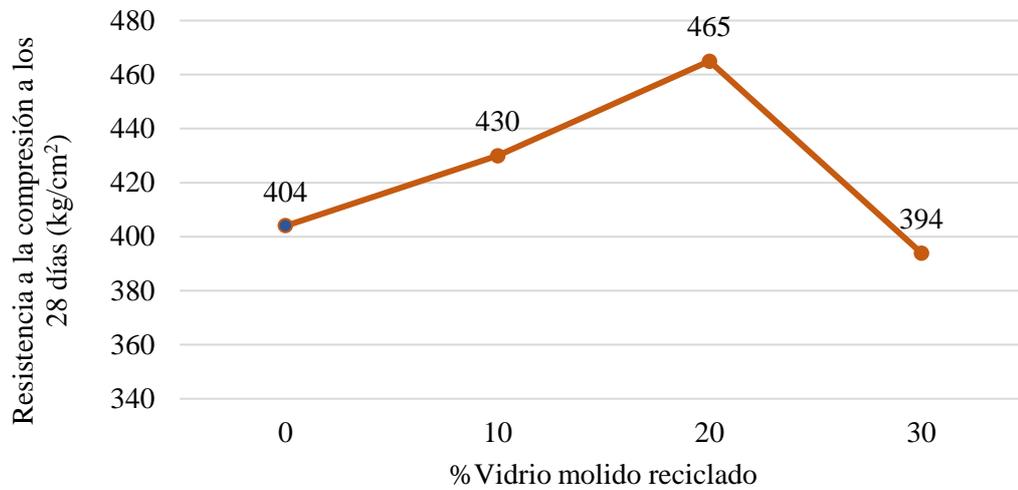


Figura 24: Resultados de la resistencia a la compresión del concreto con vidrio molido reciclado a los 28 días – 75um

Fuente: Elaboración propia

Chandra et al. (2018)

La Figura 25 presenta los resultados del Ensayo de resistencia a la compresión del concreto modificado con 3 tipos de vidrio: marrón, neón y verde, los porcentajes que se trabajaron en las muestras de concreto fueron 0%, 11%, 13% y 15%.

Mediante el grafico se puede afirmar que la resistencia a la compresión aumenta cuando se reemplaza con 13% de vidrio molido reciclado al agregado fino obteniendo así una resistencia a la compresión mayor a la muestra patrón.

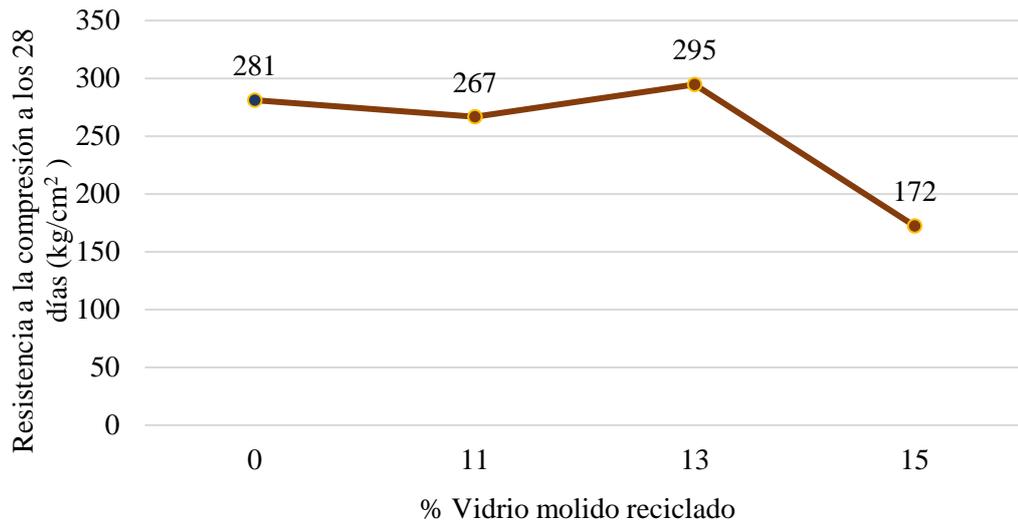


Figura 25: Resultados de la resistencia a la compresión del concreto con vidrio molido reciclado a los 28 días – 1.18mm

Fuente: Elaboración propia.

Reemplazando vidrio molido reciclado con un porcentaje de 13% de vidrio color marrón, neón y verde se obtiene una resistencia de 293 kg/cm², 270 kg/cm² y 321 kg/cm² por ello el porcentaje óptimo de vidrio molido reciclado es 13%. Pero cuando se reemplaza con 11% y 15% la resistencia a la compresión disminuye a comparación de la muestra patrón.

Al analizar el óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino se reduce la absorción de agua en la mezcla del concreto.

Lal et al. (2020)

La Figura 26 presenta los resultados de ensayo de absorción de agua del concreto adicionando porcentajes de vidrio molido reciclado, se puede apreciar que a medida que aumenta el porcentaje de vidrio molido reciclado en la mezcla disminuye la absorción de agua, esto se cumple hasta un máximo de 15%, ya que para 20% y 25% aumento el porcentaje de absorción de agua. Entonces podemos afirmar que el porcentaje ideal de sustitución de vidrio molido reciclado para disminuir la absorción de agua es de 15% con ello podremos mejorar la resistencia a la compresión y durabilidad.

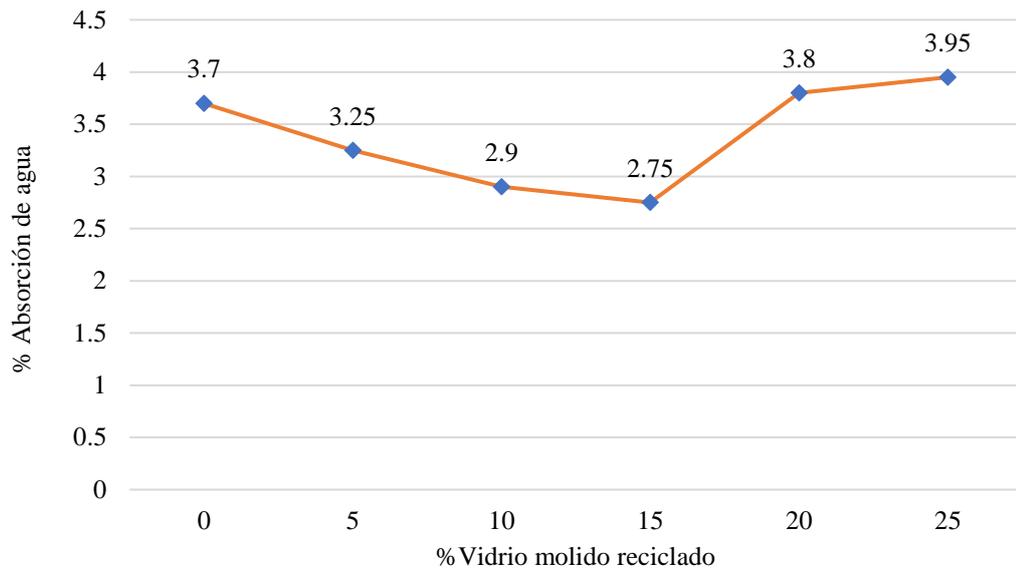


Figura 26: Resultados del %Absorción de agua del concreto con vidrio molido reciclado – 90um

Fuente: Elaboración propia.

Maher et al. (2019)

La Figura 27 presenta los resultados de ensayo de absorción de agua del concreto adicionando porcentajes de vidrio molido reciclado, se puede apreciar que a medida que aumenta el porcentaje de vidrio molido reciclado en la mezcla disminuye la absorción de agua, el punto máximo se dio cuando se agregó 25% de vidrio molido reciclado obteniendo una absorción de agua del 0.67%, por ello se afirma que el porcentaje ideal de sustitución de vidrio molido reciclado es 25%.

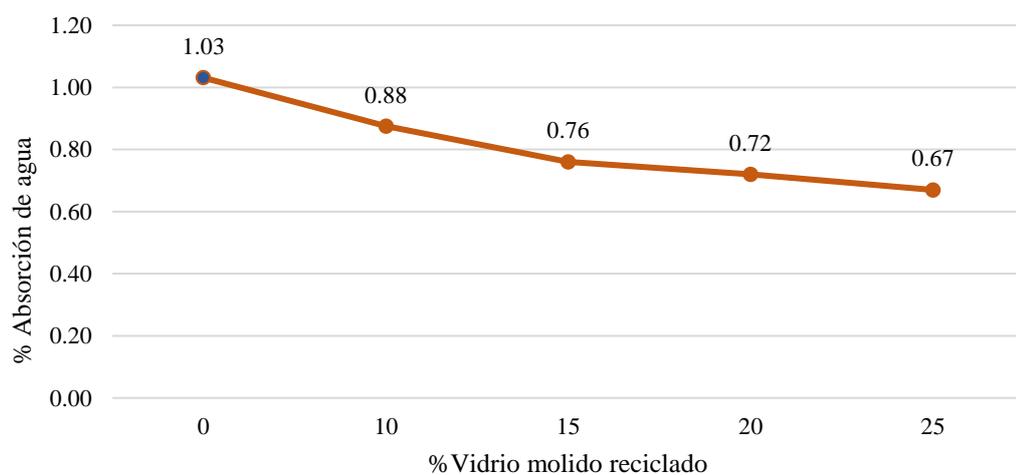


Figura 27: Resultados del %Absorción de agua del concreto con vidrio molido reciclado – 4.75mm

Fuente: Elaboración propia.

