

Concrete of 210 kg/cm² with Addition of Recycled Glass Before Pathogenic Agents

Junior Jesús Gonzaga Toribio, Bach.¹; Henry Josué Villanueva Bazán, Mg.²

¹ Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú. N0002386@upn.edu.pe

² Universidad Privada del Norte, Lima, Perú. henry.villanueva@upn.edu.pe

Abstract– Abstract– This investigation was carried out with the purpose of analyzing the compressive strength of concrete $f'c=210$ kg/cm² with recycled glass added in percentages of 5%, 10% and 15% and exposed to sulfuric acid during the process of cured. 108 test tubes were analyzed and applied in 4 groups of 27 according to control design, 5%, 10% and 15%; Inclusion and exclusion techniques were used as the basis for this research. As data collection instruments, formats were used to support the tests carried out in the laboratory, in order to synthesize and organize the relevant information. Finally, the results of the resistance of the 108 test tubes were analyzed, concluding that the resistance increased according to the age of curing and the percentage added.

Keywords: recycled glass, resistance $f'c=210$ kg/cm², sulfuric acid.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

Concreto de 210 kg/cm² con Adición de Vidrio Reciclado Ante Agentes Patógenos

Junior Jesus Gonzaga Toribio, Bach.¹; Henry Josué Villanueva Bazán, Mg.² 

¹ Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú. N00023866 @upn.edu.pe

² Universidad Privada del Norte, Lima, Perú. henry.villanueva@upn.edu.pe

Resumen– Esta investigación se realizó con el propósito de analizar la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210$ kg/cm² con vidrio reciclado adicionado en porcentajes de 5%, 10% y 15% y expuestas en ácido sulfúrico durante el proceso de curado. Se analizaron y aplicaron 108 probetas en 4 grupos de 27 según diseño de control, 5%, 10% y 15%; se utilizaron técnicas de inclusión y exclusión que sirvieron de base para esta investigación. Como instrumentos de recolección de datos se utilizaron formatos como apoyo de los ensayos ejecutados en laboratorio, con la finalidad de sintetizar y organizar la información relevante. Finalmente, se analizaron los resultados de las resistencias de las 108 probetas, concluyendo que la resistencia aumentó según la edad de curado y porcentaje adicionado.

Palabras clave: vidrio reciclado, resistencia $f'c=210$ kg/cm², ácido sulfúrico.

I. INTRODUCCIÓN

Dentro del ámbito de la construcción, el concreto es el material más usado en todo el mundo, lo que implica que la demanda ante la explotación y utilización de productos naturales va en aumento. Frente a ello, este sector busca continuamente oportunidades de mejora iniciando a estudiar el uso de materiales no convencionales en las mezclas de concreto, empleando fibras de polipropileno, viruta de acero, vidrios reciclados, entre otros; ya que, mediante su aplicación, ayudan a minimizar las emisiones de contaminación del medio ambiente [1].

Una de las principales alternativas, es la reutilización de los desechos de vidrio, pues es uno de los problemas más importantes en todo el mundo debido al aumento de residuos consistentes en los botaderos y la naturaleza no degradable de su eliminación.

Ciertas investigaciones indican que el vidrio puede tener propiedades mecánicas que ayudan a la resistencia del concreto, y térmicas según su composición química y tratamientos térmicos. En general se caracteriza por ser un material duro, frágil, transparente resistente a la corrosión, al desgaste, a la impermeabilización y a la compresión. Asimismo, reduce las emisiones del CO₂, las cuales son provocadas durante su producción o fabricación [2].

Es por eso que, el uso de vidrio reciclado ha despertado gran interés para emplearlo como reemplazo parcial en el agregado fino, agregado grueso e incluso del cemento en las mezclas de concreto, siguiendo técnicamente las

especificaciones por las Normas Técnicas Peruanas, el Comité ACI 211.1 e investigaciones realizadas a nivel nacional e internacional [3].

Dentro de estas normativas, se enfatiza el rol y la importancia que las propiedades del concreto deben cumplir en un diseño de mezcla de acuerdo a los parámetros de diseño establecidos, ya que así y solo así, se obtendrá una óptima resistencia del concreto. Es decir, se debe considerar las condiciones de servicio que soportará la estructura de concreto, los requerimientos de durabilidad según las características y propiedades de los agregados por medio de un adecuado control de calidad [4].

Es así que, la presente investigación tiene como objetivo principal, realizar un diseño de mezcla de concreto con Resistencia a la compresión $f'c$ de 210 kg/cm², adicionado con 5%, 10% y 15% de vidrio reciclado en diferentes proporciones. Asimismo, poder conocer qué agentes patógenos se presentan en comparación con un diseño de mezcla de patrón o de control directamente convencional (sin adición de vidrio reciclado). Dicha finalidad es la de conocer la comparación de los valores de resistencia a la compresión cuando se adiciona porcentajes de vidrio reciclado.

Según [5], indica que, estudios realizados en el Departamento de estructuras de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas, y Naturales, UNC, de la ciudad de Córdoba – Argentina; obtuvieron resultados satisfactorios en el comportamiento de mezclas de concreto al reemplazar cierto porcentaje del cemento por vidrio reciclado finamente molido, ya que las reacciones puzolánicas que se da entre las micro partículas de vidrio y la cal liberada en la hidratación primaria del cemento, generaron compuestos CSH secundarios.

