

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



**Efecto de polímeros de caucho en la resistencia del concreto**  
 **$f'c = 140\text{kg/cm}^2$**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

**Autores:**

Tomy Jonathan Yapó Calsin  
Joshep Yamir Colque Quispe

**Asesor:**

Dr. Nestor Alejandro Cruz Calapuja

**Juliaca , abril de 2025**

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Dr. Nestor Alejandro Cruz Calapuja, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

### DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“EFECTO DE POLÍMEROS DE CAUCHO EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO  $f'c = 140\text{kg/cm}^2$ ”** del autor **Tomy Jonathan Yapó Calsin** y **Joshep Yamir Colque Quispe**, tiene un índice de similitud de 15% 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 Juliaca, a los 02 días del mes de mayo del año 2025.

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Nestor Alejandro Cruz Calapuja  
Asesor

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiari, a 27 día(s) del mes de abril del año 2025 siendo las 9:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del (de la) presidente(a):

Mg. Leonel Chahueros Pausari el (la) secretario(a): Mg. Heron Deberly

Pari Cusi y los demás miembros: Msc. Ecker

Mamani Chambi y el (la) asesor(a) Dr. Néstor Alejandro

Cruz Galapuja con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado:

Efecto de polímeros de caucho en la resistencia del concreto  
f'c = 140 kg/cm<sup>2</sup>

del(los) bachiller(es): a) Josue Yamir Golque Quispe

b) Zony Jonathan Yapo Gabin

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

conducente a la obtención del título profesional de:

Ingeniero Civil

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s 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 absueltas 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:

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

Bachiller (a): Josue Yamir Golque Quispe

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>15</u>	<u>B-</u>	<u>Buono</u>	<u>Muy Bueno</u>

Bachiller (b): Zony Jonathan Yapo Gabin

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>15</u>	<u>B-</u>	<u>Buono</u>	<u>Muy Bueno</u>

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.

[Firma]  
Presidente/a

[Firma]  
Asesor/a

[Firma]  
Bachiller (a)

[Firma]  
Miembro

[Firma]  
Bachiller (b)

[Firma]  
Secretario/a

\_\_\_\_\_  
Miembro

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

## **AGRADECIMIENTO**

Gracias a Dios, familia, mentores y amigos, a las personas que nos apoyaron de manera emotiva, al escuchar sus palabras de aliento las cuales fueron muy importantes para nosotros, estas palabras nos motivaron y fueron fundamentales para realizar y concluir este trabajo.

## **DEDICATORIA**

Dedicamos esta investigación primeramente a nuestros familiares, amigos y mentores quienes nos apoyaron en todo momento para iniciar esta investigación y terminarla y así poder avanzar pues es un gran paso en nuestra vida.

## Lista de Contenido

<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	iv
<b>DEDICATORIA</b> .....	v
I. Introducción .....	7
II. MATERIALES Y MÉTODOS .....	10
A. Materiales .....	10
B. Métodos .....	11
1) Preparación de muestras .....	11
2) Ensayo de consistencia .....	12
3) Ensayo de resistencia a la flexión .....	12
4) Ensayo de resistencia a la compresión.....	13
III. resultados y discusión.....	13
IV. análisis estadístico .....	17
V. Discusión .....	18
VI. conclusiones .....	18
References .....	19

# Efecto de polímeros de caucho en la resistencia del concreto $f'_c=140\text{kg/cm}^2$

Tomy Jonathan Yapo Calsin, Joshep Yamir Colque Quispe y Nestor Alejandro Cruz Calapuja

**Resumen** - Este artículo explora el uso de polímeros de caucho reciclado como aditivo en el concreto, específicamente para mejorar la resistencia a la flexión y compresión en mezclas de  $140\text{ kg/cm}^2$ . La investigación responde a la problemática ambiental del exceso de residuos poliméricos, utilizando caucho reciclado de neumáticos en porcentajes de 2.5%, 5%, y 10%. Tras preparar cinco muestras de concreto con distintas dosificaciones, se realizaron pruebas de consistencia, flexión y compresión. Los resultados indican que la adición de un 2.5% de caucho proporciona los mayores beneficios, mejorando la resistencia del concreto a la flexión y a la compresión, con una estructura más tenaz y resistente a deformaciones. Sin embargo, al incrementar la proporción a 5% y 10%, se evidencia disminución en la efectividad de las propiedades evaluadas, que puede ser causado por el exceso de polímero dificultando la adherencia de la mezcla. El presente estudio concluye indicando que una dosificación adecuada de caucho reciclado permite mejorar ciertas propiedades estructurales, así también, el de reducir el impacto ambiental reutilizando materiales desechados.

**Índice de Términos** - Polímero de caucho, Impacto ambiental, Resistencia del concreto.

## I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, el desarrollo de cementos especializados ha avanzado notablemente, adaptándose a las distintas condiciones químicas y físicas que puede presentar el suelo. Estos avances han sido posibles gracias al progreso científico y tecnológico, que ha permitido aplicar nuevas técnicas en el área de los materiales de construcción. En particular, la tecnología del concreto ha hecho posible mejorar la forma en que se dosifican los componentes, logrando así una mayor resistencia y durabilidad. Por eso, según el tipo de estructura que se quiera construir, es fundamental elegir una dosificación adecuada que permita alcanzar la resistencia a la compresión necesaria [3].

Investigaciones en el campo de materiales de construcción han buscado mejorar el comportamiento mecánico del concreto mediante el uso de aditivos naturales y sintéticos. El estudio de Valencia et al, (2019) quienes analizaron la influencia de incorporar microesferas de vidrio y residuos de neumáticos. En su metodología, sustituyeron el 15% del agregado fino en una mezcla convencional por distintas proporciones de estos materiales reciclados (0:1, 1:1, 1:3, 3:1 y 1:0). La combinación de ambos aditivos, evaluada a través

de probetas cilíndricas de  $150\times 300\text{ mm}$  mostró un efecto sinérgico positivo. Lo anterior sugiere un camino por explorar de la industria. Esto en el sentido de que es posible la reemplazar parcialmente materiales tradicionales por opciones recicladas, sin comprometer la calidad final del producto [6].

En los últimos años, la reutilización de residuos plásticos como aditivos en el concreto es un tema de investigación sobre el camino hacia la sostenibilidad. En ese sentido, Fuentes et al. realizaron un estudio adicionando plásticos, en mezclas de hormigón. Sus resultados señalan que esta adición modifica de forma positiva propiedades importantes del material, como la cantidad de flexibilidad, la capacidad de aislamiento térmico y una disminución considerable del peso propio. Adicionalmente, las pruebas determinan una relación inversa entre la resistencia al corte y a la compresión de los concretos modificados. Esta cualidad es importante, ya que indica que el abaratamiento de la cantidad producida es viable y no supone un aumento en el impacto ambiental [2].

Así también, Campoy (2020) evaluó el efecto de incluir polímeros plásticos y fibras metálicas al concreto. Su estudio se centró específicamente en las variaciones del módulo de rotura y la resistencia a la compresión. La metodología consistió en evaluar probetas con distintas dosificaciones de estos aditivos (0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.00% y 1.50%), poniendo un énfasis particular en el comportamiento de las fibras de acero rizado. Los resultados indicaron que las fibras de acero con gancho proporcionan el mejor rendimiento, y destacaron la importancia de factores como el tamaño de los agregados y la proporción grava/arena en el rendimiento general del material [1].

La necesidad de reducir los desechos plásticos que impactan tanto el ecosistema terrestre como el marino ha impulsado investigaciones sobre su reutilización en el concreto. Benítez et al. (2021) analizaron el uso de plástico reciclado marino como sustituto parcial del agregado fino en el concreto, con porcentajes de reemplazo de 2.5%, 5%, 7.5% y 10%. Las evaluaciones de asentamiento, densidad y módulo de elasticidad revelaron que la mezcla con un 7.5% de reemplazo mostró una resistencia a la compresión de 18.19 MPa, lo cual corresponde al 90.5% de la resistencia de una mezcla convencional de 20 MPa, lo que sugiere un potencial uso en construcciones de resistencia moderada [7].

