

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**Influencia del vidrio reciclado en las propiedades mecánicas  
del concreto autocompactante y la capacidad de uso en la  
Ciudad de Ayacucho**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

**Autor:**

Marisol Nelly Bedriñana Garamendi

**Asesor:**

Mg. Roberto Roland Yoctun Ríos.

Lima, abril del 2024.

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Yo *Roberto Roland Yoctún Ríos*, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“INFLUENCIA DEL VIDRIO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO AUTOCOMPACTANTE Y LA CAPACIDAD DE USO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO”** de la autora: *Marisol Nelly Bedriñana Garamendi*, tiene un índice de similitud de 18 % verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima a los 27 días del mes de Febrero del año 2024



---

*Mg. Roberto Roland Yoctún Ríos*

# ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

234

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Perú, Villa Unión, a 04 día(s) del mes de junio del año 2024, siendo las 9:30 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Lima, bajo la dirección del (de la) presidente(a)

Mg. Reymundo Jaulis Palomina, el (la) secretario(a): Ing. David Diaz Garamendi

y los demás miembros: Ing. Ferrer Canaza Rojas y el (la) asesor(a) Mg. Roberto Roland Yactun Rios

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado "Influencia del vidrio reciclado en las propiedades mecánicas del concreto autocompactante y la capacidad de uso en la ciudad de Ayacucho" del(los) bachiller(es): a) Marisol Nelly Bedriñana Garamendi

b) \_\_\_\_\_

c) \_\_\_\_\_

conducente a la obtención del título profesional de:

Ingeniera Civil

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron abueitas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller (a): Marisol Nelly Bedriñana Garamendi

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	16	B	Buena	Muy bueno

Bachiller (b): \_\_\_\_\_

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

Bachiller (c): \_\_\_\_\_

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

\_\_\_\_\_  
Presidente/a

\_\_\_\_\_  
Asesor/a

\_\_\_\_\_  
Bachiller (a)

\_\_\_\_\_  
Miembro

\_\_\_\_\_  
Bachiller (b)



\_\_\_\_\_  
Miembro

\_\_\_\_\_  
Bachiller (c)

\* Esta sustentación fue realizada de manera virtual u online sincrónica según conforme al Reglamento General de Grados y Títulos.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, la fuente suprema de sabiduría, con las que guía cada uno de mis pasos, en este trayecto dificultoso llamado vida.

A mis padres, **Eladio Bedriñana Garamendi** y **Senobia Garamendi Aguirre**, quienes han sido mi fuente inagotable de apoyo y aliento incondicional, quienes creyeron en mí y aprecio de gran manera el esfuerzo que brindaron en mi crecimiento, tanto mío como el de mis hermanos, pues ellos se quitaban un pan de la boca para partirlo en 4 para que de esta manera no sufriéramos los rigores de la miseria, ellos fueron una roca, y por eso su amor se mide en la cantidad de pan que dejaron de comer para prodigarlo a sus hijos.

A mi hermano, **Luis Bedriñana Escalante**, que en paz descanse, quien dejó este mundo el año 2021, me hubiera gustado que me vieras crecer más, que me vieras cumplir cada uno de mis sueños, que conocieras a mi familia, sé que sigues conmigo, muchas veces te sueño y te abrazo, este logro también es dedicado a ti, contribuiste mucho en este logro.

Y hoy que esto ha sido posible para mí, también quiero dedicar este logro a todas y cada una de las personas que estuvieron en esta etapa, dándome aliento y fuerzas para continuar, todos y cada uno de ellos han sido parte esencial de este proceso.

Marisol Nelly Bedriñana Garamendi

## DEDICATORIA

Dedico este logro de manera muy especial a mi hija **Julieth Cataleya Gómez Bedriñana**, la persona más importante de mi vida, este logro te lo debo a ti, porque tuviste que crecer y batallar conmigo, te doy infinitas gracias por ser la razón por la que nunca dejaré de luchar, y no importa cuantas veces se nos venga el mundo encima, siempre me tendrás a tu lado, te amo infinitamente.

Marisol Nelly Bedriñana Garamendi

## INDICE

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS.....	2
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS .....	3
AGRADECIMIENTO.....	4
DEDICATORIA.....	5
RESUMEN.....	8
ABSTRACT .....	9
1. INTRODUCCIÓN .....	10
2. DESARROLLO.....	11
3. METODOLOGÍA.....	13
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	15
5. CONCLUSIONES.....	26
6. FINANCIAMIENTO.....	27
7. AGRADECIMIENTO.....	27
8. CONFLICTOS DE INTERÉS .....	28
9. REFERENCIAS .....	28
10. ANEXOS.....	30

**INFLUENCIA DEL VIDRIO RECICLADO EN LAS  
PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO  
AUTOCOMPACTANTE Y LA CAPACIDAD DE  
USO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO.**

**INFLUENCE OF RECYCLED GLASS ON THE  
MECHANICAL PROPERTIES OF SELF  
COMPACTING CONCRETE AND THE CAPACITY  
OF USE IN THE CITY OF AYACUCHO**

**Bedriñana Garamendi, Marisol Nelly.**

## RESUMEN

El concreto es el componente con mayor uso en el sector de la construcción, sin embargo su exposición al medio ambiente suele influir en su comportamiento, por lo cual, los expertos investigan continuamente para asegurarse de que cumpla o satisfaga las especificaciones para las que fue creado. Por ello, el principal objetivo de la presente tesis fue determinar de qué manera contribuye el Vidrio Reciclado (VR), en las propiedades mecánicas del concreto autocompactante y su capacidad de uso en la ciudad de Ayacucho - Perú. Utilizando el enfoque cuantitativo, la metodología aplicada, el nivel explicativo y el diseño cuasiexperimental, esto debido a que se trabajará con una muestra estándar y muestras donde se ha reemplazado parcialmente el 7.5%, 15%, 22.5% y 30% de agregado fino por VR. Del presente estudio, se obtuvo como resultados que la incorporación de VR incrementó la resistencia a compresión en un 13.01%, la resistencia a tracción en un 17.75%, la resistencia a flexión mejoró en un 27.87% y la resistencia a la durabilidad al sulfato de magnesio que deberá ser menor al 15%, cumple en las 3 adiciones siendo el concreto con la sustitución del 30% de AF por VR el que no cumple con dicho parámetro, finalmente mencionar que respecto al concreto patrón, se incrementa la posibilidad de que su capacidad de uso sea mayor debido a las mejoras significativas y su resistencia a la intemperie por durabilidad.

***Palabras clave:*** Vidrio reciclado, propiedades mecánicas, concreto autocompactante.



## ABSTRACT

Concrete is the most widely used component in the construction sector, however its exposure to the environment usually influences its behavior, which is why experts continually investigate to ensure that it meets or satisfies the specifications for which it was created. Therefore, the main objective of this thesis was to determine how recycled glass contributes to the mechanical properties of self-compacting concrete and its capacity for use in the city of Ayacucho. Using the quantitative approach, the applied methodology, the explanatory level and the quasi-experimental design, this is because we will work with a standard sample and samples where 7.5%, 15%, 22.5% and 30% of fine aggregate have been partially replaced by recycled glass. From the present study, the results were obtained that the incorporation of recycled glass (VR) increased the compressive strength by 49%, the tensile strength by 17% and the flexural strength improved by 34% compared to the standard concrete.