Asimismo [6], manifiesto que la Escuela Politécnica Nacional de Quito – Ecuador, analizó la resistencia a la compresión del concreto utilizando vidrio molido reciclado, respetando su granulometría de acuerdo con las normas técnicas establecidas de su país. Al lograr resultados positivos, concluyeron que el aumento del porcentaje del vidrio reemplazante por el agregado fino en la mezcla de concreto, puede permitir disminuir la proporción de cemento a utilizar, dicha conclusión se origina ya que la partícula del vidrio al tener mayor tamaño, la superficie específica disminuye, solicitando menor proporción de cemento para cubrirla.

Por otro lado, [1]. indicó que la Universidad de Michigan – Estados Unidos; realizó diversos estudios al concreto, con la finalidad de conocer su calidad, en cuanto a su resistencia mecánica, su resistencia ante la presencia de agua, durabilidad y respecto a su composición al adicionar vidrio molido reciclado de un tamaño de 13 μm , con la metodología de aplicar un porcentaje de vidrio en cada proceso desde el 15% al 23%. de acuerdo a las normas ASTM. Logrando un concreto compatible respecto al de composición normal., esto demuestra que la adición de vidrio molido reciclado, mejora la resistencia, brindando mayor durabilidad al concreto. Otra de las características resultantes ha sido la de la resistencia a la abrasión y resistencia a largo plazo con un contenido aplicado de 20% de vidrio molido reciclado.

En Perú, [7]. elaboró 27 probetas: 9 probetas patrón o de control 0% adicionado, 9 probetas con 5% y 9 probetas con 10% adicionado de vidrio molido reciclado. Concluyó que, el vidrio molido tiene comportamiento como material cementante al tener más del 80% de sus componentes al óxido de silicio; lo cual facilita su uso en la elaboración del concreto y es el responsable de las altas resistencias que tienen los concretos experimentales con la sustitución del agregado fino en un 5% y 10% por vidrio molido.

Según [8]. analizó la resistencia a compresión de probetas cilíndricas de concreto con composición de vidrio molido reciclado, sustituyendo parcialmente al agregado fino para una resistencia f'_c de 210 kg/cm^2 . Se estableció el ensayo de granulometría correspondiente a áridos finos, comprobando que los tamaños de partícula conseguidos están dentro de los límites otorgados por ASTM C33. Se elaboraron 45 probetas cilíndricas de concreto con porcentajes de 10%, 20%, 30% y 40% de vidrio molido reciclado añadido en la mezcla de concreto, cumpliendo posteriormente con el respectivo curado de probetas y ensayadas a compresión tres cilindros para cada porcentaje de vidrio adicionado a la mezcla de concreto, en edades de 7, 14 y 28 días, obteniendo finalmente buenos resultados en cuanto a su resistencia a la compresión.

Ante ello, [8]. recomienda utilizar un 40% de vidrio molido como peso reemplazante del agregado fino, siendo éste el que permite obtener mayores resistencias a edades a partir de los 14 días donde se empiezan a dar las reacciones. Este estudio aporta a la investigación mostrando un porcentaje óptimo de vidrio que se debe utilizar, y la edad a la que éste resulta beneficioso para la resistencia a la compresión, a la vez sirve de base para realizar los estudios a edades avanzadas, tomando como referencia los porcentajes de vidrio desarrollados en esta investigación.

Según, [9]. evaluó la resistencia mecánica del concreto incorporando un 20% de vidrio reciclado al concreto como agregado fino, teniendo como resultado una resistencia de 22.15 MPa (225.87 kg/cm^2), comparado con la resistencia promedio de la muestra patrón o de control de 20.83 MPa (212.41 kg/cm^2). a la edad del concreto de 28 días de curado.

Se concluyó que, la resistencia a compresión del concreto incorporando vidrio reciclado es 6.00% más resistente que el concreto tradicional; no obstante, al agregar 30% de vidrio reciclado molido y tamizado, la resistencia mecánica es de 20.57 MPa (209.76 kg/cm^2) disminuyendo en 1.50% con respecto a la muestra de control.

Por lo tanto, la presente investigación se centra en analizar la resistencia a la compresión del concreto $F'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ con adición de vidrio reciclado molido, mediante proporciones de prueba en porcentajes de vidrio de 5%, 10% y 15% respecto al agregado fino aprovechando el origen, las características de éste y a la vez proporcionándole utilidad (reutilización), con exposición y sin exposición al ácido sulfúrico (sulfato de magnesio) durante el proceso de curado de los especímenes de concreto. Formulando la hipótesis que, mediante la adición de vidrio, la resistencia a la compresión del concreto se incrementará con respecto al concreto patrón o de control.

Cabe resaltar que las características del concreto pueden tener una gran variación considerable, dependiendo del control de sus ingredientes que preferentemente está constituido por la mezcla apropiada de cemento, agregado fino (arena), agregado grueso (piedra chancada) y agua [10].

CONCRETO. - Material desarrollado a partir de la unión de los materiales: cemento (NTP 334.009, 2005), agregado fino (NTP 400.037, 2014), agregado grueso (NTP 400.037, 2014), agua (NTP 339.088, 2014) y en algunos casos aditivos (siempre y cuando sea necesario).