El concreto es, sin duda, uno de los materiales de construcción más utilizados a nivel mundial debido a su resistencia, durabilidad y versatilidad. La incorporación de polímeros derivados del caucho en mezclas de concreto

aborda un doble desafío: mejorar las propiedades del material y, simultáneamente, mitigar el impacto ambiental de los residuos de neumáticos (Silva et al., 2020). Con la integración de los polímeros en el concreto, se alcanza una optimización en el comportamiento mecánico y físico del concreto. En particular, se reportan mejoras de importancia en su resistencia a la compresión y también a la flexión [11].

La incorporación de caucho reciclado brinda al concreto una ductilidad más alta, lo que se convierte en una capacidad mejor para deformarse y absorber energía. Para elementos estructurales que enfrentan impactos o cargas dinámicas, estas características son importantes. En concretos de resistencia moderada ( $f_c \approx 140 \text{ kg/cm}^2$ ), su uso es factible desde el punto de vista técnico, aunque esta alteración cause una bajada en la resistencia a la compresión. De hecho, el desempeño de este concreto modificado puede optimizarse mediante un ajuste preciso en la dosificación y el tratamiento previo del caucho (Sienkiewicz et al., 2022) [12].

La incorporación de polímeros de caucho, que proceden de neumáticos fuera de uso, mejora características importantes del concreto como su capacidad para soportar esfuerzos y la uniformidad de la mezcla. La flexibilidad propia de estos polímeros y su capacidad para disipar energía se traducen en un doble beneficio: por un lado, aumentan la durabilidad del material y, por otro, optimizan su respuesta estructural, especialmente frente a cargas de impacto (Jamaludin et al., 2019) [13].

Dentro del concreto, las partículas de caucho frenan la aparición y avance de las fisuras internas. Como consecuencia directa, el material en su conjunto resiste mejor los esfuerzos de flexión y es capaz de absorber más energía antes de fracturarse (aumenta su tenacidad) (Wang et al., 2021) [15].

Algunas investigaciones reportan que ciertos tipos de polímeros de caucho pueden optimizar la trabajabilidad del concreto. Según estos estudios, la estructura y el tratamiento superficial de sus partículas permiten una reducción en la demanda de agua de la mezcla. Esta menor relación agua/cemento, a su vez, favorece la formación de una matriz cementicia más compacta y homogénea, resultando en una disminución de la porosidad del material endurecido (Shu & Huang, 2020) [14].

Estudios recientes sobre concretos con caucho reciclado se centra en optimizar la relación entre el desempeño mecánico del material y sus ventajas medioambientales. Este enfoque contribuye a la economía circular al reutilizar residuos y reduce la huella de carbono de la industria de la construcción (Jafarifar et al., 2021) [10].

En el presente estudio, se empleará un diseño de mezcla de concreto de  $140 \text{ kg/cm}^2$ , específicamente para elementos estructurales en albañilería confinada. Se adicionará polvo de caucho reciclado (PB) en porcentajes de reemplazo del agregado fino de 2.5%, 5% y 10%. El objetivo es mejorar propiedades como consistencia, flexión y compresión del concreto, con una mezcla de  $f_c=140 \text{ kg/cm}^2$ , incorporando 2.5% de polvo de caucho en dichas proporciones.

Un estudio de concretos con resistencia moderada ( $f_c=140 \text{ kg/cm}^2$ ) y caucho reciclado como modificador, para

su aplicación en cimientos corridos, presenta interés para la Ingeniería Civil por dos razones. Desde una perspectiva técnica, se intenta mejorar propiedades importantes como la resistencia a la flexión y la capacidad para absorber energía. Desde un punto de vista ambiental, se proporciona una solución factible para el reciclaje de neumáticos que ya no se usan, lo que disminuye el impacto ecológico de estos residuos.

El rendimiento de los cimientos continuos depende no solo de una resistencia adecuada a la compresión, sino también de su habilidad para manejar deformaciones. La incorporación de caucho responde directamente a este segundo requisito: al aumentar la tenacidad del concreto, se mejora la respuesta ante asentamientos diferenciales y se permite disipar la energía de cargas dinámicas, como las que tienen origen en sismos. Para el comportamiento dúctil, esta mejora tiene un valor especial, ya que eleva el nivel de seguridad de la cimentación sin la necesidad de usar concretos de alta resistencia, lo que optimiza los costos en construcciones de poca y mediana altura.

Concreto modificado tiene un ámbito de aplicación amplio y específico. En una parte su resistencia moderada es apropiada para la estructura principal de edificaciones residenciales y comerciales de poca altura. En otra parte su flexibilidad y tenacidad notables lo hacen una solución buena para elementos viales y peatonales. En aplicaciones como pavimentos, ciclovías y bordillos, su capacidad para disipar la energía de impactos previene fallas por fatiga. También previene el deterioro superficial que causa el tráfico ligero.

Concreto con caucho presenta una ventaja significativa en durabilidad, esa es su capacidad para limitar el desarrollo de microfisuras en la cimentación. Como un interruptor en la propagación de fisuras, actúa, y con ello se extiende la vida útil de servicio del elemento estructural. Una mayor longevidad se traduce directamente en una reducción de los costos asociados al ciclo de vida del proyecto, tales como mantenimiento y reparaciones. Por este motivo se consolida este material como una solución sostenible y económicamente viable.

La innovación en la formulación del concreto muestra un progreso importante hacia la economía circular en la construcción. Apoya el reciclaje de residuos industriales, como los neumáticos, para crear un material que funciona y tiene un impacto ecológico menor. El concreto nuevo cumple con los requisitos estructurales de edificaciones ligeras. Aporta a la reducción de la huella ambiental de la industria de forma tangible.

Según Mechtcherine et al. (2021), el plástico es un material derivado del petróleo, compuesto por proteínas y resinas, obtenido a través de procesos de polimerización. Este material presenta propiedades elásticas que le permiten adaptarse bajo compresión y tracción cuando se somete a condiciones de temperatura específicas. Los polímeros de caucho, por su parte, se obtienen a partir del látex del árbol del caucho y son tratados con compuestos como la parafenilendiamina para otorgarle sus propiedades físicas, las cuales pueden ser útiles en aplicaciones estructurales [4].

En la figura 1 se muestra el caucho compactado y

oscurecido por los efectos de la Parafenilendiamina, próximamente será vulcanizado mediante rodillos para generar maleabilidad, por último, atravesará una maquina compactadora y estará listo para ser convertido en neumáticos.



Fig. 1. Caucho natural compactado

Schröfl et al. (2019) destacan que la consistencia es una de las propiedades esenciales del concreto fresco, ya que representa la resistencia que la mezcla opone a su propia deformación. Esta característica varía principalmente según la cantidad de agua en la mezcla; cuanto mayor es el contenido de agua, más fluida resulta la consistencia. La importancia de una consistencia adecuada radica en su papel para permitir que el concreto rellene completamente el encofrado, eliminando burbujas de aire atrapadas y garantizando así una estructura uniforme y de alta calidad. [5].

Un aspecto fundamental es el control de la consistencia del hormigón fresco. Este control se logra mediante la dosificación precisa de sus componentes. La proporción de agua es el factor de mayor influencia. Determina la fluidez y la trabajabilidad de la mezcla. A su vez, esta trabajabilidad, en fresco, define en gran medida las propiedades finales del hormigón endurecido. Se definen propiedades como la densidad, la resistencia, la impermeabilidad y la calidad del acabado superficial. Por ello, es necesario un control estricto de la mezcla para garantizar el rendimiento estructural y el aspecto final de la construcción [5].