Nos podemos dar cuenta que la mezcla patrón muestra una absorción de agua de 1.031% y a medida que se reemplaza el agregado fino por vidrio molido reciclado en porcentajes de 10%, 15%, 20% y 25% se obtiene resultados de 0.875%, 0.76%, 0.72%, y 0.67% respectivamente entonces afirmamos que el porcentaje ideal de reemplazo es 25% ya que obtuvo el menor porcentaje de absorción de agua es decir un concreto de mejor calidad y resistencia.

Aliabdo et al. (2016)

Figura 28 presenta los resultados de ensayo de absorción de agua del concreto adicionando porcentajes de vidrio molido reciclado, se puede apreciar que a medida que aumenta el porcentaje de vidrio molido reciclado en la mezcla disminuye la absorción de agua, el punto máximo se dio cuando se agregó 20% de vidrio molido reciclado obteniendo una absorción de agua del 4.80% para la mezcla de control de 354 kg/cm², pero con respecto a la mezcla de control de 455 kg/cm² se obtuvo como un resultado de 4% la absorción de agua para una sustitución de 10% .

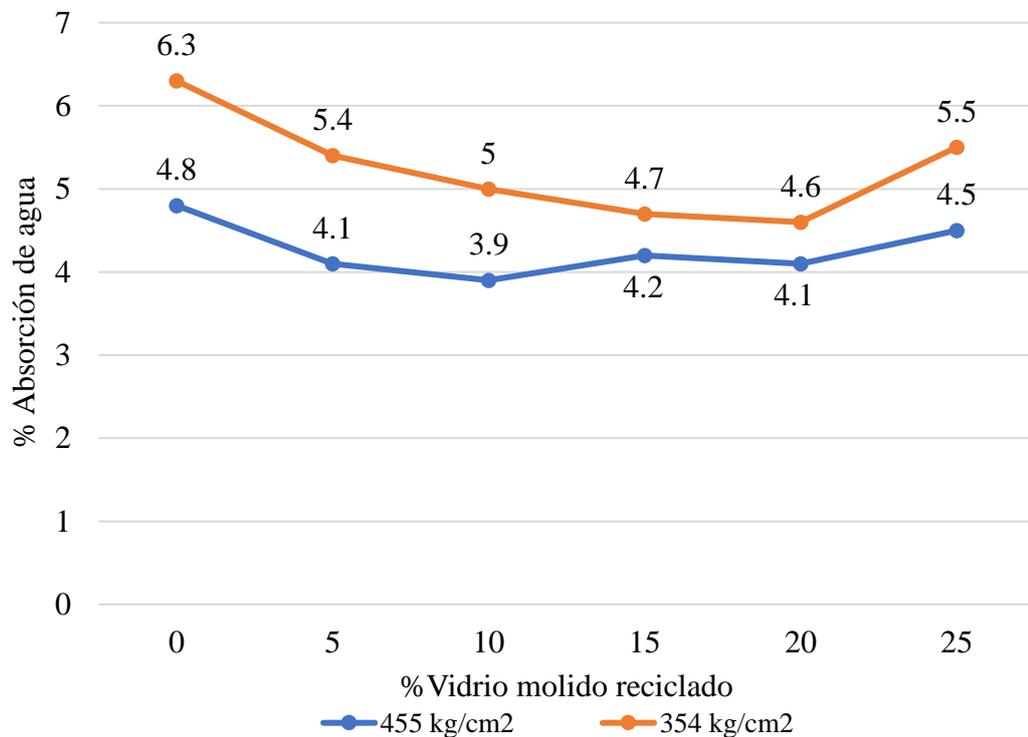


Figura 28: Resultados del %Absorción de agua del concreto con vidrio molido reciclado – 0.125mm

Fuente: Elaboración propia

Anand y Yogesh (2020)

Figura 29 presenta los resultados de ensayo de absorción de agua del concreto adicionando porcentajes de vidrio molido reciclado, se puede apreciar que a medida que aumenta el porcentaje de vidrio molido reciclado en la mezcla disminuye la absorción de agua, el punto máximo se dio cuando se agregó 30% de vidrio molido reciclado obteniendo una absorción del 2.7%, por ello se afirma que el porcentaje ideal de sustitución de vidrio molido reciclado es 30%.

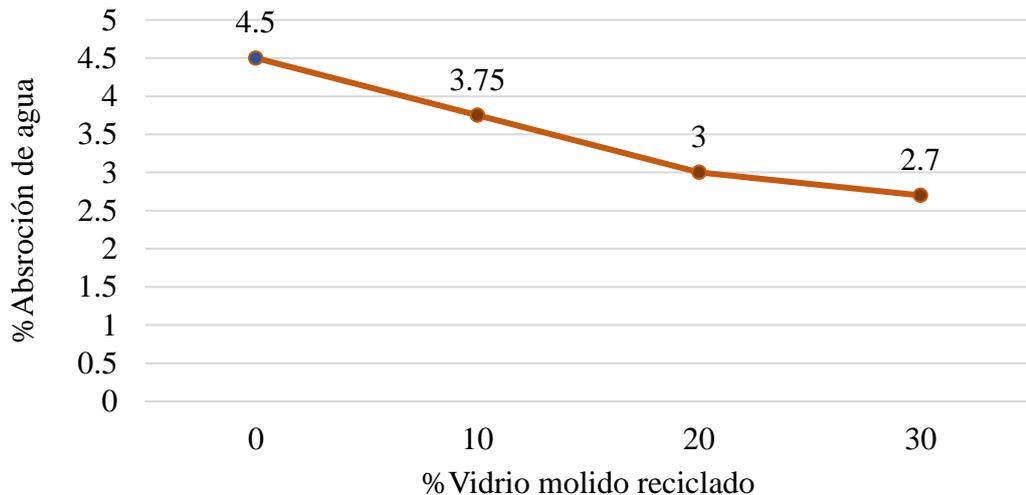


Figura 29: Resultados del %Absorción de agua del concreto con vidrio molido reciclado – 4.75mm

Fuente: Elaboración propia.

Nos podemos dar cuenta que la mezcla patrón muestra una absorción de agua de 4.5% y a medida que se reemplaza el agregado fino por vidrio molido reciclado en porcentajes de 10%, 20% y 30% de vidrio molido reciclado se obtiene 3.75%, 3% y 2.7% en absorción de agua respectivamente entonces afirmamos que el porcentaje ideal de reemplazo es 30% ya que obtuvo el menor porcentaje de absorción de agua es decir un concreto de mejor calidad y alta resistencia.

Mardani et al. (2015)

La Figura 30 presenta los resultados de las pruebas de absorción del agua en el concreto con vidrio molido reciclado con diferente porcentaje de sustitución, dicha gráfica indica que a medida que aumenta la sustitución de vidrio molido reciclado por agregado fino la absorción de agua de la mezcla del concreto decrece hasta en un 1%.

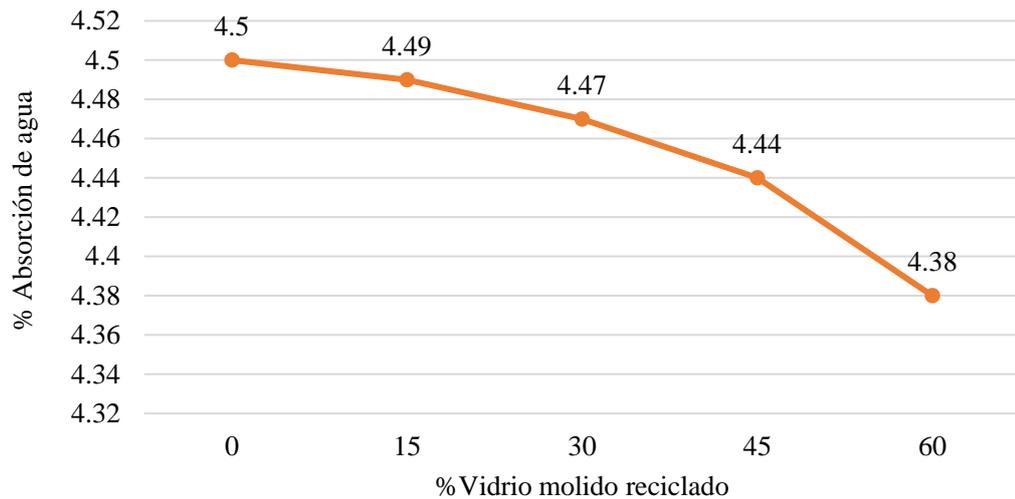


Figura 30: Resultados del %Absorción de agua del concreto con vidrio molido reciclado – 0.125mm

Fuente: Elaboración propia.

Se observa una tendencia decreciente que a medida se sigue agregando vidrio molido decrece hasta en 1% la absorción de agua en la mezcla del concreto. Obteniendo un óptimo porcentaje al 60% de sustitución para un resultado de absorción de 4.38% el cual fue inferior en un 1% respecto a la mezcla de control 4.5%.