Al mezclarse el agua con el cemento, forman una pasta que rodea cada partícula de agregado, conllevando a las pocas horas, su endurecimiento. Este proceso es debido a la hidratación, que es una reacción química entre el cemento y el agua, la cual, la pasta une entre sí las partículas del agregado, formando una masa resistente, durable y sólida [11].

PROPIEDADES DEL CONCRETO

Se encuentran en estado fresco y en estado endurecido, pero debido que todas las propiedades en estado endurecido dependen específicamente de las características en estado fresco, se considera más relevantes las propiedades o características en estado fresco (fraguado), pues es de suma importancia cumplir y establecer según normativas vigentes los procesos de mezclado, transporte, compactación, colocación, terminado y a la vez de las mediciones y factores que las afecten para un adecuado control [1].

ESTADO FRESCO

TRABAJABILIDAD. - Esta propiedad se caracteriza por tener facilidad de manipulación [16], mezclado de los ingredientes del concreto, y comodidad para ser transportado y colocado en obra, con medios de compactación correspondiente en atención a la mínima pérdida de homogeneidad (exudación o segregación)

Mediante la aplicación se puede medir su consistencia o fluidez de la mezcla según el ensayo de asentamiento con el cono o

slump. Cabe resaltar que dicho ensayo no permite medir la trabajabilidad del concreto, sino que ayuda a determinar la consistencia o fluidez de la mezcla.

ESTADO ENDURECIDO

RESISTENCIA A COMPRESIÓN. - Es la medida máxima de resistencia a la carga axial de especímenes de concreto [16], tiene como unidades expresadas de kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm²), en megapascales (MPa) y/o también en p.s.i. (lb/in²).

Según [12], indica que existen reglamentos donde establecen su valor del concreto a una edad de 28 días). Ante el aumento tardío de la resistencia respecto al tiempo, se considera un patrón de relaciones, las cuales en los últimos años han venido alterándose debido a la incorporación de algunos aditivos y puzolanas en la fabricación del cemento. Es por ello que la edad del concreto y las proporciones de los componentes con los que se realicen las mezclas, influyen como resultado en la resistencia diseñada.

RESISTENCIA A SULFATOS

Se define como la resistencia que presenta el concreto ante ataques químicos y físico químicos de sulfatos externos. Se conoce que entre los sulfatos comunes como: el sulfato de magnesio, el sulfato de sodio, el sulfato de calcio, entre otros; pueden desarrollarse de forma natural ya sea en el suelo, en aguas subterráneas, zonas costeras, en químicos de desecho, entre otros.

Es decir [18], es el resultado de la reacción química de la matriz de cemento, con agentes agresivos que penetran en el interior del concreto, las principales reacciones involucradas son: la formación de etringita (mineral sulfato) y la descalcificación. Estas reacciones químicas dan como resultado el agrietamiento, expansión y/o la pérdida de resistencia, asimismo, de las propiedades elásticas del mismo.

PATOLOGÍA DE DETERIORO EN EL CONCRETO

La clasificación y fases patológicas en las edificaciones de concreto son de suma importancia, puesto que con el transcurrir del tiempo, las estructuras van presentando manifestaciones que deben ser atendidas con prioridad.

Una de las fases más importantes dentro de la clasificación patológica, es la “fase por deterioro” pues, es la fase inicial que afecta al concreto por exposición al medio ambiente, los ciclos continuos de lluvia y sol (variación de temperatura), el contacto con sustancias químicas presentes en el agua (reacciones acidas y alcalinas), la cual indica que la estructura está o se encuentra debilitada continuamente.

VIDRIO

Fluido con viscosidad muy alta, de aspecto frágil y transparente. Compuesta por la mezcla de óxidos metálicos, donde su principal componente es el óxido de sílice conocido como silicio (Si O₄), derivado de arena, pedernal o cuarzo.

Las propiedades del vidrio común, son una función tanto de la naturaleza, de las materias primas como de la composición química del producto obtenido.

TABLA 1
COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL VIDRIO

NOMENCLATURA QUÍMICA	NOMBRE DEL COMPUESTO	% PRESENTE EN EL VIDRIO
SiO	Oxido de silicio	72.5
AlO ₃	Trióxido de aluminio	0.4
CaO	Óxido de calcio	9.7
Fe ₂ O ₃	Trióxido de hierro	0.3
MgO	Oxido de magnesio	3.3
Na ₂ O	Óxido de sodio	13.7
K ₂ O	Óxido de potasio	0.1

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Enfoque, tipo y diseño de la investigación

La presente investigación es aplicada, explicativa con enfoque **cuantitativo**, ya que se aplicaron nuevas tecnologías implicadas en el diseño de mezcla, cumpliendo con la normatividad y los estándares de calidad especificadas en la Norma Técnica Peruana y las normas ASTM. El tipo de investigación es **experimental**. Según [13], menciona que una investigación es de tipo experimental cuando se adiciona materiales de reciclaje en la composición del concreto, permitiendo establecer la finalidad factible y práctica de su uso, que pueden ser considerados en obras civiles, como material alternativo, analizando la resistencia a la compresión de un concreto patrón y con adición de vidrio molido, mediante ensayos de laboratorio, se obtendrán resultados numéricos, en las diferentes resistencias alcanzadas. Es considerada como nivel de investigación **aplicativa**, pues emplear normas estandarizadas y busca analizar un comparativo entre el tipo de diseño de mezcla patrón o de control con resistencia a la compresión del concreto f'c de 210 kg/cm² y el tipo de diseño de mezcla adicionado en el agregado fino en proporciones de 5%, 10% y 15% de vidrio reciclado molido (expuesto y no expuesto a ácido sulfúrico durante el proceso de curado). El diseño de investigación con manipulación intencional de las variables independientes, con medición del efecto de la variable independiente y con control interno de la situación experimental.