***Keywords:*** *Recycled glass, mechanical properties, self-compacting concrete.*

## **1. INTRODUCCIÓN**

El concreto es el componente con mayor uso en la industria constructiva, por lo que la contaminación que genera durante su producción repercute en el medio ambiente. Por ello, numerosas organizaciones y universidades de todo el mundo investigan actualmente el uso de materiales eco amigables en la producción de concreto, con el objetivo de disminuir la dependencia de materias primas no renovables en estos sectores industriales y, al mismo tiempo, promover el uso de materiales reciclados como criterio de sostenibilidad.

Muchos son los factores que conllevaron al deterioro de las estructuras de concreto armado; estas pueden estar vinculadas o asociadas al proceso constructivo, la calidad de los agregados, el diseño de la estructura, agentes externos como el sometimiento a condiciones de cambios bruscos de temperatura, entre otros. Pero lo cierto es que, cualquiera sea la causa siempre traerá consigo efectos que llevan desde la pérdida económica de la inversión que se hizo por el no cumplimiento de su tiempo de vida, hasta la pérdida de vidas humanas ocasionada por el colapso total [1].

En caso de aquellos factores que pueden afectar directamente la durabilidad del concreto están el proceso de una mala vibración del concreto, pues más allá de solo eliminar aire dentro de la mezcla, con el correcto vibrado se puede obtener mejoras en cuanto a propiedades de resistencia, mayor durabilidad de la estructura evitando fenómenos como segregación de materiales y evitando también las famosas cangrejas [2].

Por otro lado en la ciudad de Ayacucho, entidades como Qali Warma promueven el manejo de residuos sólidos tales como metales y vidrio como un medio para el cuidado del medioambiente, así mismo la Municipalidad de Ayacucho lanzó un programa de recolección de residuos sólidos como los anteriores mencionados, para posterior a ello disponer de ellos [3].

Es por ello que nació la idea del concreto autocompactante con incorporación de VR, para dar solución al problema que tienen ciertas estructuras para completar la consolidación del concreto debido a factores arquitectónicos, o de diseño lo que puede generar consecuencias que terminen en el incremento del deterioro del

concreto y la adición del VR, para mejorar las características mecánicas del concreto. Además, este tipo de concreto otorga beneficios en cuanto a resistencia y durabilidad ante climas muy fríos y dado que la ciudad de Ayacucho presenta esta problemática se buscó determinar de qué manera contribuye el vidrio reciclado en las propiedades mecánicas del concreto autocompactante y su capacidad de uso en la zona de estudio [4].

## **2. DESARROLLO**

Existen múltiples maneras de prevenir la corrosión y deterioro del concreto, pero queda a criterio del especialista percibir la más adecuada, ya sea en términos económicos como técnicos pues a largo plazo termina siendo beneficioso para la estructura pues esta no presentará interferencias para desarrollar su función a causa de fallas o anomalías que se puedan presentar en el concreto durante su tiempo de vida asegurando también un correcto comportamiento estructural, evitando así pérdidas económicas [5].

Kumar et al. [5] en su artículo científico señalaron que las propiedades de concreto autocompactante son una excelencia para la ingeniería, aunque su aplicación en la ingeniería civil se encuentra limitada por la falta de estudios sobre su implementación. El concreto autocompactante muestra una resistencia excelente a climas helados, además que con ciertas incorporaciones logra tener una adecuada trabajabilidad, resistencia y densidad.

Por otro lado, Silva [6], consideró que el proceso del vibrado del concreto en el sector constructivo resulta de gran trascendencia respecto al parámetro de durabilidad presente en la estructura. Consiste en que, al concreto, en su estado fresco, se les somete a vibraciones de frecuencias muy elevadas de manera inmediata, posteriormente a su vertimiento, por medio de vibradores que se ejecutan a través de la electricidad o del aire a presión comprimido. Con dicho proceso, la mezcla obtenida de acuerdo al diseño adquiere una mejor fluidez respecto a su consistencia, con lo cual, se cubren los espacios de forma homogénea para hacer que el acero se adhiera de una manera más accesible.

El Perú es un país con mucha diversidad climatológica, lo que hace que cada construcción noble sea enfocada de distinta manera dependiendo de su ubicación

geográfica. Sin embargo, una de las grandes constantes en nuestro país es la alta humedad, particularmente en las ciudades como Ayacucho, que se destaca por tener elevados niveles de humedad y bajas temperaturas [6].

En Ayacucho, la humedad y el frío son uno de los factores climáticos que más destaca su presencia siendo en muchas veces incontrolable. Los efectos de ello, se evidenciaron con notoriedad y suelen ser las causas de otros factores problemáticos. La humedad se le puede clasificar dentro del conjuntos de lesiones del ámbito físico, por el hecho de originarse de manera frecuente a raíz de fenómenos del tipo atmosférico, no obstante, ello puede regenerarse en procedimientos físicos y químicos, con lo cual da paso a otra serie de factores, dado que el agua es el medio ideal para que erosiones, oxidaciones, microorganismos y otros procesos químicos se desarrollen. Es por ello, Reyes y Echevarría [8] en su tesis implementaron un concreto autocompactante con aditivo de Sika Viscocrete (<https://per.sika.com/dms/getdocument.get/091e1eb0-6ebc-3829-b359-3850e50616e8/HT-SIKAVISCOCRETE3330>), consiguiendo resultados favorables en cuanto a la resistencia del concreto, obteniendo un buen desempeño durante las épocas frías.

Vásquez et al [9] en su artículo expusieron que el vidrio ocupa el segundo lugar en ser el desecho más abundante, es así que se busca la reutilización del mismo. Este es un material que puede ser una alternativa a diversos usos en la construcción por ser abundante y fácil de conseguir en cualquier parte del país. Por lo que en la presente tesis se usa esta incorporación en el concreto autocompactante.

Con el mismo criterio de investigación Anco y Sarmiento [10] muestra en su investigación que adicionar vidrio reciclado en el concreto autocompactante genera una mejora significativa del 26%. De la misma manera Rivas [11] menciona en su investigación que adicionar vidrio reciclado en el concreto genera mejoras significativas de resistencia en las propiedades mecánicas del concreto con una dosificación óptima de 20% de adición. Por otro lado, Singh y Siddique [12] muestran en su investigación que la adición de vidrio triturado en dosificaciones de 0, 10, 20, 30, 40 y 50% y que en los ensayos de tracción, compresión y flexión los resultados dieron valores negativos a lo esperado ya que con cada dosificación las

propiedades mecánicas son afectadas y disminuyen sus valores, concluyendo así que adicionar vidrio reciclado no es favorable para el concreto autocompactante.