Al analizar el óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino se mejora el asentamiento de la mezcla de concreto.

Aliabdo et al. (2016)

En la Figura 31 se observa que a medida que la sustitución de vidrio molido aumenta el asentamiento de la mezcla mejora obteniendo una relación directamente proporcional respecto a la sustitución de vidrio molido por cemento. Para el ensayo de resistencia a la compresión de 354 kg/cm² se obtuvieron resultados que superaron en 5%, 13%, 18%, 29% y 37% superior respecto a la mezcla de control. Para el ensayo de resistencia a la compresión de 455 kg/cm² se obtuvieron resultados que superaron en 3%, 5%, 23%, 29% y 39% superior respecto a la mezcla de control

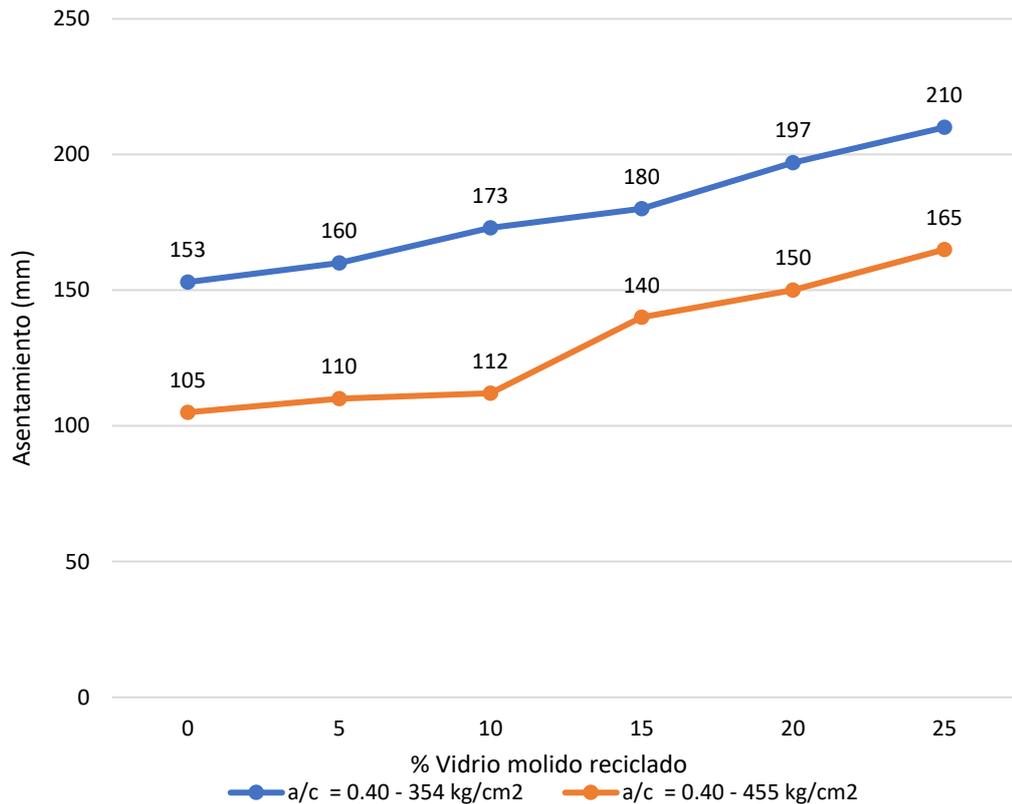


Figura 31: Asentamiento (mm) de la mezcla del concreto modificado con porcentaje de vidrio molido reciclado con a/c=0.40

Fuente: Elaboración propia

Mardani et al. (2015)

Figura 323 presenta los resultados de ensayo de asentamiento del concreto con adiciones de vidrio molido en reemplazo del agregado fino en porcentajes de 0%, 15%, 30%, 45%, y 60% donde se observa que la tendencia es aumentar el asentamiento a medida que se agrega un mayor porcentaje de vidrio molido reciclado a comparación de la muestra patrón, el mejor asentamiento se presenta cuando se reemplaza con el 60% de vidrio molido reciclado. Debido a que el vidrio molido reciclado aumenta el asentamiento entonces la trabajabilidad aumenta y la mezcla de concreto se hace más trabajable.

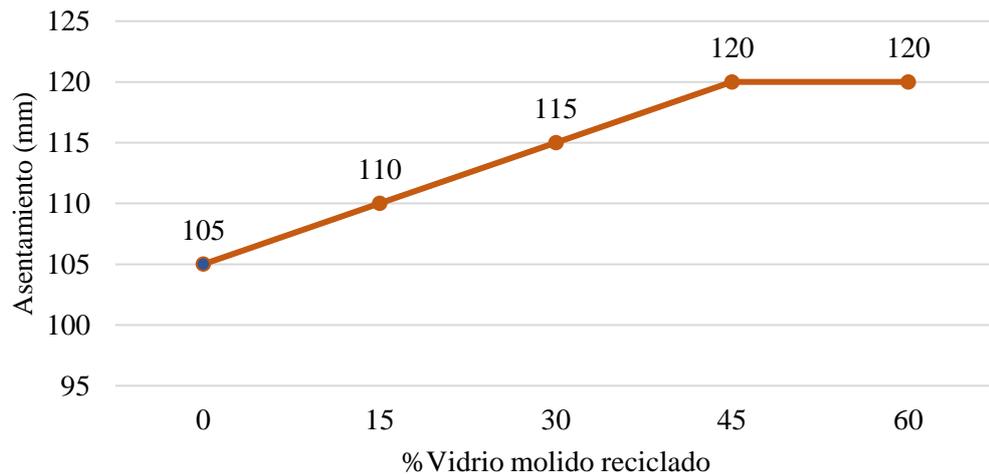


Figura 32: Asentamiento (mm) de la mezcla del concreto modificado con porcentaje de vidrio molido reciclado con $a/c=0.45$

Fuente: Elaboración propia

Mavoori et al. (2020)

Figura 33 presenta los resultados de ensayo de asentamiento del concreto con adiciones de vidrio molido en reemplazo del agregado fino en porcentajes de 0%, 15%, 30%, 45%, y 60% donde se observa que la tendencia es aumentar el asentamiento a medida que se agrega más porcentaje de vidrio molido reciclado a comparación de la muestra patrón, el mejor asentamiento se presenta cuando se reemplaza con el 60% de vidrio molido reciclado. Debido a que el vidrio molido reciclado aumenta el asentamiento entonces la trabajabilidad aumenta y la mezcla de concreto se hace más trabajable.

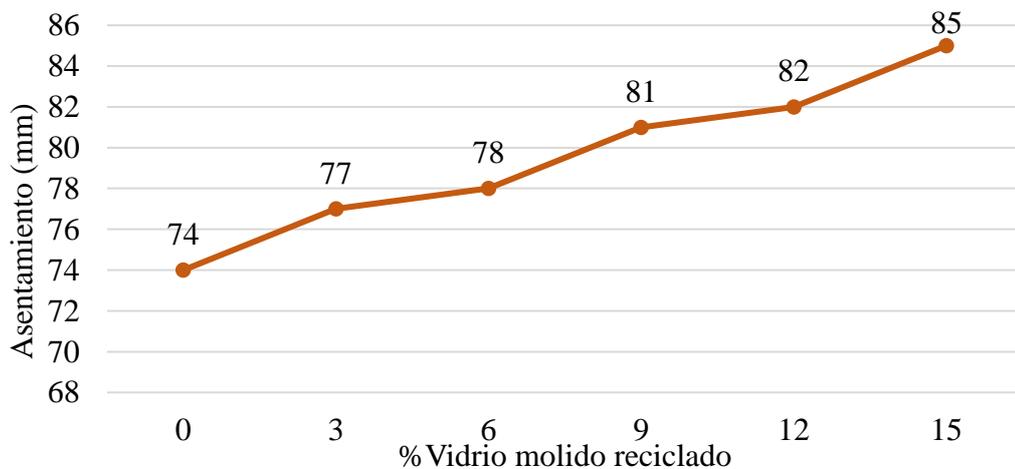


Figura 33: Asentamiento (mm) de la mezcla del concreto modificado con porcentaje de vidrio molido reciclado con $a/c=0.45$