El ensayo de asentamiento, o Prueba de Slump, es el procedimiento común para determinar la consistencia del concreto reciente. La idea del ensayo es obtener la medida de la deformación de una cantidad de concreto por su peso después de sacar el molde que la contenía, el Cono de Abrams. En la prueba, la mezcla se presiona en tres niveles dentro del molde para lograr una muestra uniforme y sin burbujas de aire atrapadas. La cantidad que baja el concreto verticalmente, llamado "slump", es la medida directa de su capacidad para fluir: un asentamiento más grande indica una consistencia más suave [5].

La normativa española EHE clasifica el concreto según su asentamiento para guiar su selección en obra. Consistencias de bajo asentamiento, como la seca (0-2cm) y la plástica (3-5cm), son más rígidas y se usan en elementos masivos o pavimentos que necesitan compactación energética. En otro extremo, las consistencias fluidas (10-15cm) y muy fluida (>16cm) permiten una colocación correcta en estructuras complejas o con mucho acero de

refuerzo, pues fluyen con poca vibración. Las consistencias intermedias, como la blanda (6-9cm), dan un equilibrio para aplicaciones generales de edificación.

En el ámbito del control de calidad in situ, la prueba de asentamiento es un procedimiento importante para verificar la consistencia y uniformidad de diversas mezclas de hormigón. Es fundamental lograr una consistencia adecuada. Esta consistencia no solo facilita la correcta aplicación y consolidación del material, sino que también es fundamental para su durabilidad. Una mezcla correctamente dosificada previene la aparición de problemas como huecos y grietas. Estos problemas ponen en peligro la solidez estructural con el tiempo [5].

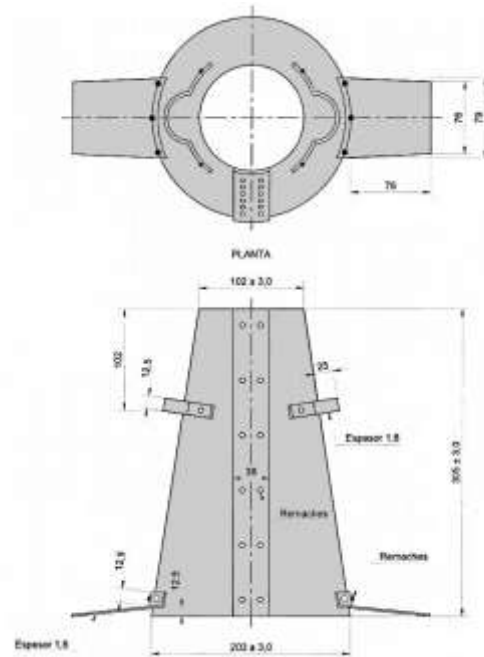


Fig. 2. Cono de Abrahams

Venkatachalam et al. (2023) menciona que la flexión en el concreto se entiende como la habilidad del material para cambiar de forma cuando se le aplican fuerzas a lo ancho, sin que deje de funcionar como debe. Esto es muy importante al hacer estructuras. Para medirlo se usa una viga que tiene apoyos simples. Sobre esa viga se pone una fuerza, que puede estar en un punto o repartida, hasta que se rompe. A las 7, 14 y 28 días se hacen esas pruebas, para ver cómo va cambiando la fuerza que puede aguantar el material, mientras se seca. [8].

El ensayo de flexión proporciona una comprensión del comportamiento mecánico del concreto al crear una gráfica de carga contra desplazamiento. De esta gráfica se obtienen directamente parámetros importantes como la resistencia, la rigidez y la ductilidad. Estos indicadores son necesarios para prever la respuesta de una estructura durante su uso. Con ellos es posible analizar cómo se distribuyen las tensiones y encontrar los puntos donde puede fallar. Al final esta caracterización completa del material es la que permite determinar con exactitud el momento máximo que puede

resistir un elemento. Este dato es básico para asegurar un diseño estructural que sea seguro [8].

Venkatachalam et al. (2023) también afirman que la propiedad mecánica más básica del hormigón es su resistencia a la compresión, ya que esta muestra su capacidad para soportar cargas axiales sin colapsar. Este parámetro, denominado resistencia especificada ( $f'c$ ), sustenta el diseño estructural de componentes como columnas y muros que soportan peso. En la práctica, el cumplimiento de este requisito se verifica mediante ensayos de compresión en muestras estándar, generalmente cilindros o cubos, que representan el hormigón suministrado en la obra [8].

La resistencia a la compresión se obtiene por medio de un ensayo uniaxial. En este procedimiento una muestra se somete a carga hasta que se rompe. Se registra el esfuerzo máximo que soporta. Este dato, que se expresa en unidades  $\text{kg}/\text{cm}^2$ , es el parámetro principal para su aceptación y un indicador directo de la calidad del concreto. Una resistencia que es adecuada sugiere que la dosificación fue correcta y que el proceso de curado fue bueno. Esto se relaciona directamente con una mayor durabilidad y un desempeño estructural que es superior. [8].

En ingeniería civil, la resistencia a la compresión es el parámetro de diseño más importante para el hormigón. Permite predecir su comportamiento bajo cargas reales. Una alta resistencia es necesaria para la seguridad y durabilidad de grandes estructuras, como puentes y edificios altos. Por ello, el ensayo de compresión no solo confirma que el material cumple con las especificaciones de diseño, sino que también proporciona orientación a los ingenieros para la selección de materiales. [8].

Finalmente, el ensayo de compresión sirve como un indicador de calidad global. La consistencia en los resultados de múltiples muestras sugiere una buena homogeneidad de la mezcla, mientras que alcanzar la resistencia de diseño es un reflejo de una compactación adecuada. Un concreto bien compactado y homogéneo presenta una matriz densa, lo que mejora su capacidad para controlar la fisuración por retracción y resistir la penetración de agentes agresivos, dos factores clave para la durabilidad y la integridad estructural a largo plazo

En la figura 3 se muestra una probeta lista para experimentar el ensayo de resistencia a la compresión. Las probetas de concreto son elementos importantes para determinar las propiedades mecánicas e identificar algún desperfecto, suelen ser de forma cilíndrica, con dimensiones de  $15\text{cm} \times 30\text{cm}$ .



Fig. 3. Ensayo de resistencia a la compresión

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Materiales

Se consideraron el listado de materiales para elaborar el concreto de  $f'c = 140 \text{ kg}/\text{cm}^2$ , así mismo se incluyó los neumáticos reciclados recolectados por los investigadores. La figura 4 evidencia la recolección de los neumáticos, la figura 5 muestra los agregados antes de ser unificados y preparados para elaborar la mezcla.



Fig. 4. Neumáticos reciclados.



Fig. 5. Agregados para la preparación del concreto y trompo.

### 1. Cemento:

- Tipo: Cemento Portland Tipo IP (generalmente utilizado para obras en condiciones normales).
- Cantidad estimada:  $240 - 300 \text{ kg}/\text{m}^3$  (7.0520 bolsas/

m<sup>3</sup>).

La cantidad de cemento debe ser suficiente para garantizar una adecuada reacción de hidratación, ya que una baja cantidad puede comprometer la resistencia final del concreto.

## 2. Agua:

- Relación agua/cemento: Para concreto de baja resistencia como el de 140 kg/cm<sup>2</sup>, la relación agua/cemento es crucial. Generalmente, se utiliza una relación de 0.65 a 0.75.
- Cantidad estimada: Aproximadamente 160 - 180 litros de agua por metro cúbico de concreto.

Un exceso de agua puede generar porosidad en el concreto y reducir su resistencia, por lo que es importante controlar bien la cantidad.