Mencionar que la problemática en la que se sitúa esta investigación está relacionada con tres aspectos: La ingeniería, la tecnología y el medio ambiente. Dado que el vidrio reciclado es un material de desecho, por lo que se reducen los costos asociados a la producción de materiales de construcción. La novedad de la reutilización de este material en el concreto es referida a la protección ambiental, asociada a la reducción de la cantidad de residuos sólidos producidos. Por lo que, de acuerdo a lo antes mencionado este estudio de investigación tiene objetivo evaluar la efectividad del uso de vidrio reciclado en el diseño de concreto, para lo que es necesario determinar de qué manera contribuye el VR en las propiedades mecánicas del concreto autocompactante y su capacidad de uso en la zona de estudio.

### **3. METODOLOGÍA**

La investigación se enfocó en el análisis cuantitativo de datos, ya que se recopilarán mediciones numéricas y se llevará a cabo un análisis estadístico con el fin de probar una hipótesis específica y desarrollar pautas de comportamiento, respaldadas por evidencia empírica. Al adoptar un enfoque cuantitativo, se utilizaron técnicas y herramientas estadísticas para analizar los datos recopilados y probar la teoría propuesta. [13].

En cuanto al método de investigación utilizado, se propuso una solución a un problema basándose en una teoría, en este caso se trata de la incorporación de (VR) en el concreto autocompactante para mejorar sus cualidades mecánicas teniendo en cuenta al mismo tiempo consideraciones técnicas y financieras, donde en este caso para determinar si el VR puede utilizarse en la construcción es necesario verificar no solo sus características técnicas sino también su viabilidad económica. El análisis de los objetivos determinará si el uso del vidrio aumenta el valor de las propiedades mecánicas del concreto, para el cual se diseñó la mezcla, reduciendo así el costo al reducir la cantidad de material requerido para lograr el incremento de la resistencia en las propiedades mecánicas, en comparación de un concreto sin vidrio, para lo que es necesario realizar un cálculo comparativo del concreto patrón y el concreto con incorporación de (VR).

En cuanto al nivel de investigación, este estudio se clasificó como explicativo, dado que se va a llevar a cabo el estudio de una nueva tecnología por medio de la realización de ensayos de laboratorio que sustenten lo manifestado y con ello detallar su viabilidad tanto técnica como económica para su uso en edificaciones.

En lo que respecta al diseño, esta investigación se clasificó como cuasiexperimental, ya que, se manipulará la variable independiente, el vidrio reciclado, con el propósito de analizar de qué manera afecta a la variable dependiente: las características mecánicas del concreto. [13].

Respecto a las técnicas e instrumentos empleados, como técnicas se recurrió a la observación y al análisis documental. La observación se utilizó para identificar los resultados de los diferentes ensayos como el de resistencia a la compresión, tracción, flexión y durabilidad. Mientras que con el análisis documental se pudo calcular los esfuerzos permitidos, así mismo se verificó si se cumplen con los lineamientos o parámetros establecidos por la norma nacional e internacional para llevar a cabo un correcto diseño de mezcla y una correcta evaluación de los efectos de los ensayos realizados, donde se realizaron 45 probetas circulares para el ensayo de resistencia a la compresión simple del concreto, 45 vigas rectangulares para el ensayo de resistencia a tracción indirecta, 30 vigas rectangulares simplemente apoyadas para el ensayo de resistencia a la flexión del concreto con cargas a los tercios del tramo y 5 probetas desgastadas para el ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio. Para llevar a cabo estas actividades, se utilizaron instrumentos como la guía de observación y guía de análisis documental.

Por otro lado, para la elaboración de las probetas de concreto con la adición de vidrio reciclado se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

- **Recolección de materiales:** En este punto se realizó la compra de los materiales, tales como agregados y cemento, así mismo se recolecto el vidrio reciclado, los cuales provienen de una variedad de envases de alimentos, bebidas y productos farmacéuticos, estos debido a la falta de equipo de seguridad al manipular inicialmente las muestras de vidrio los recicladores lo recolectan, clasifican por color y lo trituran, ya que en la zona de influencia y realización del presente artículo no se cuenta con equipo especializado para el manejo de dicho insumo,

- Estudio de los materiales: Se estudiaron las propiedades de los agregados (análisis granulométrico, peso unitario, contenido de humedad, porcentaje de absorción y peso específico), con el fin de determinar que estos cumplan con los requerimientos que indican las Normas Técnicas Peruanas.
- Diseño de mezcla del concreto patrón y concreto con adición de vidrio reciclado: Conociendo las propiedades de los materiales se procedió a determinar la dosificación de los materiales en base a la norma ACI. Para posteriormente realizar el vaciado de la mezcla a los moldes y con ello realizar los ensayos correspondientes.
- Elaboración de probetas cilíndricas y vigas rectangulares del concreto patrón y concreto con adición de vidrio reciclado: El proceso de elaboración se realizó en las instalaciones del Laboratorio Casagrande – geotecnia y concreto, bajo la supervisión de dichos especialistas y en participación con la autora del presente artículo.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

##### 4.1. Realizar el diseño de mezcla del concreto autocompactante patrón.

Se identificaron las propiedades de los agregados, que este caso fueron arena gruesa (AF) y piedra chancada de ½” (AG), obteniendo los resultados que se mencionan a continuación:

**Tabla 1.** *Propiedades físicas del agregado del concreto patrón*

Propiedad física	Agregado grueso	Agregado fino
% Finos	0.8	2.9
Contenido de Humedad (%)	0.35	3.44
% Absorción	1.01	2.86
PUS (gr/cm <sup>3</sup> )	1397	1695
PUC	1539	2858
Gravedad Específica de Masa	2.68	2.7
Porcentaje de Vacíos suelto (%)	47.8	37.2
Porcentaje de Vacíos varillado	42.5	31.1

##### 4.2. Determinar el porcentaje de incorporación de vidrio reciclado en el concreto autocompactante.

En base a una revisión de antecedentes se optó por incorporar vidrio reciclado en porcentajes del 7.5%, 15%, 22.5% y 30%. Por lo que se evaluaron las propiedades de los agregados para el concreto con los porcentajes de sustitución mencionada de arena por VR en el diseño del concreto autocompactante.

**Tabla 2.** *Propiedades físicas del agregado del concreto con sustitución de VR*

Porcentajes de adición	7.5%		15%		22.5%		30%	
	AG	AF	AG	AF	AG	AF	AG	AF
Propiedad física								
% Finos	0.8	2.7	0.8	2.4	0.8	2.1	0.8	1.6
Contenido de Humedad(%)	0.35	3.21	0.35	3.18	0.35	3.21	0.35	2.88
% Absorción	1.01	2.71	1.01	2.56	1.01	2.71	1.01	1.83
PUS (gr/cm <sup>3</sup> )	1397	1635	1397	1577	1397	1572	1397	1572
PUC	1539	1848	1539	1792	1539	1779	1539	1779
Gravedad Específica de Masa	2.68	2.7	2.68	2.69	2.68	2.69	2.68	2.69
Porcentaje de Vacíos suelto (%)	47.8	39.4	47.8	41.3	47.8	41.5	47.8	41.2
Porcentaje de Vacíos varillado	42.5	31.5	42.5	33.3	42.5	33.8	42.5	33.4

### **4.3. Evaluar las propiedades mecánicas del concreto autocompactante con la incorporación de VR.**

Se examinaron el conjunto de propiedades mecánicas del concreto autocompactante y se analizó la resistencia a tracción, compresión, flexión y durabilidad al MgSO<sub>4</sub>.