Fuente: Elaboración propia

5.3 Contratación de la hipótesis

5.3.1 Al analizar el óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino se aumenta la durabilidad del concreto.

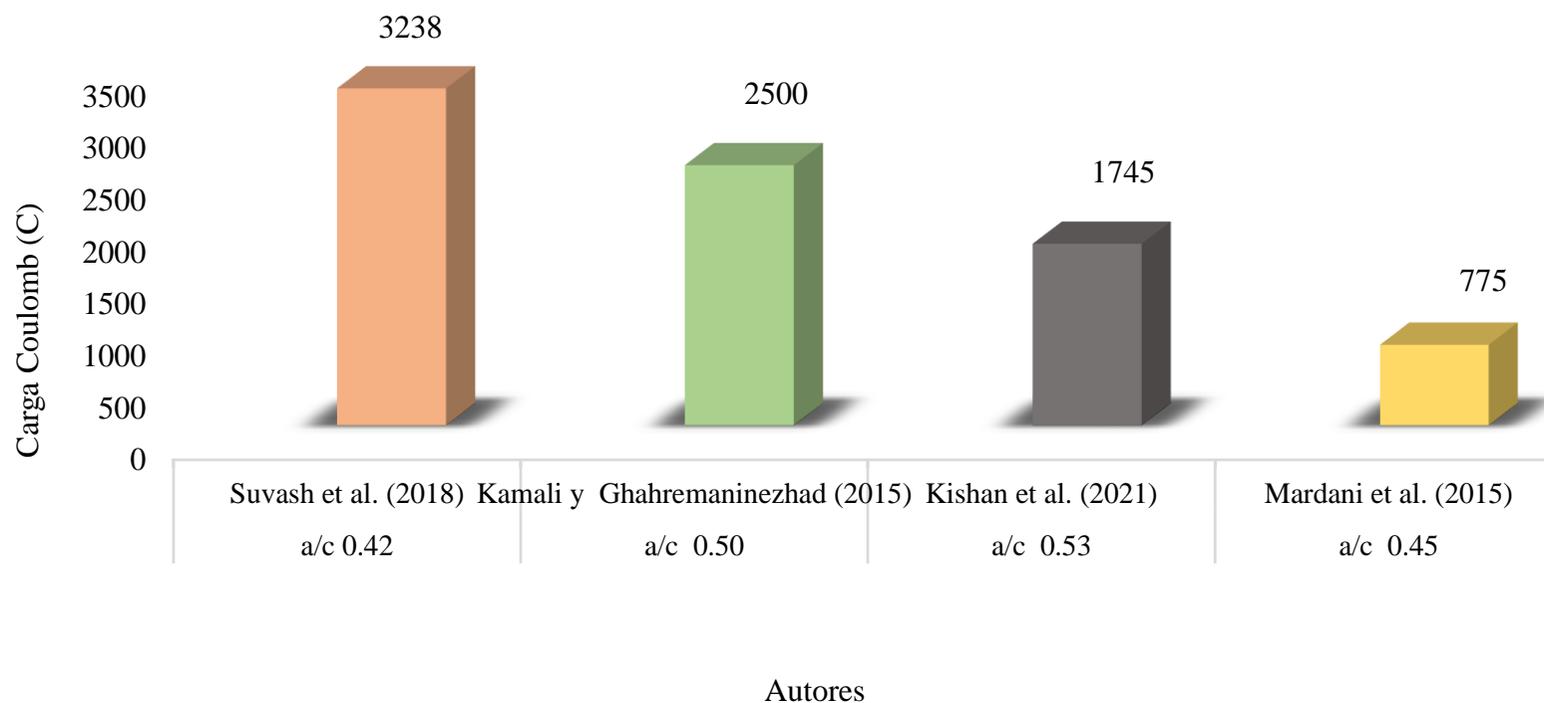


Figura 34: Resultado de durabilidad del concreto con diferentes porcentajes óptimos de vidrio molido reciclado en reemplazo del agregado fino vs Autores.

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar en la Figura 34, según Kamali et al (2015) empleó un diseño de mezcla en la cual la piedra angular y rugosa es el agregado grueso, como agregado fino arena de sílice y vidrio molido reciclado, de los resultados se determinó que el porcentaje óptimo de vidrio molido reciclado es el 20%, obteniendo una carga de 2500 coulomb. Para Suvash et al (2018) el diseño de la mezcla del concreto utilizó piedra natural de cantera (5-19mm), como agregado fino arena natural de cantera (75mm) y vidrio molido reciclado de colores verde, marrón, neón y mixto. De los resultados se observa que el porcentaje óptimo de vidrio molido reciclado producto de la combinación (verde, marrón, neón y mixto) es el 100 % obteniendo una carga de 3238 coulomb. Según Kishan et al (2020) para el diseño de la mezcla del concreto utiliza piedra angular y rugosa como agregado grueso, como agregado fino arena de río y vidrio molido reciclado también se utilizó super plastificante con base de formaldehído de naftaleno - 2% para mantener el asentamiento, de los resultados se determinó que el porcentaje óptimo de vidrio molido reciclado es el 15%, obteniendo una carga de 1745 coulomb. Finalmente, según Mardani et al (2016) para el diseño de la mezcla utiliza piedra caliza triturada como agregado grueso, como agregado fino piedra caliza fina y vidrio molido reciclado, de los resultados se determinó que el porcentaje óptimo de vidrio molido reciclado es el 60% obteniendo una carga de 775 coulomb.

- Hipótesis Auxiliar

H0: Al analizar el porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino no aumenta la durabilidad del concreto.

H1: Al analizar el porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino si aumenta la durabilidad del concreto.

Se rechaza la hipótesis nula H0 y se acepta la hipótesis alterna H1 puesto que en todos los casos el uso de vidrio molido reciclado presenta una reducción de la carga hasta en un porcentaje óptimo de vidrio, sin embargo, superando dichas cargas la durabilidad del concreto decrece.

5.3.2 Al analizar el óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino aumenta la resistencia a la compresión del concreto

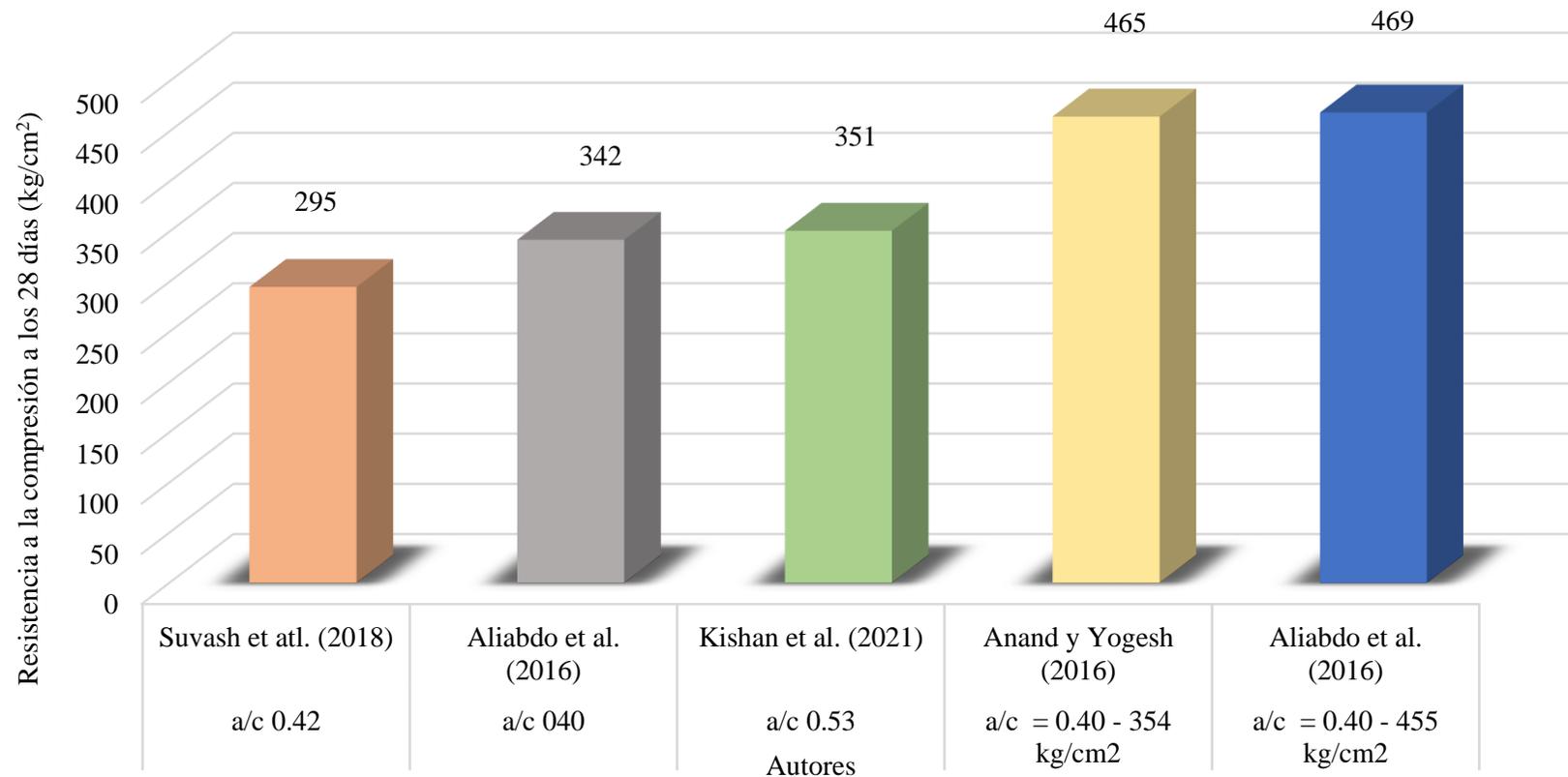


Figura 35: Resultado de la resistencia a la compresión del concreto con diferentes porcentajes óptimos de vidrio molido reciclado en reemplazo del agregado fino vs Autores.