## 3. Agregados finos (Arena):

- Tipo: Arena natural bien gradada (cantera maravillas).
- Tamaño máximo de partículas: De 5 mm (Malla N°04).
- Cantidad estimada: 761.25 kg/m<sup>3</sup>.

La arena debe ser limpia, sin partículas de arcilla o polvo que afecten la adherencia del cemento.

## 4. Agregados gruesos (Grava):

- Tipo: Grava triturada o redondeada.
- Tamaño máximo de partículas: De 25 mm (Malla 1").
- Cantidad estimada: 1,139.25 kg/m<sup>3</sup>.

Debe estar limpia y exenta de polvo, materiales orgánicos o impurezas.

TABLE I

FICHA TÉCNICA DEL POLÍMERO DE CAUCHO DE NEUMÁTICO RECICLADO

Parámetro	Descripción
<b>Nombre</b>	Polímero de caucho reciclado
<b>Propiedad es físicas</b>	Densidad gr/cm <sup>3</sup> 0,40-0,50 SEGUN ASTM D 5603
	Forma Solido en forma de granulados y polvo - SEGUN ASTM D 5603
	Olor - Caucho
	Peso específico - 1,15 - 1,27 SEGUN ASTM D 5603
	Humedad % <0,75
	Punto de combustio °C 300-450 SEGUN ASTM D 5603
	Tamaño de partículas 0,5 a 5 mm SEGUN ASTM D 5603
	Color Negro o gris oscuro
	Elasticidad alta con capacidad para deformarse y regresar a su forma original
	Dureza 60 – 70 shore SEGUN ASTM D 5603
<b>Propiedad es químicas</b>	Resistencia al desgaste
	Extracto cetónico % 5,00 - 22,00 SEGUN ASTM D 5603
	Contenido en cenizas % 7,00 - 11,00 SEGUN ASTM D 5603
	PH 25°C 8,12 - 8,20 SEGUN ASTM D 5603
	Contenido en polimeros N4/SR% 70/30 -60/40 SEGUN ASTM D 5603
	Contenido de negro de humo % 26,00 - 38,00 SEGUN ASTM D 5603
	Contenido de caucho natural % 10 - 35 SEGUN ASTM D 5603
	Contenido en hidrocarburo de caucho % 57,00 - 58,00 SEGUN ASTM D 5603
	Azufre % 1,0 - 7,00 SEGUN ASTM D 5603
	Solubilidad - Insoluble en agua - parcialmente

solubre en acetona- SEGUN ASTM D 5603

<b>Propiedad es mecánicas</b>	Resistencia a la tracción 1.5 – 5 MPa
	Elongación a la rotura 250 % - 400%
<b>Aplicaciones</b>	Modulo de elasticidad 0.5 – 1.2 Ma
	Resistencia al impacto alta capacidad de absorción de impactos, lo que lo hace adecuado para aplicaciones de amortiguación
	Construcción: Como aditivo para mejorar la flexibilidad y resistencia a impactos en concreto y asfaltos
	Aislantes acústicos y vibratorios: En la fabricación de pavimentos amortiguadores, suelos deportivos y barreras acústicas
<b>es</b>	Mejorador de suelos: Usado en la agricultura y paisajismo para mejorar la aireación y drenaje del suelo
	Carreteras: Incorporado en asfaltos para mejorar la resistencia a la fatiga y al agrietamiento

Fuente: Rencauchadora Tumba Julca E.I.R.L.

## B. Métodos

### 1) Preparación de muestras

Se realizo la recolección de neumáticos de caucho, fue reutilizado, próximamente se efectuó la separación de la malla interior, por último, por medio de un triturador se pulverizo para obtener el polvo de caucho. En la figura 6 se muestra el polvo de caucho aun con impurezas, en la figura 7 se encuentra listo para ser pesado y reservado.



Figure 6: Polvo de caucho antes de retirar las impurezas



Figure 7: Polvo de caucho.

Preparación de muestras, se determinó la cantidad de muestras según las dosificaciones propuestas (porcentaje de

adición del agente externo para los ensayos). En la tabla 2 se muestra la cantidad de ensayos a realizarse, el número de muestras que se prepararon y los ensayos para la determinación de las propiedades del concreto  $f_c = 140 \text{ kg/cm}^2$ .

TABLE II  
CANTIDAD DE MUESTRAS Y TIPO DE ENSAYOS REALIZADOS

% De Polvo de caucho	Ensayo de consistencia (und)	Ensayo por flexión (und)	Ensayo de compresión (und)	Total
0.00	1.00	15.00	15.00	
2.50	1.00	15.00	15.00	
5.00	1.00	15.00	15.00	120
10.00	1.00	15.00	15.00	muestras

En la tabla 2 se muestra el porcentaje de adición del agente externo a ser utilizado en la composición de las muestras (0%, 2.5%, 5% y 10%), para el ensayo de consistencia se realizaron 1 ensayo por cada dosificación considerando el concreto en estado fresco, \*en los ensayos por flexión y compresión se consideraron 5 muestras para dosificación teniendo en cuenta 7, 14 y 28 días de haber sido secada la muestra, es decir, 15 muestras para cada dosificación. Por lo tanto, se tuvo 120 muestras de concreto seco.

Se consideró el promedio de cada ensayo según la dosificación. Con respecto a la preparación de las muestras se realizó enfocado a la tabla 2, durante el relleno de los moldes (15cmx30cm) se aplicó una capa sustancial de petróleo para evitar inconvenientes durante el desencofrado. En la figura 8 se muestra la preparación de muestras, en la figura 9 se muestran las probetas y vigas para los ensayos de compresión y flexión respectivamente.



Fig. 8. Preparación de muestras (probetas)



Fig. 9. Muestras listas para los ensayos.

### 2) Ensayo de consistencia

Se determinó a través del cono de Abraham. En la figura 10 se muestra el momento en donde se efectuó dicho ensayo por los investigadores. Cabe resaltar que dicho ensayo estuvo directamente influenciado por la relación agua/cemento.



Fig. 10. Ensayo de consistencia

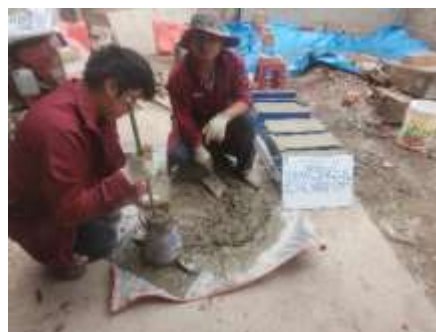


Fig. 11. Ensayo de consistencia

### 3) Ensayo de resistencia a la flexión

Se consideraron las muestras a los 7, 14 y 28 días de secado para las diferentes dosificaciones del agente externo. En la figura 7 se muestra el proceso del ensayo de resistencia a la flexión.



Fig. 12. Ensayo de flexión



Fig. 13. Ensayo de flexión

#### 4) Ensayo de resistencia a la compresión

Se determino a través de una prensa de compresión. En la figura 12 y 13 se muestra el momento en donde se efectuó dicho ensayo por los investigadores.



Fig. 14. Ensayo de compresión



Fig. 15. Probeta después del ensayo.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

TABLE III  
RESULTADOS DE ENSAYO SLUMP

%De adición de polímeros	Slump (asentamiento en pulg.)	Consistencia
0.00	3.00	Blanda
2.50	2.50	Blanda
5.00	2.50	Blanda
10.00	2.90	Blanda

Frente a la adición de los polímeros en caucho en los porcentajes propuesto no se evidencia un cambio representativo en la consistencia del concreto fresco, por otro lado, se experimenta mayores cambios para las muestras con 2.50% y 5.00%, por el contrario, al 10% no varía mucho en cuanto a la composición de 0% de adición de polímeros.