#### **4.3.1. Resistencia a compresión**

En la Tabla 3 se detalla los valores obtenidos de la resistencia a compresión (F'<sub>c</sub>) del concreto al sustituir parcialmente la arena (AF) por VR en diferentes porcentajes: 7.5%, 15%, 22.5% y 30%.

El concreto patrón alcanzó con 7, 14 y 28 días de curado una resistencia a la compresión de 199.1kg/cm<sup>2</sup>, 257.2 kg/cm<sup>2</sup> y 277 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. El concreto al reemplazar el 7.5% de arena por VR alcanzó resistencias de 210.5 kg/cm<sup>2</sup>, 272.5kg/cm<sup>2</sup>y 292.9 kg/cm<sup>2</sup> entre 7, 14 y 28 días correspondientes. Así



mismo el concreto al reemplazar el 15% logró alcanzar una resistencia a compresión entre 7, 14 y 28 días de 227.5 kg/cm<sup>2</sup>, 297.0 kg/cm<sup>2</sup> y 313.5 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, del mismo modo la resistencia del concreto al reemplazar 22.5% de agregado fino por vidrio reciclado tuvo una resistencia a compresión de 211.8 kg/cm<sup>2</sup>, 277.5 kg/cm<sup>2</sup> y 299.5 kg/cm<sup>2</sup> a los 7, 14 y 28 días correspondientemente. Por último, el concreto sustituido con el 30% de vidrio reciclado tuvo resistencias de 206.0 kg/cm<sup>2</sup>, 275.0 kg/cm<sup>2</sup> y 283.0 kg/cm<sup>2</sup> a los 7, 14 y 28 días correlativamente.

**Tabla 3.** Resistencia a compresión del concreto con sustitución de VR

Ensayo (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	Concreto patrón (CP)	CP+ 7.5% VR	CP+ 15% VR	CP+ 22.5% VR	CP +30% VR
F'c	7	199.1	210.5	227.5	211.8	206.0
F'c	14	257.2	272.5	297.0	277.5	275.0
F'c	28	277.4	292.9	313.5	299.5	283.0

#### 4.3.2. Resistencia a tracción

En la Tabla 4, se muestra en detalle la resistencia a tracción del concreto al sustituir parcialmente la AF por VR en diferentes porcentajes: 7.5%, 15%, 22.5% y 30%.

El concreto patrón alcanzó con 7, 14 y 28 días de curado una resistencia a tracción de 18.1 kg/cm<sup>2</sup>, 21.1 kg/cm<sup>2</sup> y 23.1 kg/cm<sup>2</sup> correspondientemente. El concreto al reemplazar 7.5% de arena por vidrio reciclado alcanzo resistencias de 20.7 kg/cm<sup>2</sup>, 23.4kg/cm<sup>2</sup> y 25.6 kg/cm<sup>2</sup> a los 7, 14 y 28 días respectivamente. Así mismo el concreto al reemplazar 15% logró alcanzar una resistencia a compresión a los 7, 14 y 28 días de 21.6 kg/cm<sup>2</sup>, 24.4 kg/cm<sup>2</sup> y 27.2 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, del mismo modo la resistencia del concreto al remplazar 22.5% de AF por VR tuvo una resistencia a compresión de 19.3 kg/cm<sup>2</sup>, 22.0 kg/cm<sup>2</sup> y 23.4 kg/cm<sup>2</sup> a los 7, 14 y 28 días correspondientemente. Por último, el concreto al reemplazar 30% de vidrio reciclado tuvo resistencias de 16.6 kg/cm<sup>2</sup>, 19.1 kg/cm<sup>2</sup> y 20.9 kg/cm<sup>2</sup> a los 7, 14 y 28 días equitativamente.

**Tabla 4.** Resistencia a tracción del concreto con sustitución de VR

Ensayo	Edad	Concreto	CP+	CP+	CP+	CP
--------	------	----------	-----	-----	-----	----

(kg/cm <sup>2</sup> )	(días)	patrón (CP)	7.5% VR	15% VR	22.5% VR	+30% VR
F'c	7	18.1	20.7	21.6	19.3	16.6
F'c	14	21.1	23.4	24.4	22.0	19.1
F'c	28	23.1	25.6	27.2	23.4	20.9

### 4.3.3. Resistencia a flexión

En la siguiente Tabla 5, se presenta una descripción detallada de la resistencia a flexión del concreto al sustituir parcialmente la AF por VR en diferentes porcentajes: 7.5%, 15%, 22.5% y 30%.

**Tabla 5.** Resistencia a flexión del concreto con sustitución de VR

Ensayo	Edad (días)	Concreto patrón (CP)	CP+ 7.5% VR	CP+ 15% VR	CP+ 22.5% VR	CP +30% VR
Mr promedio	14	26.85	28.30	33.49	26.74	23.85
Mr promedio	28	32.44	38.85	41.48	36.02	33.62

### 4.3.4. Durabilidad al sulfato de magnesio

En la Tabla 6, se proporciona una descripción detallada de la durabilidad del concreto frente a la exposición al sulfato de magnesio, con la sustitución parcial de la arena (AF) por vidrio reciclado (VR) en diferentes porcentajes: 7.5%, 15%, 22.5% y 30%.

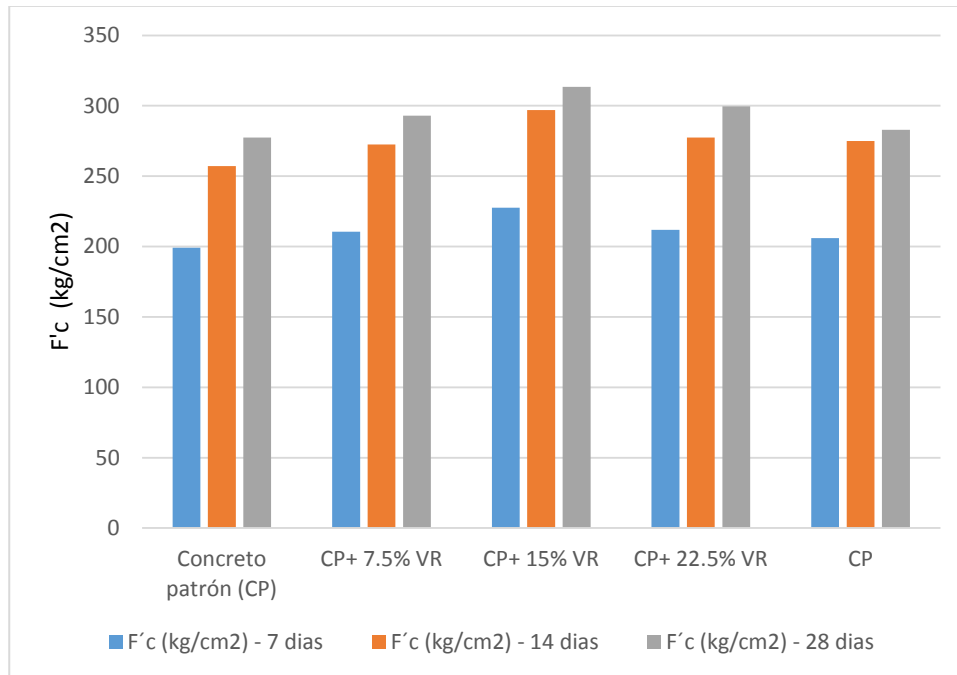
**Tabla 6.** Durabilidad al sulfato de magnesio del concreto con sustitución de vidrio reciclado