B. Población y muestra

La presente investigación, es de representación no probabilística no estadística por conveniencia, ya que, para desarrollarla, se considera como requerimiento el tipo de material en estudio, es decir, el concreto con resistencia f'c= 210 kg/cm², y la adición de vidrio reciclado en proporciones

porcentuales y por ello, es considerada como una elección por conveniencia.

El objeto de estudio o muestra, se considera a las probetas cilíndricas de concreto, siguiendo el procedimiento en la elaboración de la mezcla, curado y rotura de los especímenes en con normas estandarizadas ASTM y NTP, se ha creído conveniente elaborar 108 probetas, las cuales 27 especímenes cilíndricos son muestras de concreto convencional y 81 especímenes cilíndricos son muestras de concreto con adición de vidrio reciclado en proporción de 5%, 10 % y 15% en relación al agregado fino) las cuales serán sometidas a la resistencia a la compresión en edades de 7,14 y 28 días según la Norma Técnica Peruana 339.034.

Para la selección del porcentaje de adición de vidrio reciclado, se tuvo en cuenta algunos: [7]. en su investigación escogió sustituir 5% y 10% de vidrio reciclado. [8]. en su investigación indicó que la resistencia del concreto aumenta hasta un máximo del 40% de vidrio reciclado reemplazando al agregado fino. Asimismo [14]. indica que al usar un 30% y 50% de vidrio reciclado sustituido, la resistencia del concreto disminuye.

Ante lo expuesto, se ha creído conveniente utilizar la sustitución del 5%, 10 % y 15% respecto al agregado fino.

TABLA 2

DISTRIBUCIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS EN EDADES DE 7, 14 Y 28 DÍAS DE CURADO, QUE SERÁN SOMETIDAS A LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN AXIAL.

Concreto	Edades de curado			PARCIAL (Unidades)
	7 días	14 días	28 días	
Muestras patrón o de control	3	3	3	9
Muestras Patrón o de control (expuestas)	6	6	6	18
Muestras con adición de 5% de vidrio reciclado	3	3	3	9
Muestras con adición de 5% de vidrio reciclado (expuestas)	6	6	6	18
Muestras con adición de 10 % de vidrio reciclado	3	3	3	9
Muestras con adición de 10 % de vidrio reciclado (expuestas)	6	6	6	18
Muestras con adición de 15 % de vidrio reciclado	3	3	3	9
Muestras con adición de 15 % de vidrio reciclado (expuestas)	6	6	6	18
TOTAL, DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS				108

Nota: se muestra la distribución de especímenes cilíndricos, de cada 9 muestras de patrón o adicionado, 6 son expuestas a sulfatos y 3 sin exposición de sulfatos.

La técnica utilizada para la recolección de datos es la revisión documental, basada en diversos estudios, antecedentes y propuestas a cerca de viviendas sostenibles para otras zonas de Latinoamérica, ya que estas realidades son similares al Perú.

El instrumento de recolección de datos es una ficha resumen, mediante la cual se organizaron los datos principales, metodologías utilizadas y resultados de otras investigaciones, de las cuales se obtuvo la información necesaria para cumplir con el objetivo actual de la investigación de determinar la resistencia a la compresión de un concreto patrón y expuesto a agente patógenos con la adición de vidrio reciclado.

C. Técnicas e instrumentos de análisis de datos

Se ha considerado utilizar como fuente: los ensayos de investigación; como técnica: la observación directa y análisis documental (normas, antecedentes, etc); y como instrumentos: análisis documental mediante fichas de registro (protocolos).