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar en la Figura 35, y según Suvash et al (2018), para el diseño de la mezcla del concreto utilizó piedra natural de cantera (5-19mm), como agregado fino arena natural de cantera (75mm) y vidrio molido reciclado de colores verde, marrón, neón y mixto, determinó que el 13% de reemplazo de vidrio mixto (marrón, verde y neón) molido reciclado como agregado fino en el concreto es el porcentaje óptimo obteniendo una resistencia a la compresión de 295 kg/cm² superior al ensayo patrón el cual obtuvo una resistencia de 281 kg/cm². Según Kishan et al (2020) para el diseño de la mezcla utiliza piedra angular y rugosa como agregado grueso, como agregado fino arena de río y vidrio molido reciclado también se utilizó super plastificante con base de formaldehído de naftaleno - 2% para mantener el asentamiento, determinó que el 20% de reemplazo de vidrio molido reciclado como agregado fino en el concreto es el porcentaje óptimo obteniendo una resistencia a la compresión de 351 kg/cm² superior al ensayo patrón el cual obtuvo una resistencia de 278 kg/cm². Anand y Yogesh (2016) para el diseño de la mezcla utiliza piedra angular como agregado grueso, como agregado fino arena del lecho del río de forma redondeada y vidrio molido reciclado, determinó que el 20% de reemplazo de vidrio molido reciclado como agregado fino en el concreto es el porcentaje óptimo obteniendo una resistencia a la compresión de 465 kg/cm² superior al ensayo patrón el cual obtuvo una resistencia de 404 kg/cm². Aliabdo et al (2016) en el artículo 5 para el diseño de la mezcla utiliza piedra caliza rosa triturada como agregado grueso, como agregado fino arena de sílice y vidrio molido reciclado. También se empleó un aditivo reductor de agua de rango alto TIPO G, determinó que el 5% de reemplazo de vidrio molido reciclado como agregado fino en el concreto es el porcentaje óptimo obteniendo una resistencia a la compresión de 342 kg/cm² superior al ensayo patrón el cual obtuvo una resistencia de 325 kg/cm² para un ensayo de diseño de 354 kg/cm². Pero para un diseño de resistencia igual a 455 kg/cm² determinó que el 10% de reemplazo de vidrio marrón molido reciclado como agregado fino en el concreto es el porcentaje óptimo obteniendo una resistencia a la compresión de 469 kg/cm² superior al ensayo patrón el cual obtuvo una resistencia de 448 kg/cm².

- Hipótesis Auxiliar

H0: Al analizar el óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino no aumenta la resistencia a la compresión del concreto

H1: Al analizar el óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino si aumenta la resistencia a la compresión del concreto

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula H0 y se acepta la hipótesis alterna H1, ya que todos los casos la resistencia a la compresión del concreto aumento respecto a un porcentaje óptimo de remplazo. Sin embargo, se menciona que para porcentajes superiores al porcentaje óptimo la resistencia a la compresión disminuye.

5.3.3 Al analizar el óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino se reduce la absorción de agua en la mezcla de concreto.

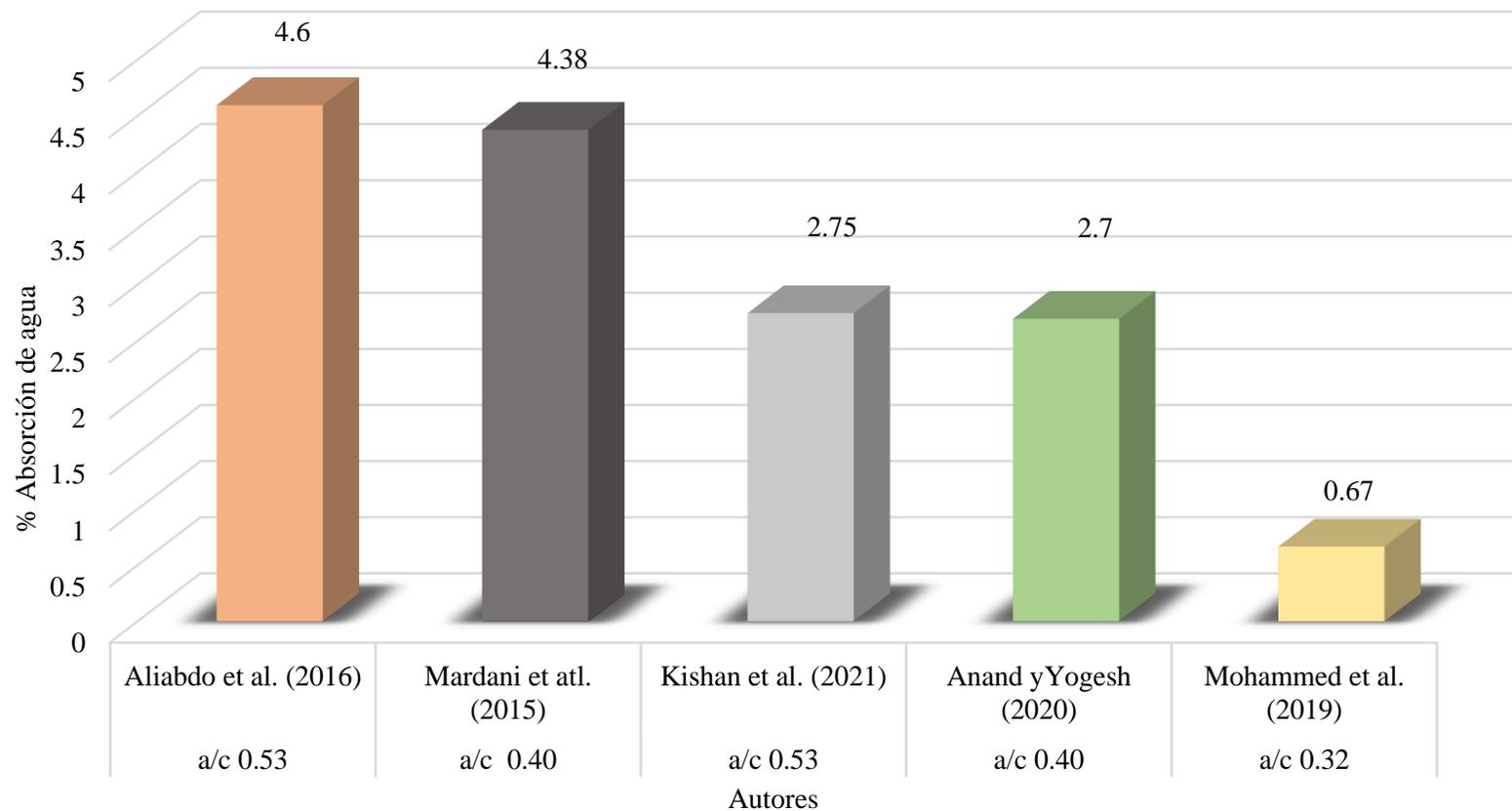


Figura 36: Resultado de la absorción de agua del concreto con diferentes porcentajes de vidrio molido reciclado en reemplazo del agregado fino vs Autores.

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar en la Figura 36, según Mardani et al (2015) para el diseño de la mezcla utiliza piedra caliza triturada como agregado grueso, como agregado fino piedra caliza fina y vidrio molido reciclado, determinó que se reduce la absorción de agua de la mezcla del concreto teniendo su punto máximo cuando se reemplazó con 60% de vidrio molido reciclado obteniendo un % de absorción igual a 4.38% el cual es inferior a la mezcla de control donde se obtuvo un resultado de 4.5%. Según Kishan et al (2020) para el diseño de la mezcla utiliza piedra angular y rugosa como agregado grueso, como agregado fino arena de río y vidrio molido reciclado también se utilizó superplastificante con base de formaldehído de naftaleno - 2% para mantener el asentamiento, determinó que se reduce la absorción de agua del concreto, dando como resultado un punto máximo cuando se reemplazó con 15% de vidrio molido reciclado obteniendo un resultado de absorción de agua igual 2.75% el cual es inferior al resultado obtenido respecto a la mezcla de control 3.7% de absorción de agua, pero si excedemos este porcentaje la absorción de agua de la mezcla del concreto aumenta respecto a la mezcla de control. Según Mohammed et al (2019) para el diseño de la mezcla utilizó grava como agregado grueso, como agregado fino arena de cantera y vidrio molido reciclado también se empleó un superplastificante de alto rendimiento tipo GyF en una proporción de 1% con la finalidad de mejorar la trabajabilidad del concreto sin alterar la relación a/c, determinó que se reduce la absorción de agua del concreto dando como resultado un punto máximo cuando se reemplazó con 25% de vidrio molido reciclado obteniendo un resultado de absorción de agua igual 0.67% el cual es inferior al resultado obtenido en la mezcla de control 1.03% de absorción de agua. Finalmente, para Anand & Yogesh (2020) para el diseño de la mezcla utiliza piedra angular como agregado grueso, como agregado fino arena del lecho del río de forma redondeada y vidrio molido reciclado, determinó que se reduce la absorción de agua del concreto obteniendo un punto máximo cuando se reemplazó con 30% de vidrio molido reciclado obteniendo un resultado de absorción de agua igual 2.7% el cual es inferior al resultado obtenido en la mezcla de control 4.50% de absorción de agua. Según Aliabdo et al (2016) para el diseño de la mezcla utiliza piedra caliza rosa triturada como agregado grueso, como agregado fino arena de sílice y vidrio molido reciclado. También se empleó un aditivo reductor de agua de rango alto TIPO G, determinó que se reduce la absorción de agua de la mezcla del concreto obteniendo un punto máximo cuando se reemplazó con 20% de vidrio molido

reciclado obteniendo un resultado de absorción de agua igual 4.6% el cual es inferior al resultado obtenido en la mezcla de control 6.30% de absorción de agua.