Muestra	Durabilidad al sulfato de magnesio
Concreto patrón (CP)	10.3%
CP+92.5%AF+7.5% VR	12.4%
CP+85%AF+15% VR	13.3%
CP+77.5%AF+22.5% VR	14.8%
CP+70%AF+30% VR	18.8%

## 4.4. Realizar un análisis comparativo del concreto autocompactante patrón y el concreto autocompactante con incorporación de VR.

### 4.4.1. Resistencia a compresión

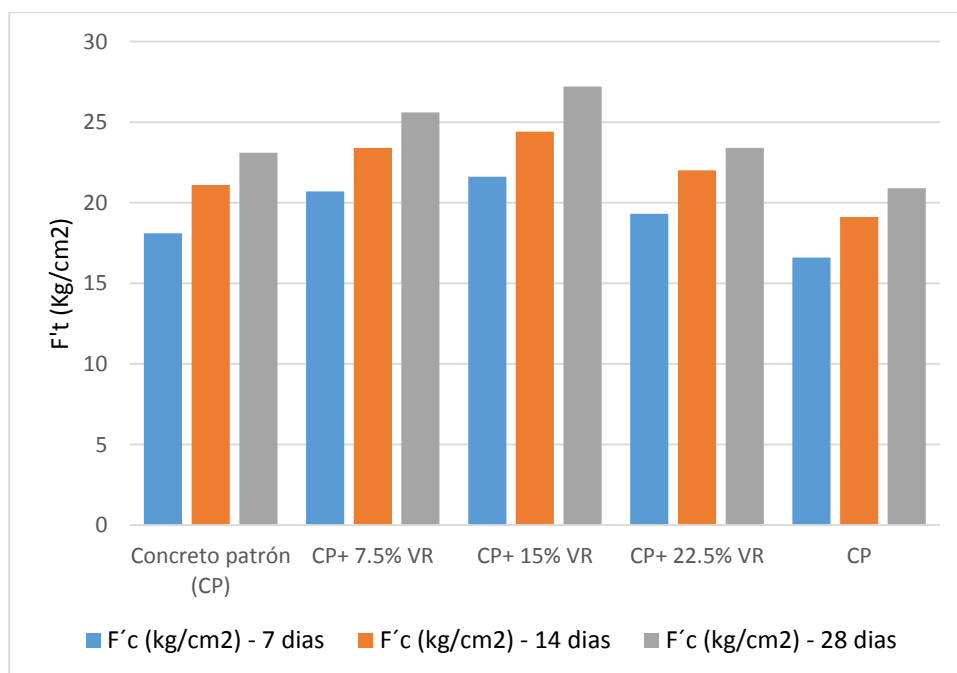
El concreto con una sustitución del 15% de AF por VR logró la mayor resistencia a compresión a los 7, 14 y 28 días, superando la resistencia de diseño en un 8%, 41% y 49%, respectivamente.



**Figura 1.** Resistencia a compresión del concreto autocompactante.

#### 4.4.2. Resistencia a tracción

Con una sustitución del 15% de AF por VR en el concreto, se logró la mayor resistencia a tracción a los 7, 14 y 28 días con valores de 21.6 kg/cm<sup>2</sup>, 24,4 kg/cm<sup>2</sup> y 27.2 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.



**Figura 2.** Resistencia a tracción del concreto autocompactante.

#### 4.4.3. Resistencia a flexión

Con una sustitución del 15% de AF por VR en el concreto, se logró la mayor resistencia a flexión a los 14 y 28 días con valores de 33.49 kg/cm<sup>2</sup> y 41.48 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.

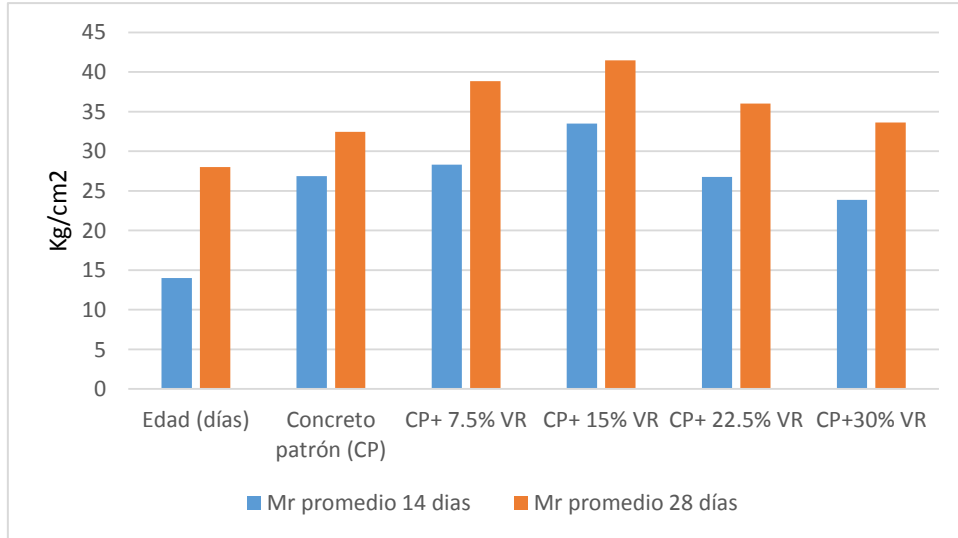


Figura 3. Resistencia a flexión del concreto autocompactante.

#### 4.4.4. Durabilidad al sulfato de magnesio

La durabilidad al sulfato de magnesio del concreto, según la norma NTP 400.016 [14], deberá ser menor al 15%, siendo el concreto con la sustitución del 30% de AF por VR el que no cumple con dicho parámetro.