En la tabla 3 se muestran los resultados del ensayo de consistencia mediante la prueba de cono de Abrams, se detalla el porcentaje de polímero adicionado a la mezcla del concreto y la consistencia medida por el instrumento (asentamiento), se evidencia un cambio no muy significativo, el enfoque de la investigación es cimentaciones de  $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$  por lo tanto es aceptable una consistencia blanda o fluida, en respuesta a la adición de 2.50 y 5.00% se muestra una reducción en el asentamiento, es decir, incrementa la fluidez de la mezcla, en el proceso de vaciado de la mezcla la consistencia influye de manera directa y la recomendaciones para el tipo de consistencia que debe poseer la mezcla varía según el tipo estructura que se desee vaciar, si desea lograr un alto grado de resistencia se debe tener la consistencia seca, por otra parte si se desea aplicar a la mayoría de elementos estructurales se debe tener la consistencia blanda y fluida, por ultimo si se tiene un molde complejo la consistencia plástica es la mejor opción.

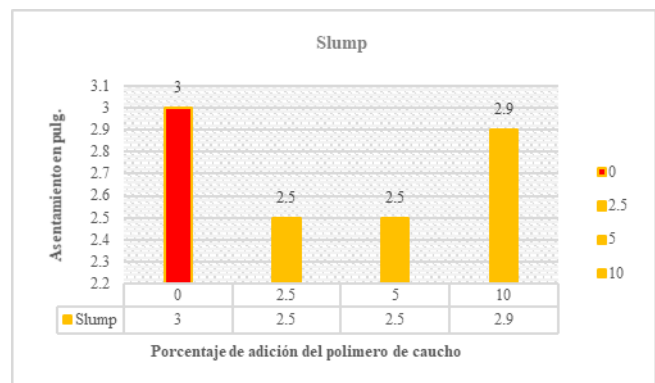


Fig. 16. Resultados del ensayo de Slump

En la figura 16 se muestra un gráfico de barras indicando los cambios en el asentamiento según el porcentaje adicionado de polímero de caucho. Se muestra de color rojo la muestra patrón. Se evidencia que a porcentaje 2.5% y 5% genera cambios reduciendo el asentamiento, a por el contrario si llega a adicionar 10% el asentamiento se acerca al resultado de la muestra patrón.

TABLE IV  
RESULTADOS DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN A LOS 7 DÍAS

N°	Descripción	Ubicación de la falla	Resistencia a la flexión
1	Viga de prueba - patrón	Tercio central	19.55
2	Adición 2.50% de polímeros	Tercio central	20.51
3	Adición 5.00% de polímeros	Tercio central	19.67
4	Adición 10.00% de polímeros	Tercio central	18.66

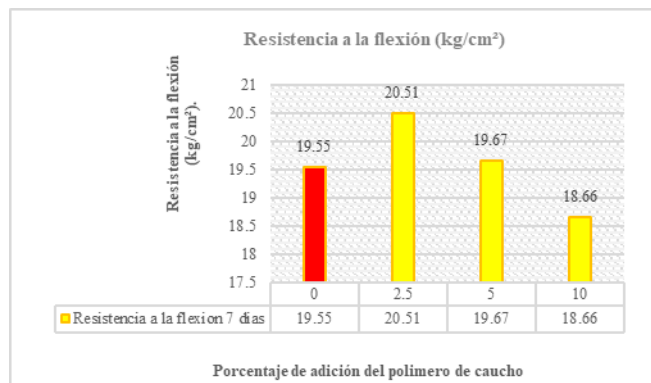


Fig. 16. Resultados del ensayo de resistencia a la flexión a los 7 días

En la figura 16 se muestra el grafico de barras de los resultados del ensayo de resistencia a la flexión con los porcentajes adicionados de polímero de caucho, de color rojo se muestra el patrón, los resultados mostraron que la dosificación al 2.5% de polímero de caucho mejoro un 4.91% el comportamiento de resistencia a la flexión en las vigas de ensayo.

Frente a la adición de los polímeros en caucho se realizó el ensayo de resistencia a la flexión a los 7 días, por lo cual se evidencia en la tabla 4 un aumento en la resistencia a la flexión para la adición de 2.5% de polímeros

TABLE V  
RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN A LOS 14 DÍAS

N°	Descripción	Ubicación de la falla	Resistencia a la flexión
1	Viga de prueba - patrón	Tercio central	21.57
2	Adición 2.50% de polímeros	Tercio central	21.91
3	Adición 5.00% de polímeros	Tercio central	20.98
4	Adición 10.00% de polímeros	Tercio central	19.48

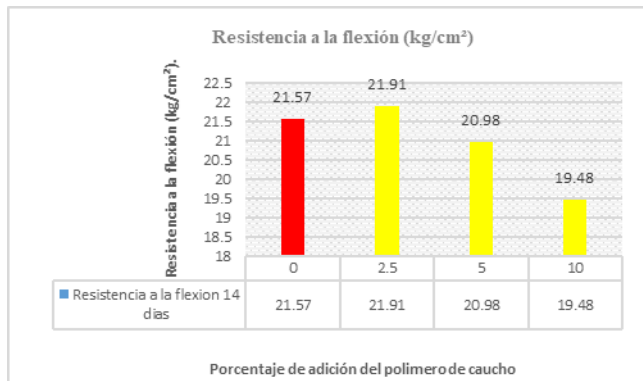


Fig. 17. Resultados del ensayo de resistencia a la flexión a los 14 días

En la figura 17 se muestra el grafico de barras de los resultados del ensayo de resistencia a la flexión con los porcentajes adicionados de polímero de caucho, de color rojo se muestra el patrón, los resultados mostraron que la dosificación al 2.5% de polímero de caucho mejoro un 1.51% el comportamiento de resistencia a la flexión en las vigas de ensayo, a diferencia de las dosificaciones de 5% y 10%, que por el contrario redujeron la capacidad de resistencia a la flexión.

Frente a la adición de los polímeros en caucho se realizó el ensayo de resistencia a la flexión a los 14 días, por lo cual se evidencia en la tabla 5 un aumento en la resistencia a la flexión para la adición de 2.50% de polímeros.

TABLE VI  
RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN A LOS 28 DÍAS

N°	Descripción	Ubicación de la falla	Resistencia a la flexión
1	Viga de prueba - patrón	Tercio central	22.37
2	Adición 2.50% de polímeros	Tercio central	22.95
3	Adición 5.00% de polímeros	Tercio central	21.32
4	Adición 10.00% de polímeros	Tercio central	20.54

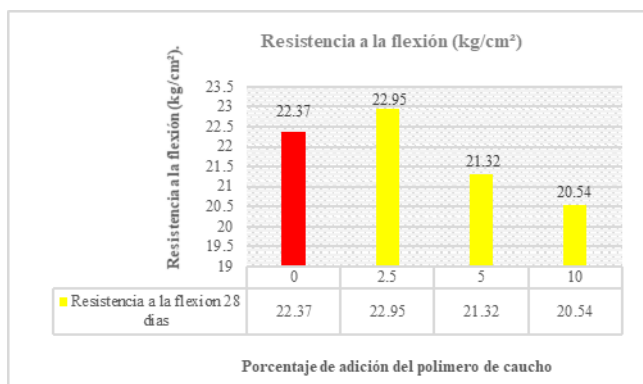


Fig. 18. Resultados del ensayo de resistencia a la flexión a los 28 días.

En la figura 18 se muestra el grafico de barras de los resultados del ensayo de resistencia a la flexión con los porcentajes adicionados de polímero de caucho, de color rojo se muestra el patrón, los resultados mostraron que la

dosificación al 2.5% de polímero de caucho mejoro un 2.59% el comportamiento de resistencia a la flexión en las vigas de ensayo, a diferencia de las dosificaciones de 5% y 10%, que por el contrario redujeron la capacidad de resistencia a la flexión.