- Hipótesis Auxiliar

H0: Al analizar el porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino no reduce la absorción de agua en la mezcla del concreto.

H1: Al analizar el porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino si reduce la absorción de agua en la mezcla del concreto.

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula H0 y se acepta la hipótesis alterna H1, ya que en todos los casos la absorción de agua en la mezcla disminuye cuando se utiliza el vidrio molido reciclado ya que se obtiene una absorción menor a la mezcla patrón.

5.3.4 Al analizar el óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino mejora el asentamiento en la mezcla de concreto.

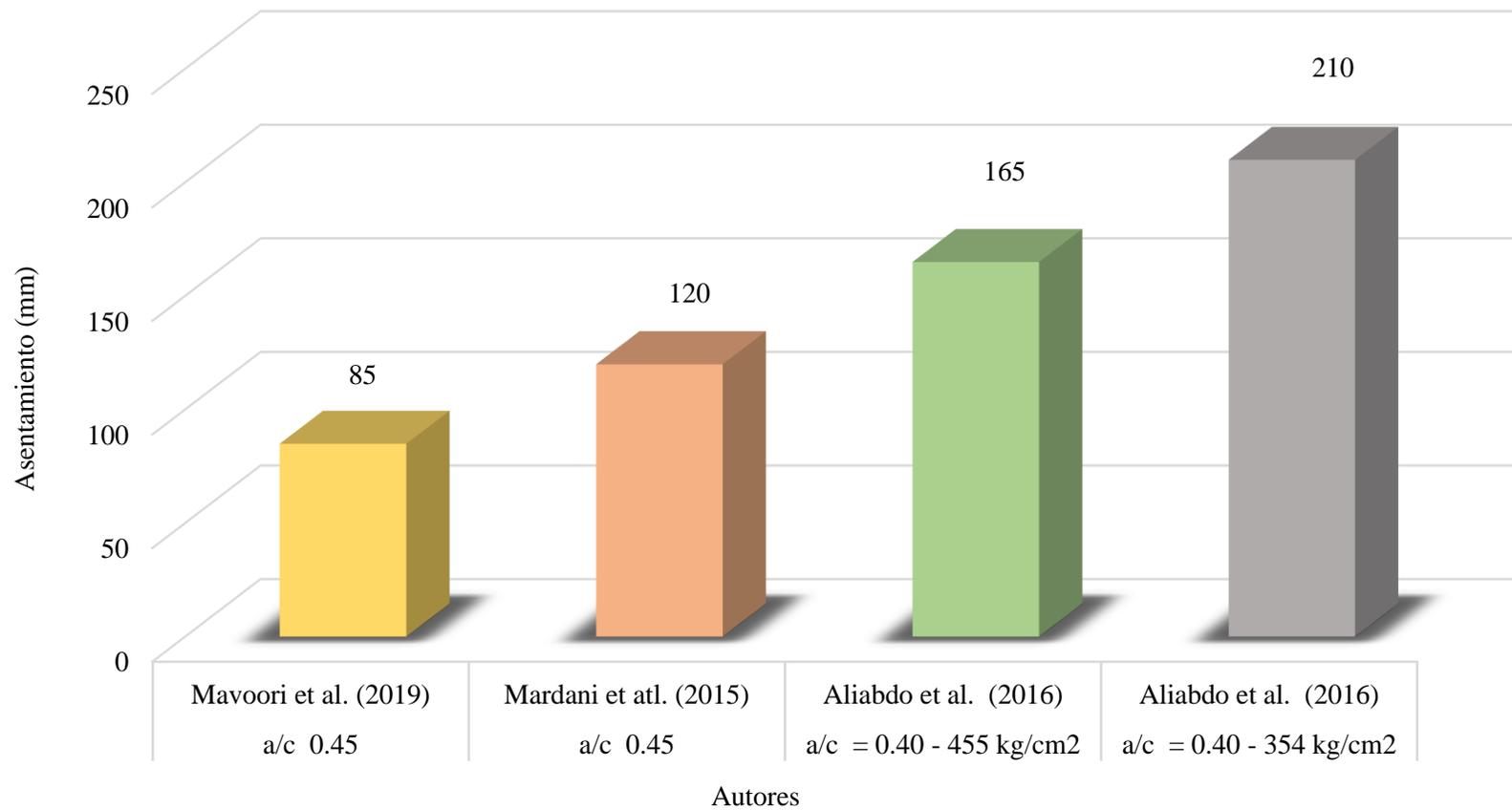


Figura 37: Resultado de la relación agua cemento respecto al asentamiento de la mezcla vs Autores

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar en la Figura 37, según Aliabdo et al (2016) determinó que para una relación $a/c=0.40$ y ensayos de resistencia de 354 kg/cm^2 y 455 kg/cm^2 los resultados del asentamiento obtenidos fueron de 210mm y 165mm respectivamente, determinaron que a medida que aumenta el reemplazo de vidrio en la mezcla del concreto el asentamiento incrementa respecto a la mezcla de control. Según Mardani et al (2015) determino que para la relación a/c de 0.45 presenta una mejora del asentamiento obteniendo un resultado igual a 120mm para un reemplazo del 60% de vidrio molido reciclado el cual es superior a la mezcla del control (105mm). De esta relación a/c también se puede deducir que para un porcentaje mayor a 45% el asentamiento presenta una estabilización. Según Mavoori et al (2019) con una relación a/c de 0.45 en donde en la mezcla ensayada se utilizó un aditivo superplastificante químico “Complast SP 430” también presento un aumento máximo del asentamiento para un porcentaje de reemplazo de vidrio molido de 15% obteniendo un asentamiento de 85mm representando un aumento respecto a la mezcla de control.

- Hipótesis Auxiliar

H0: Al analizar el óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino no mejora el asentamiento en la mezcla de concreto.

H1: Al analizar el óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino si mejora el asentamiento en la mezcla de concreto.

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula H0 y se acepta la hipótesis alterna H1, ya que a medida que aumenta la relación a/c respecto al vidrio molido reciclado presentan una mejora en el asentamiento del concreto independientemente del tipo de agregado utilizado y/o aditivo.

DISCUSIÓN

En la presente investigación se evaluaron y obtuvieron diferentes resultados de las propiedades físicas y mecánicas del concreto modificado con vidrio molido reciclado, en los cuales los tipos de vidrios que se empleo fue variado ya que fueron vidrios de desechos que se encuentran en vertederos de basura de alguna región o población.

En la investigación existió una gran variedad de resultados y esto es debido a que no se trabajó con vidrio de iguales características es decir algunos autores trabajaron con vidrios de colores, otros con un mixto de vidrios de botellas, vidrios planos y en realidad todo tipo de vidrio que se pueda encontrar en vertederos de desechos o demoliciones de estructuras.

En el ensayo de la resistencia a la compresión se determinó que los porcentajes óptimos de vidrio molido reciclado fluctúan en el rango del 5% al 20% obteniendo resultados de la resistencia a la compresión entre 295 kg/cm^2 y 465 kg/cm^2 respectivamente las cuales superan a sus respectivas mezclas de control en un rango del 5% al 26%, este rango se caracteriza por una variedad de agregados (gruesos y finos) y aditivos utilizados en el diseño de la mezcla del concreto a ensayar. Esto se debe a que los vidrios en polvo muestran que tienen un alto contenido de CaO , SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3 en el polvo. al mismo tiempo el cemento portland ordinario tiene casi el mismo contenido, pero con diferentes porcentajes según Chandra et al (2018).

En el ensayo RCPT se determinó que a medida que aumenta el porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino la carga aplicada se reduce obteniendo resultados de 3238C, 2500C, 1745C y 775C, los cuales son inferiores respecto a su mezcla de control en 53%, 59%, 37% y 3% respectivamente. Sin embargo, Savija & Babafemi (2018) obtuvo resultados de carga igual a 5750C, 4200C, 2500C y 2500C, los cuales son inferiores en 17%, 39%, 64% y 64% respecto a la mezcla de control.

En el ensayo de la absorción de agua en la mezcla de concreto a medida que aumenta el vidrio molido reciclado hasta en 60% de reemplazo se observa que disminuye la absorción obteniendo porcentajes de absorción igual a 4.6%, 4.38%, 2.75%, 2.70% y 0.67% los cuales son inferiores en 27%, 3%, 26%, 40% y 35% respecto al ensayo de control. Según Anand et al (2021) determina una reducción del porcentaje de absorción de agua en 14%, 21%, 25% y 27% respecto a su mezcla de control, lo cual india que al agregar vidrio se

produce una reacción puzolánica generando una reducción de poros y por ende la reducción de la absorción de agua en el concreto.