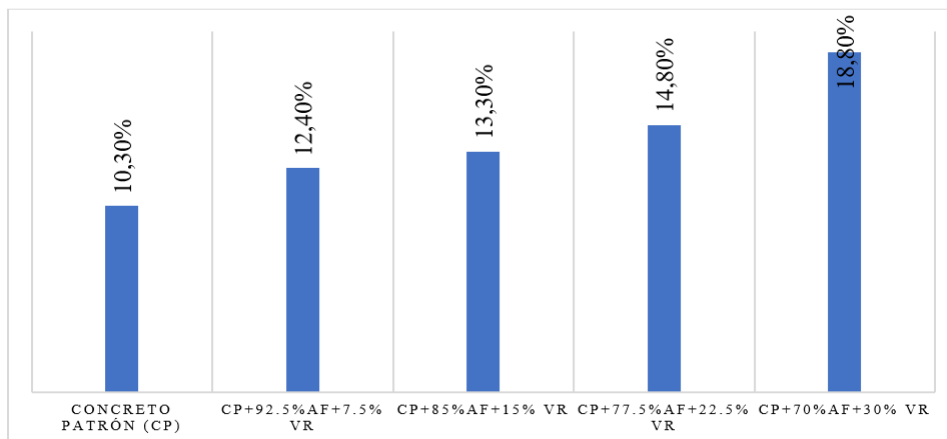


Figura 4. Durabilidad al sulfato de magnesio.

**4.5. Determinar el costo del concreto autocompactante patrón y concreto autocompactante con incorporación de VR.**

A continuación, se presentan en las siguientes tablas el desglose del presupuesto del concreto autocompactante, tanto con la incorporación de vidrio reciclado como sin ella. El costo por m<sup>3</sup> de concreto autocompactante patrón es de 333.58 nuevos soles.

**Tabla 7.** Costo por m<sup>3</sup> de concreto autocompactante patrón

Descripción	Cantidad	P.U.	P.P.
Cemento	8.220	28.000	230.160
Arena gruesa	0.540	30.000	16.200
Piedra chancada 1/2"	0.680	55.000	37.400
Aditivo	2.491	20.000	49.820
<b>TOTAL</b>			<b>333.580</b>

Mientras que el costo por m<sup>3</sup> del concreto con la incorporación óptima de vidrio reciclado fue de 332.770 nuevos soles, por lo que es notoria una reducción en el costo por m<sup>3</sup> de concreto al reemplazar con el vidrio reciclado en un 15% por agregado.

**Tabla 8.** Costo por m<sup>3</sup> de concreto autocompactante con incorporación del 15% VR

Descripción	Cantidad	P.U.	P.P.
Cemento	8.220	28.000	230.160
Arena gruesa	0.459	30.000	13.770
Piedra chancada 1/2"	0.680	55.000	37.400
Aditivo	2.491	20.000	49.820
Vidrio reciclado	0.081	20.000	1.620
<b>TOTAL</b>			<b>332.770</b>

A continuación, se presenta el análisis estadístico de los ensayos practicados, para ello se contempló la prueba estadística ANOVA y Levene, la cual esta última se utiliza para verificar si las varianzas de distintas muestras son iguales antes de

realizar un análisis de varianza (ANOVA), que compara las medias de varios grupos para detectar diferencias significativas entre al menos uno de ellos; ANOVA es útil para identificar diferencias entre tratamientos en un experimento [15].

En la tabla 9 se mostraron los resultados de la prueba Kruskal-Wallis del ensayo de resistencia a la compresión, en la cual se pudo determinar que la significancia es menor a 0.018 por lo que se realiza una prueba de Levene.

**Tabla 9.** Prueba Kruskal-Wallis resistencia a la compresión del concreto

Resistencia a la compresión a los 28 días	
H de Kruskal-Wallis	11,900
gl	4
Sig. asin.	,018

En la tabla 10 se pudo evaluar que la significancia es mayor a 0.05, por lo que se concluyó que por lo menos una de las incorporaciones tiene una causa efecto sobre la propiedad de resistencia a la compresión del concreto.

**Tabla 10.** Prueba LEVENE resistencia a compresión del concreto

Estadístico de Levene		gl1	gl2	Sig.	
Resistencia a la compresión a los 28 días	Conforme a la media	1,841	4	10	,198
	Conforme a la mediana	,216	4	10	,924
	Conforme a la mediana y con gl ajustado	,216	4	4,244	,917
	Conforme a la media recortada	1,628	4	10	,242

En la tabla 11 se detalló la prueba de ANOVA practicada a la propiedad de resistencia a la tracción, en donde se obtuvo una significancia menor a 0.05, por lo que se procedió a realizar una prueba de Levene.

**Tabla 11.** Prueba ANOVA a la resistencia a tracción del concreto

	Sumatoria de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre el grupo	71,418	4	17,854	12,443	,001
Dentro del grupo	14,348	10	1,435		
Total	85,766	14			

En la tabla 12 se pudo apreciar que la significancia es mayor a 0.05 en la prueba de Levene, por lo que se concluyó que por lo menos una de las incorporaciones tiene una causa efecto sobre la propiedad de resistencia a la tracción del concreto.

**Tabla 12.** Prueba LEVENE a la resistencia a tracción

<i>Pruebas de homogeneidad de varianzas</i>		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Resistencia a tracción a los 28 días	Conforme a la media	6,298	4	10	,008
	Conforme a la mediana	,512	4	10	,729
	Conforme a la mediana y con gl ajustado	,512	4	4,388	,733
	Conforme a la media recortada	5,134	4	10	,016

Por último, se realizó el análisis estadístico a la propiedad de módulo de rotura, la prueba de ANOVA dio como resultado una significancia igual a 0.00 por lo que se tuvo que realizar una prueba de Levene.

**Tabla 13.** Prueba ANOVA en el módulo de rotura del concreto

	Suma del cuadrado	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre el grupo	166,165	4	41,541	20,925	,000
Dentro de grupos	19,853	10	1,985		

Total	186,017	14	
-------	---------	----	--

En la tabla 12 se pudo apreciar que la significancia es mayor a 0.05 en la prueba de Levene, por lo que se concluyó que por lo menos una de las incorporaciones tiene una causa efecto sobre la propiedad de módulo de rotura del concreto.

**Tabla 14.** Prueba LEVENE en el módulo de rotura del concreto

Pruebas de homogeneidad de varianzas		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Módulo de rotura a los 28 días	Conforme a la media	1,470	4	10	,282
	Conforme a la mediana	,526	4	10	,719
	Conforme a la mediana y con gl ajustado	,526	4	6,425	,722
	Conforme a la media recortada	1,388	4	10	,306

En la Tabla 15 se puede observar que, al realizar la prueba de ANOVA para evaluar la propiedad de durabilidad al sulfato de magnesio, se obtuvo un valor de significancia inferior a 0.05, lo que indica que existe una diferencia significativa entre los grupos. Como siguiente paso, se llevará a cabo una prueba de Levene.

**Tabla 15.** Prueba ANOVA durabilidad al sulfato de magnesio

	Sumatoria de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre el grupo	120,962	4	30,241	63,027	,000
Dentro del grupo	4,798	10	,480		
Total	125,760	14			

En la tabla 16 se pudo apreciar que la significancia es mayor a 0.05, por lo que se concluyó que por lo menos una de las incorporaciones tiene una causa efecto sobre la propiedad de durabilidad al sulfato del concreto.