Frente a la adición de los polímeros en caucho se realizó el ensayo de resistencia a la flexión a los 28 días, por lo cual se evidencia en la tabla 4 un aumento en la resistencia a la flexión para la adición de 2.50% de polímeros

En la tabla 4,5 y 6, se muestran los resultados del ensayo resistencia a la flexión a los 7, 14 y 28 días, se prepararon 5 muestras para cada porcentaje de adición de polímero de caucho, los resultados mostrados en la resistencia a la flexión (kg/m<sup>2</sup>) son los promedios de las 5 muestras. En la tabla 4 se evidencia que el porcentaje de adición de 2.50% es la dosificación más óptima si se busca mejorar dicha propiedad del concreto, esto representa un incremento de 4.68% en comparación a la muestra patrón, el porcentaje de adición de las muestras con 5.00% mantiene la resistencia a la flexión al no producir cambios significativos y el porcentaje de adición de 10.00% por otra parte genera cambios negativos al reducir dicha propiedad. En la tabla 5 se evidencia los resultados del ensayo de resistencia a la flexión a los 14 días, sin embargo, no existe un cambio significativo a comparación de la muestra patrón, en consecuencia, se muestra una disminución de la propiedad a un porcentaje de adición de 5.00 y 10.00%. En la tabla 6 se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la flexión a los 28 días, nuevamente como se mostró en la tabla 3 se resalta que la dosificación más óptima para el resultado esperado de mejorar dicha propiedad es la adición de 2.50% de polímero de caucho, esto se debe a la característica que posee dicho material añadido que es la capacidad de doblarse sin romperse y la tenacidad, sin embargo, al aumentar dicho polímero se tiene que reducir la cantidad de concreto y esto afecta notablemente la resistencia a la flexión.

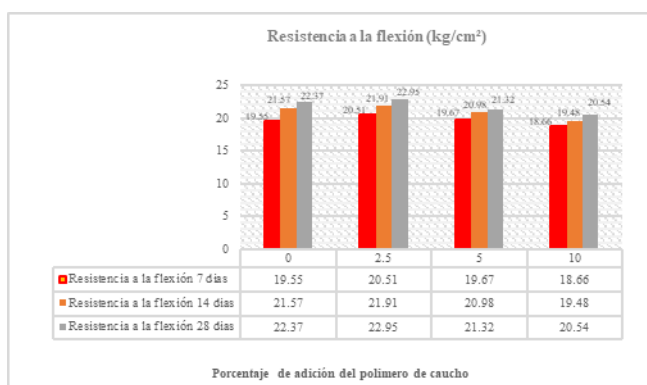


Fig., 19. Resultados del ensayo de resistencia a la flexión a los 7, 14 y 28 días.

En la figura 19 se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la flexión a 7, 14 y 28 días, se evidencian mejores resultados con respecto a la mejora de dicha propiedad con la dosificación de 2.5% de adición de polímero de caucho, por otro lado, se muestra que la mejor respuesta es en dicha dosificación, por el contrario, a las dosificaciones de 5% y 10% en donde generan cambios negativos en la capacidad de

resistencia a la compresión.

TABLE VII  
RESULTADOS DE ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS PARA UNA RESISTENCIA TEÓRICA DE F'C=140 KG/CM<sup>2</sup>

Nº	Descripción	Carga (g)	Área (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo de rotura experimental (kg/cm <sup>2</sup> )	%
1	Viga de prueba – patrón	18884.00	177.20	106.38	75.99
2	Adición 2.50% de polímeros	20614.00	177.28	116.27	83.05
3	Adición 5.00% de polímeros	18336.00	177.56	103.26	73.76
4	Adición 10.00% de polímeros	16456.00	177.75	92.58	66.13

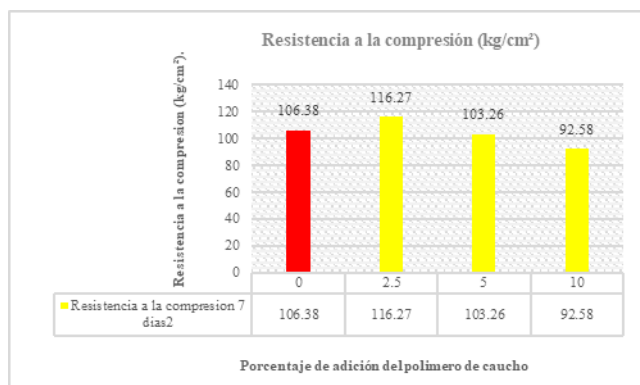


Fig. 20. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días

En la figura 20 se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días, de color rojo se muestra el resultado de la probeta patrón, la cual posee una resistencia a la compresión de 106.38 kg/cm<sup>2</sup>, los resultados mostraron que la dosificación de 2.5% de adición de polímero de caucho al concreto genera mejores resultados, incrementando un 9.29% dicha capacidad.

Frente a la adición de los polímeros en caucho se realizó el ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días, por lo cual se evidencia en la tabla 7 un aumento en la resistencia a la compresión para la adición de 2.50% de polímeros. %, se refiere al porcentaje en relación con el 100% para que alcance la resistencia a la compresión teórica (deseada) de 140 kg/cm<sup>2</sup>.

TABLE VIII  
RESULTADOS DE ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS PARA UNA RESISTENCIA TEÓRICA DE F'C=140 KG/CM<sup>2</sup>

Nº	Descripción	Carga (g)	Área (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo de rotura experimental (kg/cm <sup>2</sup> )	%
1	Viga de prueba – patrón	22322.00	177.47	125.79	89.85
2	Adición 2.50% de polímeros	23168.00	177.33	130.65	93.32
3	Adición 5.00% de polímeros	21870.00	177.80	123.07	87.91

Adición					
4	10.00% de polímeros	21110.00	177.04	119.23	85.16

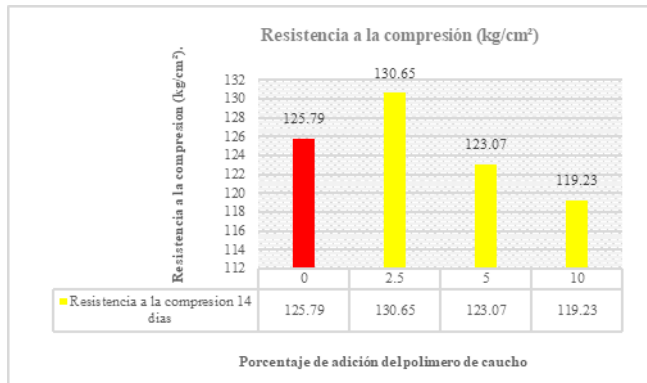


Fig. 21. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 14 días

En la figura 21 se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 14 días, de color rojo se muestra el resultado de la probeta patrón, la cual posee una resistencia a la compresión de 106.38 kg/cm<sup>2</sup>, los resultados mostraron que la dosificación de 2.5% de adición de polímero de caucho al concreto genera mejores resultados, incrementando un 3.86% dicha capacidad.

Frente a la adición de los polímeros en caucho se realizó el ensayo de resistencia a la compresión a los 14 días, por lo cual se evidencia en la tabla 8 un aumento en la resistencia a la compresión para la adición de 2.50% de polímeros. %, se refiere al porcentaje en relación con el 100% para que alcance la resistencia a la compresión teórica (deseada) de 140 kg/cm<sup>2</sup>.