D. Procedimientos

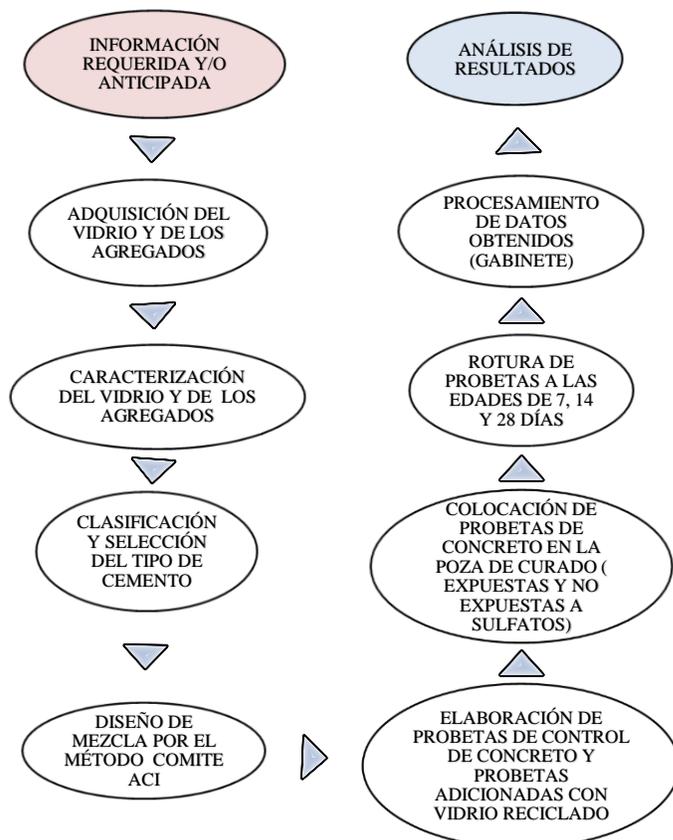


Fig. 1 Fases del desarrollo de investigación

TABLA 3
NORMAS DE LOS ENSAYOS A UTILIZAR

ENSAYO	NORMAS
Análisis Granulométrico del Agregado Fino y Agregado Grueso global	NTP 400.012 - ASTM C136).
Método de prueba estándar para Densidad Relativa (gravedad específica) y Absorción de agregado fino	NTP 339.022 - ASTM C128-15
Método de prueba estándar para Densidad Relativa (gravedad específica) y Absorción de agregado grueso	NTP 339.021 - ASTM C127-15
Método de prueba estándar para Peso Unitario del agregado fino y agregado grueso	NTP 400.017 - ASTM C29-97
Contenido de Humedad evaporable de los Agregados	NTP 339.185 - ASTM C566 -19
Determinación del material más fino que pasa el tamiz N°200	NTP 400.018 - ASTM C117
Resistencia al desgaste del agregado grueso de tamaño mayor por Abrasión e Impacto en la máquina Los Ángeles	NTP 400.019 2002 - ASTM C131).

Nota: Los ensayos y normas fueron consultadas y basadas en La Norma Técnica Peruana y normas ASTM.

TABLA 4
REQUISITOS PARA CONCRETO EXPUESTO A SOLUCIONES DE SULFATOS

Exposición a sulfatos	Sulfato soluble en agua (SO ₄) presente en el suelo, porcentaje en peso	Sulfato (SO ₄) en el agua, ppm	Tipo de Cemento	Relación máxima agua - material cementante (en peso) para concretos de peso normal	f'c mínimo (Mpa) para concretos de peso normal y ligero*
Insignificante	$0,0 \leq SO_4 < 0,1$	$0 \leq SO_4 < 150$	-	-	-
Moderada	$0,1 \leq SO_4 < 0,2$	$150 \leq SO_4 < 1500$	II, IP(MS), IS(MS), P(MS), I(PM)(MS), I(SM)(MS)	0,50	28
Severa	$0,2 \leq SO_4 < 2,0$	$1500 \leq SO_4 < 10000$	V	0,45	31
Muy severa	$2,0 < SO_4$	$10000 < SO_4$	Tipo V más puzolana	0,45	31

Nota: El concreto que va a estar expuesto a soluciones o suelos que contengan sulfatos debe cumplir con los requisitos de la Tabla 3, ya que el concreto debe estar hecho con un cemento que proporcione resistencia a los sulfatos y que tenga una relación agua-material cementante máxima y un f'c mínimo. Norma Técnica de Edificación E.060 Concreto Armado. Lima: Gerencia de Investigación y Normalización del SENCICO.

Al realizar la exposición de los especímenes cilíndricos de concreto en la poza de curado, se realizaron las relaciones de proporción según los datos establecidos en la tabla anterior, se vertió un peso de 5.350 kg en una poza de curado de 1.072 m³ de capacidad, con una relación de 4.99 kg de sulfato de magnesio por 1 m³, colocando al concreto a una exposición de agentes patógenos.

III. RESULTADOS

El análisis comparativo de la resistencia a la compresión promedio de las probetas expuestas y no expuestas al sulfato de magnesio a las edades de 7,14 y 28 días, con los resultados de la resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto de control y de los especímenes cilíndricos de concreto con adición del 5%, 10% y 15% de vidrio reciclado, expuestos y no expuestos a ácidos sulfúricos (sulfato de magnesio), se presentan.

TABLA 5
ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO EN EDADES DE 7, 14 Y 28 DÍAS DE CURADO (EXPUESTA Y NO EXPUESTA A SULFATO DE MAGNESIO)

ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO EN EDADES DE 7, 14 Y 28 DÍAS DE CURADO (Kg/cm ²)				
N°	DESCRIPCIÓN	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS
CONTROL	PROBETAS .CONTROL	182.60	190.47	222.40
	P. CONTROL (EXPUESTO)	175.35	175.75	214.87
ADICIÓN 5%	PROBETAS.5% ADIC.	181.73	190.50	232.57
	P. 5% ADIC. (EXPUESTO)	180.42	189.78	219.05
ADICIÓN 10%	PROBETAS.10% ADIC.	186.33	203.97	243.37
	P. 10% ADIC. (EXPUESTO)	185.83	200.75	239.53
ADICIÓN 15%	PROBETAS.15% ADIC.	196.87	216.87	256.47
	P. 15% ADIC (EXPUESTO)	193.82	214.93	255.02

Nota: Cuando comparativo entre resultados de las probetas en diferentes diseños con y sin exposición en edad de 7,14 y 28 días