**Tabla 16.** Prueba LEVENE durabilidad al sulfato de magnesio

<i>Pruebas de homogeneidad de varianzas</i>		Estadístico de Levene	g1	g2	Sig.
Durabilidad al sulfato de magnesio	Conforme a la media	,211	4	10	,927
	Conforme a la mediana	,200	4	10	,933
	Conforme a la mediana y con gl ajustado	,200	4	8,520	,932
	Conforme a la media recortada	,210	4	10	,927

#### **4.6. Capacidad de uso**

En base a los resultados de logra observar que el concreto experimenta cambios significativos en términos de resistencia generando mejoras significativas con un porcentaje más alto de 13.01% con la adición de 15% de vidrio reciclado, además que se tiene una mejora significativa de resistencia a tracción de 17.75% con el mismo diseño de 15% de vidrio reciclado, una mejora de 27.87% de resistencia a flexión y un mejoramiento de 18.8% en durabilidad por exposición al sulfato de magnesio lo que permite que el concreto autocompactante imponga mayor demanda de uso debido a los grandes aportes que tiene el vidrio reciclado garantizando mejores en propiedades y resistencia a la intemperie por durabilidad.

Con los resultados se demuestra que la incorporación de vidrio reciclado en el concreto autocompactante genera una influencia positiva ya que mejora las propiedades del mismo , dónde el concreto a compresión alcanza una resistencia máxima de 313.5 kg/cm<sup>2</sup> y el diseño patrón un valor de 277.4 kg/cm<sup>2</sup>, de la misma manera la resistencia a flexión resistencia máxima de 41.48 kg/cm<sup>2</sup> y el diseño patrón un valor de 32.44 kg/cm<sup>2</sup>, y la tracción una resistencia máxima de 27.2 kg/cm<sup>2</sup> y el diseño patrón un valor de 23.1 kg/cm<sup>2</sup> por otro lado la durabilidad se mejora ya que el diseño patrón alcanza un valor de 10.3% y con vidrio reciclado llega a un valor óptimo de 18.8%. Finalmente el costo tiene un ligero cambio por lo que no se considera una mejora significativa en ese sentido.

Del mismo modo se concuerda con Anco y Sarmiento [9], ya que en su investigación buscaron generar mejoras en el concreto autocompactante con la adición de vidrio molido, el cual generó significancia con un valor de 26% de incremento en la resistencia a compresión del concreto. Así mismo Singh y Rivas [10] muestran en su investigación que incluir en el diseño de mezclas del concreto autocompactante genera mejoras significativas en las propiedades mecánicas como la resistencia a compresión, flexión y tracción. Por otro lado se discrepa con Singh y Siddique [11] ya que muestran que incorporar vidrio reciclado en dosificaciones entre el 10 y el 50% genera una disminución continua en los resultados de resistencia tanto en compresión, tracción y flexión, por lo que no recomiendan incluir vidrio molido en la mezcla de concreto.

## 5. CONCLUSIONES

- ✓ Conforme al diseño de mezcla se evaluaron las propiedades de los agregados para el concreto con sustitución. Por lo que se determinaron las propiedades del agregado fino el cual tiene un porcentaje de finos del 0.8%, contenido de humedad de 0.35%, absorción de 1.01%, peso unitario de  $1397 \text{ gr/cm}^3$ . Del mismo modo se evaluaron las propiedades del agregado grueso, el cual tiene un porcentaje de finos del 2.9%, contenido de humedad de 3.44%, absorción de 2.86% y peso unitario de  $1695 \text{ gr/cm}^3$ .
- ✓ El concreto patrón a los 28 días tuvo una resistencia a compresión de  $277 \text{ kg/cm}^2$ . El concreto reemplazado con el 7.5%, 15%, 22.5% y 30% de AF por VR alcanzó una resistencia de  $292.9 \text{ kg/cm}^2$ ,  $313.5 \text{ kg/cm}^2$ ,  $299.5 \text{ kg/cm}^2$  y  $283.0 \text{ kg/cm}^2$  respectivamente.
- ✓ El CP alcanzó una resistencia a tracción de  $23.1 \text{ kg/cm}^2$ . Mientras que el concreto con el reemplazo del 7.5%, 15%, 22.5% y 30% alcanzó resistencias de  $25.6 \text{ kg/cm}^2$ ,  $27.2 \text{ kg/cm}^2$ ,  $23.4 \text{ kg/cm}^2$  y  $20.9 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días correlativamente.
- ✓ El módulo de rotura que alcanzó el CP fue de  $32.44 \text{ kg/cm}^2$ , mientras que el concreto reemplazado con el 7.5%, 15%, 22.5% y 30% de vidrio reciclado alcanzó un módulo de rotura de  $38.85 \text{ kg/cm}^2$ ,  $41.48 \text{ kg/cm}^2$ ,  $36.02 \text{ kg/cm}^2$  y  $33.62 \text{ kg/cm}^2$  respectivamente.

- ✓ La durabilidad del CP ante el sulfato de magnesio es de 10.3%, la durabilidad del concreto reemplazado con el 7.5% de arena por vidrio reciclado fue de 12.4%, la del concreto sustituido en 15% por vidrio reciclado fue de 13.3%, mientras que la resistencia al desgaste del concreto sustituido parcialmente por el vidrio reciclado en 22.5% fue de 14.8% y por último la resistencia ante el sulfato de magnesio del concreto al reemplazar el 30% de arena por vidrio reciclado fue de 18%.
- ✓ Se obtuvo como resultados que la incorporación de vidrio reciclado en 15% fue la óptima, debido a que incrementó la resistencia a compresión en 49%, la resistencia a tracción aumentó en 17% y la resistencia a flexión mejoró en un 34% respecto al concreto patrón.
- ✓ El costo por m<sup>3</sup> de concreto autocompactante patrón fue de 333.58 nuevos soles. Mientras que el costo por m<sup>3</sup> del concreto con la incorporación óptima de vidrio reciclado fue de 332.770 nuevos soles, por lo que es notorio una reducción en el costo por m<sup>3</sup> de concreto reemplazado con el vidrio reciclado en un 15% por agregado.
- ✓ Los resultados obtenidos muestran que el (VR) puede sustituir eficazmente al AF, en diseños de mezcla de concreto autocompactante, en una proporción recomendable de 15%, donde estaríamos ante un material obtenido a partir de residuos, esto implicaría menores costos y una oportunidad para reducir la contaminación ambiental a través de la ingeniería civil.

## 6. FINANCIAMIENTO

La investigación fue financiada en su totalidad por la autora de la tesis, contando con el apoyo del Laboratorio Casa Grande (<https://www.facebook.com/profile.php?id=100077864046528>), en el cual se realizaron la totalidad de los ensayos.

## 7. AGRADECIMIENTO

A Dios, la fuente suprema de sabiduría, con la que guía cada uno de mis pasos, en este trayecto dificultoso llamado vida.

A mis padres, **Eladio Bedriñana Paucar** y **Senobia Garamendi Aguirre**, quienes han sido mi fuente inagotable de apoyo y aliento incondicional, quienes creyeron en mí y

aprecio de gran manera el esfuerzo que brindaron en mi crecimiento, tanto mío como el de mis hermanos, pues ellos se quitaban un pan de la boca para partirlo en 4 y de esta manera no sufriéramos los rigores de la miseria, ellos fueron una roca, y por eso su amor se mide en la cantidad de pan que dejaron de comer para prodigarlo a sus hijos.