En el ensayo del asentamiento mediante la prueba del SLUMP se determinó que a medida que aumenta el porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino se obtiene los siguientes resultados de asentamiento igual a 85mm, 165mm, 120mm y 210mm los cuales superan a su mezcla de control en 37%, 14%, 57% y 15% respectivamente, de donde coincidimos con Kumar et al (2020) que concluye que la adición de polvo de vidrio con la sustitución parcial de agregados finos resultó en un aumento en la trabajabilidad.

CONCLUSIONES

1. En la investigación el vidrio molido reciclado como agregado fino, el vidrio cumple características similares al cemento por ende mejora las propiedades físicas y mecánicas del concreto, en el ensayo de la resistencia a la compresión se obtienen un resultado de 351 kg/cm^2 con un óptimo porcentaje del 20% el cual representa una mejora del 26%, en el ensayo RCPT(ensayo rápido de permeabilidad de cloruros) se observa que la menor carga obtenida es de 2500C para un porcentaje de remplazo de vidrio molido reciclado del 20% la cual determina una reducción del 59% respecto a la carga inicial aplicada, en el ensayo del asentamiento del concreto se observa que el mejor resultado es de 165mm para una relación a/c de 0.40 dando lugar a mejora del 57% del asentamiento y para la absorción de agua se determina que la mejor absorción de agua en el concreto es de 2.70% y se produce para un porcentaje óptimo del 30% que reemplaza el agregado fino por vidrio molido.
2. En el ensayo de la Prueba Rápida de Permeabilidad al Cloruro, se observa que al añadir vidrio molido reciclado como agregado fino en el concreto, se obtiene las cargas de 3238C, 2500C, 1745C y 775C, las cuales representan un decremento de 53%, 59%, 37% y 3% respecto a sus cargas aplicadas en el ensayo de control. De donde se obtiene que el mayor decremento de carga ocurre en un 59% para un porcentaje de remplazo de vidrio igual al 20% como agregado fino, dicho concreto fue diseñado con un agregado grueso de piedra caliza, un agregado fino de arena de sílice y aditivos reductores de agua e incorporadores de aire en 1651.7ml y 3.9ml por metro cubico de concreto respectivamente. Ver Figura 36
3. En el ensayo de la Resistencia a la Compresión a los 28 días de curado se determina que los resultados de la resistencia obtenidas son 295 kg/cm^2 , 342 kg/cm^2 , 351 kg/cm^2 , 465 kg/cm^2 y 469 kg/cm^2 las cuales superan en 5%, 5%, 26%, 15% y 5% a su ensayo de control respectivamente. Estos resultados permiten determinar el mejor aumento de la resistencia a la compresión que se obtiene para una resistencia de 351 kg/cm^2 con un óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino de 20% en el concreto ensayado.

4. En el ensayo de la absorción de agua en la mezcla del concreto, se obtiene los siguientes resultados al añadir vidrio molido reciclado como agregado fino es de 4.6%, 4.38%, 2.75%, 2.70% y 0.67% los cuales son inferiores en 27%, 3%, 26%, 40% y 35% respecto al ensayo de control. Por consiguiente, estos resultados permiten determinar que el 2.70% de absorción de agua representa el mejor resultado ya que presenta una reducción del 40% de la absorción de agua respecto a su mezcla de control, dicho porcentaje obtenido se determina para un 30% de reemplazo de vidrio molido reciclado como agregado fino en el concreto, Ver Figura 38.

5. En el ensayo del SLUMP para determinar el asentamiento, se obtiene los siguientes resultados del asentamiento igual a 85mm, 165mm, 120mm y 210mm los cuales superan a su mezcla de control en 37%, 57%, 14% y 15% respectivamente. Por consiguiente, de los resultados de la investigación nos permite determinar que el mejor resultado del asentamiento se produce para un asentamiento de 165mm el cual representa una mejora del 57% respecto a su ensayo patrón para una relación a/c de 0.40.

RECOMENDACIONES

1. Usar el vidrio molido reciclado como agregado fino para evaluar las propiedades físicas y mecánicas del concreto agregando dosificaciones inferiores al 5% con la finalidad obtener valores que beneficien y contrasten lo estudiado, ya que en la presente investigación la mayoría de autores utiliza el rango de reemplazo del vidrio entre 5% al 30%.
2. Para obtener una mezcla trabajable se debe usar el tamaño de partícula de vidrio de 0.75mm para tener un asentamiento de 81 mm y para mezclas muy trabajables se debe tomar en cuenta el tamaño de partícula de 0.125mm para tener un asentamiento de 173mm, ambas mezclas con 10% de vidrio molido reciclado.
3. Para tener buenos resultados en la resistencia a la compresión se debe utilizar el vidrio molido reciclado en porcentajes hasta máximo el 20% de reemplazo logrando así obtener las máximas resistencias, si agregamos más de ese porcentaje la resistencia a la compresión disminuye hasta en un 15.13%.
4. Para obtener la mayor durabilidad del concreto debe tener una dosificación de 20% de vidrio molido reciclado con un tamaño no mayor a 90mm, agregar piedra caliza como agregado grueso con lo cual la durabilidad aumenta hasta 59% con respecto a la carga coulomb presentado en el ensayo prueba rápida de penetración al cloruro(RCPT).
5. Para tener un concreto con una menor absorción de agua se debe reemplazar el 30% del agregado fino por el vidrio reciclado con un tamaño de partícula de 75um con lo cual obtenemos una reducción de agua hasta del 40% en el concreto.
6. Para futuras investigaciones realizar estudios del efecto que produce en el medio ambiente y costo de producción del cemento para el concreto con la finalidad de utilizar vidrio molido reciclado de vertederos de desecho y reducir la producción de cemento. Debido a que el cemento es gran responsable de emitir los gases de efecto invernadero en grandes cantidades.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Afshinnia K. & Prasada R. (2016). *Impact of combined use of ground glass powder and crushed glass aggregate on selected properties of Portland cement concrete. Eco-Efficient Concrete.* Construction and Building Materials. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.072>
- Aliabdo A., Elmoaty A. & Aboshama A. (2016). *Utilization of waste glass powder in the production of cement and concrete.* Construction and Building Materials. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.016>
- Anand Z. and Yogesh P. (2020). *Utilization of waste glass powder as a cementitious material in concrete.* Materials Science and Engineering. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1070/1/012040>
- Anant P. & Shahria A. (2016). *Physical and mechanical properties of cementitious composites containing recycled glass powder (RGP) and styrene butadiene rubber (SBR).* Construction and Building Materials. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.006>
- Arieta P. & Rengifo S. (2019). *Hormigón con vidrio molido y su relación con la resistencia a la compresión para controlar grietas y fisuras por contracción plástica.* Lima – Perú. Universidad Ricardo Palma, obtenido de https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/URP/2723/CIV-T030_70772424_T%20%20%20RENGIFO%20SALAZAR%20CESAR%20AUGUSTO.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Burak E. (2016). *Using Recycled Glass and Zeolite in Concrete Pavement to Mitigate Heat Island and Reduce Thermal Cracks.* Open Access. <https://doi.org/10.1155/2016/8526354>
- Cano J. (2017). *Análisis de mezclas de concreto con proporciones de vidrio molido, tamizado y granular como aditivo, a fin de aumentar la resistencia a la compresión del hormigón.* Universidad Libre Seccional Pereira, Colombia, obtenido de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/17082/ANALISIS%20DE%20MEZCLAS%20DE%20CONCRETO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Catalan C. (2013). *Estudio de la influencia del vidrio molido en hormigones grado h15, h20, y h30.* Universidad Austral de Chile, Chile. Obtenido de

- http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/2120/T033_46910453_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y (Catalan, 2013)
- Choi, S. Y., Choi, Y. S., Il, S. K., & Yang, E. I. (2018). *An experimental study on flexural behaviors of reinforced concrete member replaced heavyweight waste glass as fine aggregate under cyclic loading*. *Applied Sciences*, 8(11). <http://dx.doi.org/10.3390/app8112208>
- Collivignarelli M., Cillari G., Ricciardi P. & Carnival M. (2020). *The production of sustainable concrete with the use of alternative aggregates: A Review*. Feature papers in sustainable Use of the environment and resources. <https://doi.org/10.3390/su12197903>
- Conselho R., Sales F., Pazini E., Dos Santos J., Nelcy Mohallem D. & Paulino M. (2017). *Durability of Mortar Made with Fine Glass Powdered Particles*. *Advances in Materials Science and Engineering*. <http://dx.doi.org/10.1155/2017/3143642>
- Esmaeili, J., & Ammar Oudah AL-Mwanes. (2021). *Performance evaluation of eco-friendly ultra-high-performance concrete incorporated with waste glass-A review*. IOP Conferenc (Jamshid & Oudah, 2020)e Series. *Materials Science and Engineering*, 1094(1) doi:<http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/1094/1/012030>
- Eva M García, d. T., Alcalá-González, D., Más-López, M. I., García-Salgado, S., & Pindado, S. (2021). *Use of ecofriendly glass powder concrete in construction of wind farms*. *Applied Sciences*, 11(7), 3050. doi:<http://dx.doi.org/10.3390/app11073050>
- Felicitas. R & Vásquez D. (2019). *Influencia del tamaño de vidrio molido en la Resistencia a Compresión del concreto*. Trujillo – Perú. Universidad Privada del Norte, obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/21164>
- Horszczaruk E. & Brzozowski P. (2019). *Mechanical Properties of Mortars Containing Waste Glass*. *Periodica Polytechnica Architecture*. <https://doi.org/10.3311/PPar.12752>
- Huapaya T. & Valdivia F. (2019). *Uso de vidrio reciclado como adición en la elaboración de concreto $f'c=315 \text{ kg/cm}^2$ para obras portuarias, Lima – Perú*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, obtenido de https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/628257/Huapaya_TD.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Jan , H., Jeon, S., So, H. & So, S. (2015). *Propiedades de diferentes tamaños de partículas de polvo de vidrio de desecho de TFT-LCD reciclado como aglutinante de*

hormigón de cemento. REVISTA INTERNACIONAL DE INGENIERÍA Y FABRICACIÓN DE PRECISIÓN. doi: <https://doi.org/10.1007/s12541-015-0331-7>