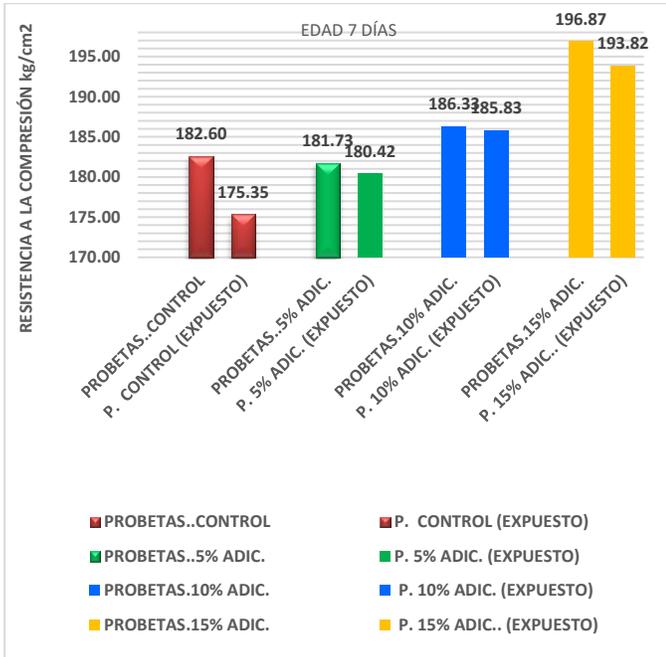


Fig. 2 Nota: Análisis de la Resistencia a la Compresión Promedio a Edad de 7 días de curado (expuesta y no expuesta a sulfato de magnesio)

En la Fig. 2, se puede observar que las probetas de control a los 7 días llegan al porcentaje mínimo requerido y las probetas expuestas disminuyen su resistencia a la compresión, pero no es muy significativa.

En la Fig. 3 se puede observar que a los 14 días la tendencia es la misma que a los 7 días, por lo que los especímenes de control están dentro del porcentaje de la resistencia requerida y los expuestos no varían mucho en su resistencia a la compresión al no estar expuestos.

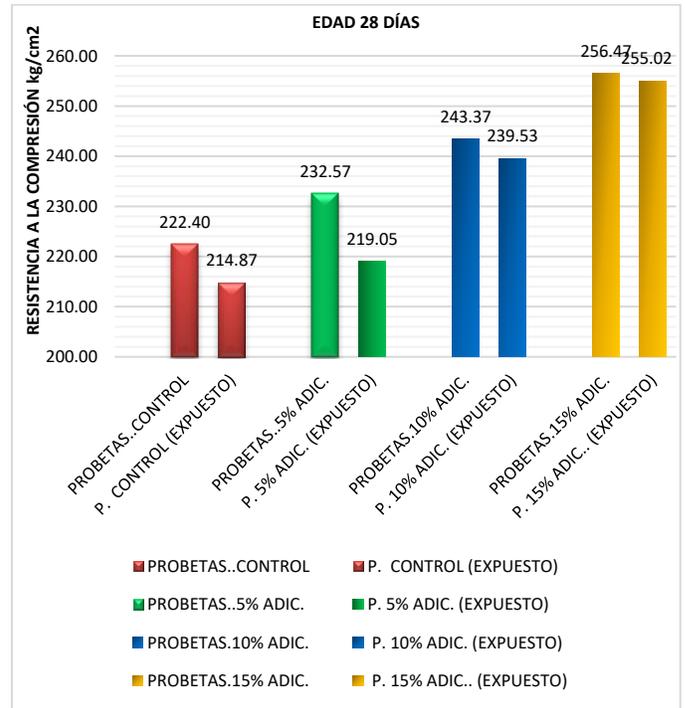


Fig. 4 Resistencia a la Compresión Promedio a Edad de 28 días de curado (expuesta y no expuesta a sulfato de magnesio)

Se observa en la Fig. 4 que los especímenes de control superan la resistencia requerida y los especímenes expuestos también con la diferencia de que los valores de resistencia promedio no son muy significativos.

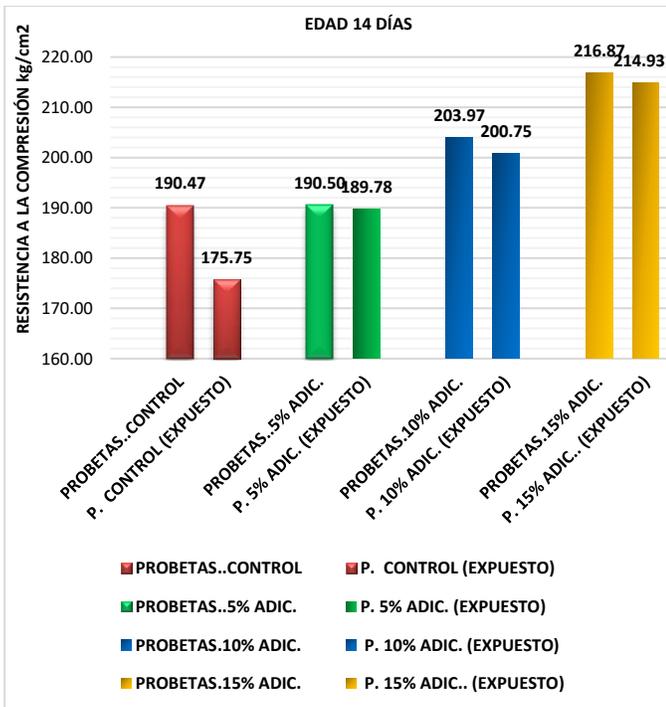


Fig. 3 Resistencia a la Compresión Promedio a Edad de 14 días de curado (expuesta y no expuesta a sulfato de magnesio)



Fig. 5 Especímen expuesto a patógenos

En la Fig. 5 se puede observar que, si existe un desgaste y se presentan algunas fisuras en el concreto por la exposición del agente patógeno, pero a pesar de ellos supera la resistencia a la compresión a los 28 días.