TABLE IX  
RESULTADOS DE ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS PARA UNA RESISTENCIA TEÓRICA DE  $f'c=140$  KG/CM<sup>2</sup>

N°	Descripción	Carga (g)	Área (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo de rotura experimental (kg/cm <sup>2</sup> )	%
1	Viga de prueba – patrón	28872.00	177.42	162.73	116.24
2	Adición 2.50% de polímeros	29550.00	177.33	166.64	119.03
3	Adición 5.00% de polímeros	26972.00	177.42	152.02	108.59
4	Adición 10.00% de polímeros	24076.00	177.14	135.91	97.08

Table 9 Resultados de ensayo de resistencia a compresión a los 28 días para una resistencia teórica de  $f'c=140$  kg/cm<sup>2</sup>

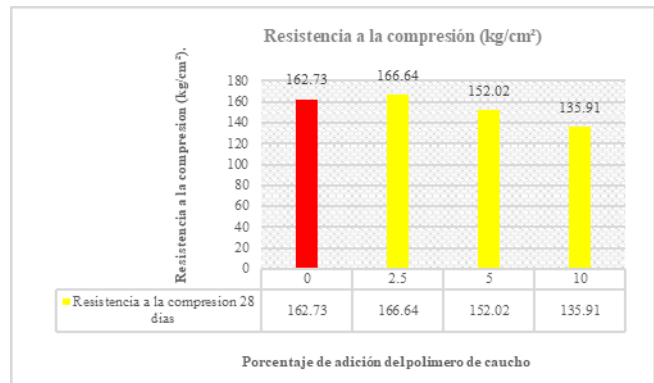


Fig. 22. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días

En la figura 22 se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días, de color rojo se muestra el resultado de la probeta patrón, la cual posee una resistencia a la compresión de 162.73 kg/cm<sup>2</sup>, los resultados mostraron que la dosificación de 2.5% de adición de polímero de caucho al concreto genera mejores resultados, incrementando un 2.40% dicha capacidad.

Frente a la adición de los polímeros en caucho se realizó el ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días, por lo cual se evidencia en la tabla 7 un aumento en la resistencia a la compresión para la adición de 2.50% de polímeros. %, se refiere al porcentaje en relación con el 100% para que alcance la resistencia a la compresión teórica (deseada) de 140 kg/cm<sup>2</sup>.

En la tabla 7, 8 y 9, se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días, se prepararon 5 muestras para cada porcentaje de adición de polímero de caucho, los resultados mostrados en la resistencia a la compresión (kg/m<sup>2</sup>) son los promedios de las 5 muestras. En la tabla 7 se muestra los resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días, se evidencia que la adición al 2.50% es la dosificación óptima para mejorar dicha propiedad, se identifica que soporta 28614.00 kg, representando 116.27 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a la compresión experimental. En la tabla 8 se muestra los resultados del ensayo de resistencia a la compresión, en donde persiste que la dosificación más óptima es la adición de 2.50%. En la tabla 9 se evidencia que la adición de 2.50% soporta la carga de 29550.00 kg, esto representa 166.64 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a la compresión, en porcentaje esto representó un 2.79% de aumento de dicha propiedad. El material adicionado contiene la propiedad de compresión, la cual se entiende como la capacidad que posee dicho objeto para oponerse a la reducción de su volumen ante la experiencia de una fuerza

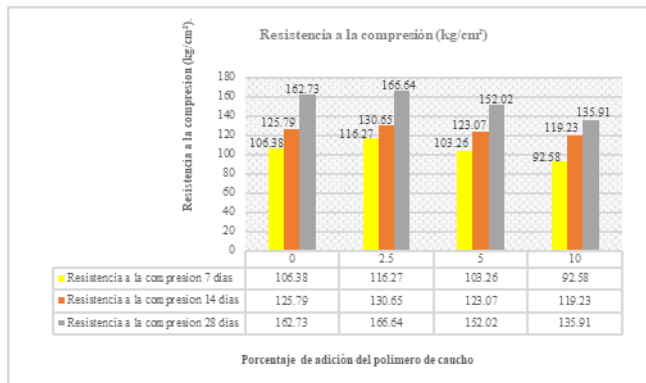


Fig. 23. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días.

En la figura 23 se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión a 7, 14 y 28 días, se evidencian mejores resultados con respecto a la mejora de dicha propiedad con la dosificación de 2.5% de adición de polímero de caucho, por otro lado, se muestra que la mejor respuesta es en dicha dosificación, por el contrario, a las dosificaciones de 5% y 10% en donde generan cambios negativos en la capacidad de resistencia a la compresión.

La adición de polímeros de caucho en el concreto tiene efectos específicos en sus propiedades físico-mecánicas, que dependen en gran medida de la proporción de caucho incorporado. Cuando se añade en pequeñas cantidades, como en el caso de un 2.5%, el caucho se distribuye homogéneamente en la mezcla de concreto, ocupando intersticios en la matriz del cemento sin alterar significativamente su estructura. Esta distribución permite que el concreto sea más capaz de absorber y disipar energía gracias a la elasticidad del caucho, lo cual mejora la resistencia a la flexión y reduce la formación de microfisuras bajo cargas de impacto o deformaciones moderadas. Además, el caucho en proporciones bajas refuerza la tenacidad del concreto, haciéndolo más resistente a cargas dinámicas y a esfuerzos repetidos. La inclusión limitada de caucho disminuye la rigidez del concreto, pero no compromete su resistencia a la compresión ni la cohesión entre la pasta de cemento y los agregados, contribuyendo a una mayor durabilidad del material.

Sin embargo, cuando el contenido de caucho se incrementa a niveles de 5% o 10%, la matriz de cemento se ve alterada de forma más significativa, afectando negativamente las propiedades de la mezcla. Al aumentar la cantidad de caucho, el concreto experimenta una menor cohesión debido a la baja capacidad de adhesión del caucho con la pasta de cemento, que es hidrofóbica y tiene poca afinidad química. Esto genera zonas de contacto deficientes, vacíos y una estructura menos densa, reduciendo la resistencia a la compresión. La mayor cantidad de caucho también incrementa la cantidad de espacios vacíos, actuando como puntos débiles que disminuyen la densidad y, por ende, la capacidad de carga del concreto. Además, un contenido elevado de caucho reduce la rigidez del material, haciéndolo menos adecuado para

aplicaciones que requieran soportar cargas compresivas elevadas. Bajo carga, el caucho muestra deformación plástica, pero la matriz de cemento tiende a fracturarse porque es frágil. Esta diferencia en el comportamiento genera una distribución de tensiones que no es uniforme. Con este comportamiento, se facilita la aparición de grietas y fracturas

Para terminar, la adición de caucho reciclado al concreto en cantidades pequeñas (2,5%) deja usar sus ventajas, como la flexibilidad y la tenacidad, junto con su habilidad para absorber energía y reducir microfisuras. Aun así, al pasar este porcentaje, el caucho empieza a actuar como un agente que interrumpe, formando espacios vacíos y disminuyendo la cohesión en la matriz de cemento. Esto pone en riesgo la integridad estructural del concreto. En suma, la factibilidad del concreto con caucho depende de una dosificación que se controle con mucho cuidado. De este modo es posible aprovechar sus contribuciones a la sostenibilidad sin poner en peligro la integridad estructural del material.

#### IV. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El propósito del análisis estadístico fue determinar el efecto de los polímeros de caucho sobre la resistencia a la compresión del concreto ( $f'_c = 140 \text{ kg/cm}^2$ ). Para asegurar la validez de los resultados, se examinó la normalidad de los datos con la prueba de Shapiro-Wilk. Esta prueba se llevó a cabo con un nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ), lo que permitió confirmar si la distribución de los datos seguía una curva normal.

El estudio involucró la preparación y prueba de mezclas de concreto con cuatro diferentes proporciones de caucho reciclado: 0 % (mezcla de control), 2.5 %, 5 % y 10 %. Para cada proporción, se produjeron cinco probetas, obteniéndose un total de 20 especímenes para el estudio. Desde el muestreo hasta la prueba final, todo el proceso siguió estrictamente las normativas internacionales correspondientes, incluyendo los estándares ASTM C172, C143, C39 y las indicaciones del ACI 318-19. Estas reglas aseguraron un muestreo, revenimiento, curado y prueba adecuados de las probetas tanto en estado fresco como endurecido. Las pruebas de resistencia a la compresión se realizaron a los 7 y 28 días de curado.