A mi hermano, **Luis Bedriñana Escalante**, que en paz descanse, quien dejó este mundo el año 2021, me hubiera gustado que me vieras crecer más, que me vieras cumplir cada uno de mis sueños, que conocieras a mi familia, sé que sigues conmigo, muchas veces te sueño y te abrazo, este logro también es dedicado a ti, contribuiste mucho en este logro.

Y hoy que esto ha sido posible para mí, también quiero dedicar este logro a todas y cada una de las personas que estuvieron en esta etapa, dándome aliento y fuerzas para continuar, todos y cada uno de ellos han sido parte esencial de este proceso.

## **8. CONFLICTOS DE INTERÉS**

No se presentaron conflictos de interés, en el lapso del progreso de la presente tesis, esto debido a que la investigación fue realizada y financiada por el autor.

## **9. REFERENCIAS**

- [1] A. Giménez, M. Olavarrieta, L. Silva y H. Gallegos, «Estudio físico mecánico de concretos sustituidos con polvo de sílice expuestos e ambiente agresivo simulado,» *Gaceta Técnica*, vol. 2, n° 19, pp. 37-50, 2018.
- [2] G. Alarcón, «Los principales factores que generan situaciones de segregación escolar entre los establecimiento educacionales de enseñanza media en Chile, durante los últimos 10 años,» Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción, 2020.
- [3] Municipalidad de Ayacucho, «Quiero mi ciudad + limpia,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.ayacucho.gob.ar/quiero-mi-ciudad-limpia>.
- [4] S. Prabhu, R. Anuradhab y A. Belin, «Understanding the mining waste as resources in self-compacting concrete: A numerical study on sustainable construction,» *Resources Policy*, vol. 78, 2022.
- [5] S. Kumar, K. Ashidhb, H. S. Sharma, J. Patel y Z. Rudzionis, «Lightweight self-

compacting concrete: A review,» *Resources, Conservation & Recycling Advances*, vol. 15, 2022.

- [6] O. Silva , «La importancia del vibrado del concreto,» 2 Enero 2018. [En línea]. Available: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/importancia-del-vibrado-en-el-concreto>.
- [7] K. Ramos, «Reforzamiento estructural de la edificación multifamiliar Ruth, ubicada en el distrito de Santiago de Surco,» Universidad Privada del Norte, 2019.
- [8] C. Reyes y T. Echevarría, Artists, *Influencia del aditivo Sika Viscocrete-3330 en el Ensayo de Resistencia a la Compresión y en las Propiedades de un Concreto Autocompactante para Elementos Verticales*, Trujillo 2019. [Art]. Universidad Privada del Norte, 2019.
- [9] Vásquez et al., «Partículas de vidrio en un mortero de cemento,» *Partiulas de vidrio en un mortero*, pp. 47-52, 2019.
- [10] G. Anco y S. Oscar, «Influencia del vidrio molido reciclado como agregado fino para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto,» Universidad Ricardo Palma, 2021.
- [11] E. Rivas, «Adición de vidrio molido en la resistencia a la compresión del concreto, Trujillo–LaLibertad.,» Universidad César Vallejo, 2020.
- [12] H. Singh y S. Rafat, «Utilization of crushed recycled glass and metakaolin for development of self-compacting concrete,» *Construction and Building Materials*, vol. 348, pp. 1-16, 2022.
- [13] Hernández et al., *Metodología de la Investigación*, México D.F: Mc Graw Hill Education, 2018.
- [14] NTP 400.016;, «AGREGADOS. Determinación de la inalterabilidad de agregados por medio de sulfato de sodio o sulfato de magnesio,» INACAL, 2020.
- [15] R. Emerson, "ANOVA Assumptions," *Journal of Visual Impairment & Blindness*, vol. 116, no. 4, pp. 585-586, 2022.

## 10. ANEXOS

### PANEL FOTOGRÁFICO

	
<p><b>Fotografía 01:</b> Extracción de AG (piedra chancada) en cantera.</p>	<p><b>Fotografía 02:</b> Extracción de AF (arena gruesa) en cantera.</p>
	
<p><b>Fotografía 03:</b> Ensayo de Análisis granulométrico de AG y AF</p>	<p><b>Fotografía 04:</b> Proceso de clasificación de AG.</p>



**Fotografía 05:** Mezclador de concreto empleado.



**Fotografía 06:** Determinación de PH de las muestras.



**Fotografía 07:** Determinación de Slump para el concreto patrón y para las dosificaciones.



**Fotografía 08:** elaboración de probetas cilíndricas.



**Fotografía 09:** Desmoldeo de vigas rectangulares y probetas cilíndricas.



**Fotografía 10:** Desmoldeo de viga para determinar resistencia a la flexión.



**Fotografía 11:** Curado de vigas rectangulares y probetas cilíndricas.



**Fotografía 12:** Rotura de viga.



**Fotografía 13:** Fabricación del concreto base.



**Fotografía 14:** Slump concreto base.


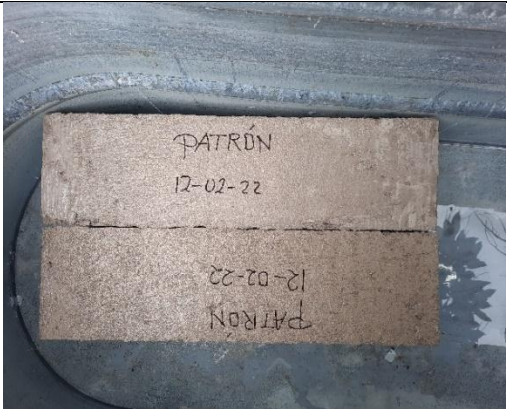






**Fotografía 15:** Peso del concreto base.



**Fotografía 16:** Contenido de aire del concreto base.



	
<p><b>Fotografía 17:</b> Desmolde de las probetas del concreto patrón.</p>	<p><b>Fotografía 18:</b> Vigas desmoldadas del concreto patrón.</p>
<p><b>PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO BASE, 7.5%, 15.0%, 22.5% y 30.0%</b></p>	
<p><b>Fotografía 19:</b> Probetas a compresión.</p>	<p><b>Fotografía 20:</b> Probetas a tracción.</p>
	
<p><b>Fotografía 21:</b> Probeta a compresión 15.0% de sustitución.</p>	<p><b>Fotografía 22:</b> Probeta a compresión con 7.5% de sustitución.</p>
	
<p><b>Fotografía 23:</b> Probetas a compresión con 22.5% de sustitución.</p>	<p><b>Fotografía 24:</b> Probetas a tracción con 22.5% de sustitución.</p>



**Fotografía 25:** Viga a flexion.



**Fotografía 26:** Rotura de viga.



**Fotografía 27:** Vigas fracturadas - concreto patrón.



**Fotografía 28:** Viga a flexión con 7.5% de sustitución.



**Fotografía 29:** Viga fracturada con 15.0% de sustitución.