Fig. 6 Rotura de espécimen expuesto

En la Fig. 6 se puede observar que la rotura en su mayoría de los especímenes expuestos han sido tipo I y II.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Esta investigación se basó en la delimitación con la patología según su clasificación, como la fase inicial de deterioro, ya que el proceso de investigación finaliza cuando se conoce las resistencias resultantes con la metodología establecida. Es importante indicar que esta fase, se presenta ante variaciones de temperaturas, en este caso por la temperatura que se generó en el ambiente de la poza de curado ante la exposición de sulfato de magnesio, ya sea secado y mojado; a la vez se presenta esta patología producto de alguna reacción ácida, alcalinas u otras, en nuestro caso se expusieron las probetas con sulfato de magnesio. Por último, se notó la variación de deterioro mediante, fisuras circulares, verticales u horizontales se visualizaron luego de que las probetas de concreto, fueron sometidas a la Resistencia a la compresión en edades de 7, 14 y 28 días, la cual se tuvo como respuesta que, mientras a más edad de curado tenga el concreto expuesta ante sulfatos, la falla, fisuras y grietas, serán mayores. Además, esta investigación no puede ir más allá de su delimitación como fase inicial de deterioro del concreto, puesto que no se encuentran en fase de daños, los cuales son ocasionados por sismos, fuego, sobrecargas, deslizamientos, entre otros, como tampoco podría referirse a la fase de defectos, ya que los materiales y el diseño de mezcla, fueron adquiridos, desarrollados y calculados efectivamente según normativa vigente.

En la investigación presentada [7], usó el procesamiento de sustitución del agregado fino en 5%, 10% y 15% por el vidrio molido reciclado para un concreto diseñado a una Resistencia a

la compresión $f'c=210$ kg/cm² a los 7, 14 y 28 días. Obtuvo a los 7 días como resultado, una resistencia el concreto patrón, 5% y 10% de vidrio; 145.90 kg/cm², 169.27 kg/cm² y 196.03 kg/cm² respectivamente; asimismo indicó que en la muestra de concreto con 10% de vidrio alcanzó una mayor resistencia, la cual es 196.03 kg/cm². A los 14 días, la muestra de 10% de vidrio aumentó considerablemente con una resistencia de 218.73 kg/cm² que es 104.16% el cual está ligeramente por encima por el que fue diseñado, sin embargo, la muestra patrón y el 5% de vidrio están por debajo del límite admisible de resistencia para la edad de 14 días. A los 28 días el concreto ensayado a compresión muestra que al 5% y 10% de contenido de vidrio la resistencia aumentó a 325.03 kg/cm² y 335.67 kg/cm² respectivamente, describiendo que el vidrio ayudó a aumentar la resistencia gracias a su composición.

En la investigación de [13], realiza un análisis de la resistencia a la compresión del concreto $F'c=210$ kg/cm² con adición de vidrio reciclado molido, establece que, a los 28 días de curado el concreto de control (patrón) obtuvo en promedio 213.34 kg/cm², el concreto con 15% de adición de vidrio molido reciclado 252.42 kg/cm² (18.32% superior), con 20% de adición de vidrio molido reciclado 228.20 kg/cm² (6.97% superior) y con 25% de adición de vidrio molido reciclado 217.60 kg/cm² (2.00% superior). Lo que concluye que la resistencia a la compresión aumenta hasta cierta cantidad de vidrio añadido, pero al incrementarse más dicha cantidad de vidrio, esta resistencia disminuye, aproximándose a la resistencia del concreto de control (patrón).

Finalmente [4], en su investigación sobre influencia del tamaño de vidrio molido en la resistencia a compresión del concreto, indica que luego de analizar la influencia de vidrio molido de la malla #8, observando que no hay influencia significativa a los 28 días de edad, es decir, los valores de resistencia del concreto con vidrio y concreto patrón no tienen gran diferencia; sin embargo, destaca positivamente el 60% de vidrio molido de esta malla, el cual generó un pequeño aumento obteniéndose a los 7 días una resistencia de 205 kg/cm² y a los 28 días 249 kg/cm², comparado con la resistencia patrón a los 7 y 28 días de 190 kg/cm² y 239 kg/cm² respectivamente; por lo tanto, se cumple parcialmente la hipótesis planteada con un pequeño aumento en la resistencia.