- Jian L., Zhen D. & Chi P. (2017). *Combined use of waste glass powder and cullet in architectural mortar*. Cement and Concrete Composites. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.05.011>
- Kamali M. & Ghahremaninezhad A. (2015). *Effect of glass powders on the mechanical and durability properties of cementitious materials*. Construction and Building Materials. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.06.010>
- Kashani A., Ngob T. & Hajimohammadia A. (2019). *Effect of recycled glass fines on mechanical and durability properties of concrete foam in comparison with traditional cementitious fines*. Cement and Concrete Composites. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.03.004>
- Ke G., Li W., Li R., Li Y. and Wang G. (2018). *Mitigation Effect of Waste Glass Powders on Alkali-Silica Reaction (ASR) Expansion in Cementitious Composite*. International Journal of Concrete Structures and Materials. <https://ijcsm.springeropen.com/articles/10.1186/s40069-018-0299-7>
- Kishan J., Gaurav S. & Kumar L. (2020). *Durability performance of waste granite and glass powder added concrete*. Construction and Building Materials. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119075>
- León R. & Rázuri C. (2020). *Resistencia a la Compresión de un concreto agregando vidrio reciclado finamente molido*. Trujillo – Perú. Universidad Cesar Vallejo, obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/47498>.
- Letelier V., Henríquez B., Manosalva M., Parodi C. & Ortega J. (2019). *Use of Waste Glass as A Replacement for Raw Materials in Mortars with a Lower Environmental Impact*. Energies. <https://doi.org/10.3390/en12101974>
- Malek M., Lasica W., Jackowski M. & Kadela M. (2020). *Efect of Waste Glass Addition as a Replacement for Fine Aggregate on Properties of Mortar*. Materials. <https://doi.org/10.3390/ma13143189>
- Mallum I., Rahman A., Nor A. & Omolayo N. (2021). *Sustainable Utilization of Waste Glass in Concrete: a Review*. Accesses. <https://doi.org/10.3133/mcs2020>
- Mardani A., Tuyan M. & Ramyar K. (2014). *Mechanical and durability performance of concrete incorporating fine recycled concrete and glass aggregates*. Materials and Structures. <https://doi.org/10.1617/s11527-014-0342-3>

- Mardani-Aghabaglou, A., Tuyan, M., & Ramyar, K. (2015). *Mechanical and durability performance of concrete incorporating fine recycled concrete and glass aggregates*. *Materials and Structures*, 48(8), 2629-2640. doi:<http://dx.doi.org/10.1617/s11527-014-0342-3>
- Mohammed Y., Sheelan H. & Akram M. (2019). *Effectiveness of Glass Wastes as Powder on Some Hardened Properties of Concrete*. *Al-Nahrain Journal for Engineering Sciences*. . <https://doi.org/10.29194/NJES.22010014>
- NTP 339.034. (2018). (HORMIGÓN) CONCRETO. *Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas*. Lima.
- NTP 339.035. (2009). HORMIGÓN (CONCRETO). *Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland*. Lima.
- NTP 400.012. (2013). AGREGADOS. *Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global*. Lima.
- Olofinnade O., Ndambuki J., Ede A. & Booth C. (2017). *Application of Waste Glass Powder as a Partial Cement Substitute towards more Sustainable Concrete Production*. *International Journal of Engineering Research in Africa*. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JERA.31.77>
- Paredes B. (2019). *Análisis de la resistencia a la compresión $F'c=210 \text{ kg/cm}^2$ con adición de vidrio reciclado molido*. Tarapoto – Perú. Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto. <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3339?show=full>
- Patel D., Tiwari R., Shrivastava R., Yadav R. (2019). *Effective utilization of waste glass powder as the substitution of cement in making paste and mortar*. *Construction and Building Materials*.
- Peñañiel D. (2016). *Análisis de la resistencia a la compresión del hormigón al emplear vidrio reciclado molido en reemplazo parcial del agregado fino*. Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/23038/1/Tesis%20%201011%20-%20Pe%C3%B1a%C3%B1iel%20Carrillo%20Daniela%20Alejandra.pdf>
- Raju, A., Anand, KB. & Rakesh, P. (2020). *Reemplazo parcial del cemento Portland ordinario por polvo de vidrio LCD en concreto*. *Materialtoday: proceedings*.doi: <https://doi.org/10.1155/2017/3928047>
- Rivera B. (2018). *Diseño del concreto de $F'c 210\text{kg/cm}^2$ con vidrio molido (sódico cálcico) como reemplazo del agregado fino, para mejorar la resistencia a la*

- compresión. Lima – Perú, Universidad Cesar Vallejo, obtenido de*
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/35134>
- Rojas J. (2015). *Estudio experimental para incrementar la resistencia de un concreto de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ adicionando un porcentaje de vidrio sódico cálcico.* Universidad Privada Antenor Orrego.
<https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/2040>
- Ruiz, E. & Matías, R. (2016). *Ensayos de resistencia y permeabilidad de probetas de hormigón con reemplazo parcial de cemento por vidrio de desecho finamente molido.* Jornadas argentinas de Ingeniería estructural.
- Romero Q. & Hernández R. (2014). *Diseño de mezclas de hormigón por el Método A.C.I. y efectos de la adición de cenizas volantes de termotasajero en la Resistencia a la Compresión.*
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/915/Diseno%20de%20mezclas%20de%20hormigon%20por%20el%20metodo%20a.c.i..pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Suvash P., Savija B. & and Adewumi J. (2018). *A comprehensive review on mechanical and durability properties of cement based materials containing waste recycled glass.* Journal of Cleaner Production.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.095>
- Tamanna, N., Tuladhar, R. & Sivakugan, N. (2020). *Performance of recycled waste glass sand as partial replacement of sand in concrete.* Construction and Building Materials, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117804>
- Trezza, M. A., & Rahhal, V. F. (2019). *Self-activation of slag-cements with glass waste powder.* Materiales De Construcción, 69(336) doi: <http://dx.doi.org/10.3989/mc.2019.13618>
- Zheng K. (2019). *Recycled glass concrete.* Eco-Efficient Concrete, doi: 10.1533/9780857098993.2.241

ANEXOS

ANEXO 1: Matriz de Consistencia

ANEXO 1: Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	ÍNDICE	METÓDO
1. Problema principal	2. Objetivo General	3. Hipótesis General	Independientes		
¿En qué medida influye el vidrio molido reciclado como agregado fino para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto?	Analizar el uso de vidrio molido reciclado para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto	Al analizar el uso de vidrio molido reciclado como agregado fino se mejoran las propiedades físicas-mecánicas del concreto.	Vidrio molido reciclado	Porcentaje de vidrio molido Relación a/c	El método de investigación es cuantitativo ya que recopila información de tablas y gráficos
1.1 Problema Especificos	2.1 Objetivos específicos	3.1 Hipótesis Especificas	Dependientes		
¿En qué medida el porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino influye en la resistencia a la compresión del concreto?	Analizar el óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino para aumentar la resistencia a la compresión del concreto.	Al analizar el óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino aumenta la resistencia a la compresión del concreto.		Trabajabilidad del concreto	
¿En qué medida el porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino influye en la durabilidad del concreto?	Analizar el óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino para aumentar la durabilidad del concreto.	Al analizar el óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino se aumenta la durabilidad del concreto.			
¿En qué medida el porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino influye en el asentamiento en la mezcla de concreto?	Analizar el óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino se mejora el asentamiento de la mezcla de concreto	Al analizar el óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino se mejora el asentamiento de la mezcla de concreto	Propiedades física - mecánicas del concreto	Resistencia del concreto	
¿En qué medida el porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino influye en la absorción del agua en la mezcla del concreto?	Analizar el óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino para reducir la absorción del agua en la mezcla del concreto.	Al analizar el óptimo porcentaje de vidrio molido reciclado como agregado fino se reduce la absorción del agua en la mezcla del concreto.			El tipo de investigación es descriptiva, ya que explicará las propiedades físicas-mecánicas del concreto al agregar vidrio reciclado molido

Fuente: Elaboración propia