Durante el desarrollo de la presente investigación, podemos dar como afirmada en cierta parte que, al obtener los resultados mediante los procedimientos y ensayos normalizados y estandarizados vigentes, se determinaron los siguientes resultados: para los especímenes cilíndricos de concreto patrón o de control sin exposición al ácido sulfúrico (sulfato de magnesio) en proceso de curado, a la edad de 7, 14 y 28 días, las resistencias de: 182.60 kg/cm², 190.47 kg/cm² y 22.40 kg/cm² respectivamente; para especímenes cilíndricos de concreto adicionados con 5% de vidrio: 181.73 kg/cm², 190.50 kg/cm² y 232.57 kg/cm² respectivamente; para especímenes cilíndricos de concreto adicionados con 10% de vidrio reciclados: 186.33 kg/cm², 203.97 kg/cm² y 243.37 kg/cm² y para especímenes cilíndricos de concreto adicionados con 15%

de vidrio reciclado: 196.87 kg/cm², 216.87 kg/cm² y 256.47 kg/cm²

De igual manera, se determinaron los siguientes resultados: para los especímenes cilíndricos de concreto patrón o de control con exposición al sulfato de magnesio en proceso de curado, a la edad de 7, 14 y 28 días, las resistencias de: 175.35 kg/cm², 175.72 kg/cm² y 214.87 kg/cm² respectivamente; para especímenes cilíndricos de concreto adicionados con 5% de vidrio: 180.42 kg/cm², 189.78 kg/cm² y 219.05 kg/cm²; para especímenes cilíndricos de concreto adicionados con 10% de vidrio reciclado: 182.83 kg/cm², 200.75 kg/cm² y 239.53 kg/cm² y finalmente, para especímenes cilíndricos de concreto adicionados con 15% de vidrio reciclado: 193.82 kg/cm², 214.93 kg/cm² y 255.02 kg/cm².

Es así que, de acuerdo a lo expuesto anteriormente, se afirma que la resistencia del concreto aumenta en relación al tiempo de curado (7, 14 y 28 días), tanto en especímenes cilíndricos de concreto control y adicionadas, expuestas y no expuestas al sulfato de magnesio.

Se presenta la limitación de no contar con la cámara óptica de materiales para observar microscópicamente la adherencia del vidrio al concreto.

REFERENCIAS

Alonso Moreno L., & Puerto Porras J. (2018). Desempeño de un concreto hidráulico adicionado con vidrio reciclado y EAFS, Tunja 2018.

- [1] Carrero, G., & Huamán, D. (2020). Análisis de la influencia del vidrio reciclado molido en resistencia a la compresión del concreto $f'_c=210$ kg/cm², Moyobamba - 2020. Tesis, Universidad Cesar Vallejo, Moyobamba - Perú.
- [2] León & Rázuri, 2020, Resistencia a la compresión de un concreto agregando vidrio reciclado finamente molido.
- [3] Chávez Silva A. (2019). Influencia del tamaño de vidrio molido en la resistencia a compresión, Trujillo 2019. Tesis, Universidad Privada del Norte, Trujillo - Perú.
- [4] Garcés et al. (2017) "Estudio del polvo de vidrio obtenido de la molienda de botellas recicladas en la provincia de Santa Elena como sustituto parcial del cemento en el hormigón"
- [5] Poveda, (2016) "Análisis de la influencia del vidrio molido sobre la resistencia al desgaste en adoquines de hormigón tipo A"
- [6] Codina Rodríguez, R. (2018). Resistencia a la compresión de un concreto $f'_c=210$ kg/cm² con agregado fino sustituido en 5% y 10% por vidrio molido reciclado. Tesis, Universidad San Pedro, Huaraz - Perú.
- [7] Peñafiel (2016) Análisis de la resistencia a la compresión del hormigón al emplear vidrio reciclado molido en reemplazo parcial del agregado fino
- [8] Paredes (2016), El concreto, material fundamental para la infraestructura. Construcción y Tecnología en concreto, 24.
- [9] Mendoza Huatay M. (2018). Resistencia a la compresión del concreto $f'_c=210$ kg/cm² con tres porcentajes (0.5%, 1.0% 2.5%) de fibra de bagazo de caña de azúcar. Tesis, Universidad Privada del Norte, Cajamarca - Perú.
- [10] Paredes BendeZú A. (2019). Análisis de la Resistencia a la compresión del concreto $f'_c=210$ kg/cm² con adición de vidrio reciclado molido. Tesis, Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto - Perú
- [11] Mendoza Huatay M. (2018). Resistencia a la compresión del concreto $f'_c=210$ kg/cm² con tres porcentajes (0.5%, 1.0% 2.5%) de fibra de bagazo de caña de azúcar. Tesis, Universidad Privada del Norte, Cajamarca - Perú.
- [12] Bances Elera J. (2020). Propuesta de modelo matemático para estimar la resistencia a la compresión 210 kg/cm² del concreto con adición de cáscara de huevo. Caso de estudio en Perú. Tesis, Universidad Privada del Norte, Lima - Perú.

- [13] Meneses Cabrera, T. (2021). El reciclaje, una nueva oportunidad hacia un mundo sostenible.
- [14] Enriquez, J. & Shimabukuro, K. (2017). Diseño de mezcla de concreto $f'_c=210$ kg/cm² mediante la adición de vidrio molido reciclado en reemplazo parcial de cemento tipo I en Lima - Perú. Tesis, Universidad Privada de Ciencias Aplicadas, Lima - Perú.
- [15] Correa Saldaña, Jorge. (2019). Concreto en obra, material fundamental para la construcción. Perú Construye, 5.
- [16] Pacheco Flores, Luis Miguel. (2017) Propiedades del concreto en estado fresco y endurecido.
- [17] Morelos, Jorge Luis Hernández. (2019) Diseño de un material ecológico para construcción mediante la adición de caucho de llanta al concreto.
- [18] Forero Osorio, Camilo. (2019) Guía metodológica para el reconocimiento in situ de patologías del concreto.