El análisis estadístico arrojó resultados clave, como un promedio de resistencia de  $150.4 \text{ kg/cm}^2$  y una desviación estándar de  $11.19 \text{ kg/cm}^2$ , catalogada como excelente según el ACI 214R. El coeficiente de variación fue de 4.6%, clasificando el control de ensayos como bueno. La prueba Shapiro-Wilk confirmó la normalidad de los datos, con un coeficiente calculado de 0.8788, superior al teórico de 0.8680, y un P-valor mayor a 0.05. Esto validó la confiabilidad estadística y la consistencia de los resultados.

La evaluación mostró que la adición de caucho reciclado afecta la resistencia del concreto de manera distinta según la proporción utilizada. Con un 0% de aditivo, las mezclas lograron resistencias satisfactorias, cumpliendo con las especificaciones. Al incorporar un 2.5%, se observó una ligera mejora en la distribución de carga y la resistencia. Sin embargo, proporciones mayores, como 5% y 10%, resultaron

en una disminución significativa de la resistencia, probablemente debido a una mayor porosidad y menor cohesión en la matriz del concreto. La probabilidad de falla estimada fue del 14.4%, equivalente a 1 de cada 7 muestras, dentro de parámetros aceptables.

El análisis de control de calidad determinó que la dosificación óptima de caucho reciclado es del 2.5 %. Este porcentaje representa el mejor balance entre la mejora de propiedades como la ductilidad y la tenacidad, y una merma aceptable en la resistencia a la compresión. En contraste, dosificaciones superiores (5 % y 10 %) mostraron un impacto negativo en la integridad del concreto, limitando la viabilidad técnica del material para aplicaciones estructurales.

Se recomienda optimizar las mezclas manteniendo el contenido de caucho en un 2.5%, realizar estudios adicionales para evaluar la durabilidad y microestructura del concreto, y considerar su aplicación en elementos no estructurales donde la reducción de peso y la absorción de energía sean beneficiosas. Fomentar el uso de caucho reciclado en la construcción ayudaría a cuidar el medio ambiente y a manejar mejor los residuos, lo que va de la mano con prácticas responsables en el sector.

Para resumir, esta investigación confirma que el caucho reciclado puede ser un aditivo útil para el concreto, proporcionando una opción que mantiene un buen desempeño estructural. Lo más importante es que la cantidad adecuada de caucho es fundamental para crear un material de construcción que sea tanto sostenible como eficaz. Este estudio abre la puerta a futuras aplicaciones ecológicas y brinda información valiosa para diseñar nuevos materiales en el campo de la ingeniería civil.

## V. DISCUSIÓN

El estudio realizado por El-Sayed Abd y su equipo mostró que al usar un 4.5% de caucho reciclado en lugar de agregado fino, la resistencia a la flexión aumentó un 6.0%. Este incremento es superior a los observados en el presente estudio, donde los especímenes con un 2.5% de caucho mostraron un aumento del 2.6%, mientras que aquellos con un 5% y 10% de caucho presentaron disminuciones del 4.7% y 8.2% respectivamente. Asimismo, se reportó una disminución del 2% en la resistencia a la compresión, valor que es menor en comparación con los resultados obtenidos en este trabajo. Aquí, los especímenes con un 2.5% de caucho mostraron un incremento del 2.6% en resistencia a la compresión, mientras que los especímenes con un 5% y 10% presentaron disminuciones del 6.6% y 16.5% respectivamente.

La variabilidad en los resultados puede atribuirse al tamaño de las partículas utilizadas; El-Sayed Abd y su equipo emplearon caucho retenido en la malla N° #40 (0.420 mm). Mahmoud Eissa y colaboradores destacaron que el contenido óptimo de caucho se encuentra entre el 2% y el 5%, lo que sugiere un enfoque equilibrado para mejorar las propiedades mecánicas sin comprometer significativamente las resistencias a la compresión y flexión más allá de estos parámetros.

Para optimizar las propiedades mecánicas del concreto con

adición de caucho, Campoy-Bencomo y colaboradores señalaron que el mejor desempeño se logra utilizando fibras de caucho de 60 mm y una incorporación del 1.5% del polímero. Además, atribuyeron la mejora en la trabajabilidad durante el estado plástico a las formas irregulares de las fibras, que reducen la fricción interna y facilitan la manipulación del concreto.

## VI. CONCLUSIONES

Los resultados del ensayo de consistencia mostraron que, al incorporar los polímeros de caucho en los porcentajes propuestos, no se observa un cambio significativo en la consistencia del concreto fresco. Sin embargo, se notan mayores variaciones en las muestras con un 2.50% y 5.00%, mientras que el 10% presenta una consistencia similar a la del concreto sin adición de polímeros.

Con respecto al ensayo de resistencia a la flexión aplicado a las vigas a los 7 días del concreto, se muestra que la dosificación que mejor respuesta genera en cuanto a la mejora de dicha capacidad es de 2.5% la cual produce un cambio positivo en dicha capacidad de 4.91%, del mismo modo la dosificación de 5% produjo una mejora de 0.61%, sin embargo, la adición de 10%, produce una reducción de -4.55% en la resistencia a la flexión

En el ensayo de resistencia a la flexión realizado en vigas de concreto a los 14 días, se observa que la dosificación de 2.5% es la que genera la mejor mejora, con un aumento del 1.57% en dicha capacidad. No obstante, la adición de un 5% resulta en una disminución del 2.73% en la resistencia a la flexión. De manera similar, la dosificación del 10% muestra una reducción del 8.02%.

En el ensayo de resistencia a la flexión realizado en vigas de concreto a los 28 días, la dosificación de 2.5% es la que presenta la mayor mejora, con un incremento del 2.597% en esta capacidad. Sin embargo, la adición de un 5% ocasiona una disminución del 4.69% en la resistencia a la flexión, y de manera similar, la dosificación del 10% provoca una reducción del 8.18%.

En el ensayo de resistencia a la compresión realizado en las probetas de concreto a los 7 días, se observa que la dosificación de 2.5% es la que genera la mejor mejora, con un aumento del 9.29% en dicha capacidad. No obstante, la adición de un 5% resulta en una disminución del 2.93% en la resistencia a la flexión. De manera similar, la dosificación del 10% muestra una reducción del 12.97%.

En el ensayo de resistencia a la compresión realizado en las probetas de concreto a los 14 días, se evidencia que la dosificación del 2.5% ofrece el mejor resultado, con un incremento del 3.86% en la capacidad de compresión. Sin embargo, la adición del 5% genera una disminución del 2.16%, y de forma similar, el 10% de dosificación provoca una reducción del 5.21%.

En el ensayo de resistencia a la compresión realizado en las probetas de concreto a los 28 días, la dosificación del 2.5% muestra los mejores resultados, con un aumento del 2.49% en

la capacidad de compresión. No obstante, al añadir un 5%, se observa una disminución del 6.58%, y de manera similar, la dosificación del 10% ocasiona una reducción del 16.48%.

## REFERENCES

- [1] Campoy-Bencomo, N. A., Chávez-Alegria, O., Rojas-González, E., Gaxiola-Camacho, J. R., Millán-Almaraz, J. R., Rosa-Hernández, D. D. la, Campoy-Bencomo, N. A., Chávez-Alegria, O., Rojas-González, E., Gaxiola-Camacho, J. R., Millán-Almaraz, J. R., & Rosa-Hernández, D. D. la. (2021). Análisis esfuerzo-deformación de concreto reforzado con fibras metálicas y polímeros. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 22(1), 0–0. <https://doi.org/10.22201/II.25940732E.2021.22.1.007>
- [2] Fuentes Molina, N., Fuentes, N., Jiménez, K., & Otero Añez, R. Y. (2021). Aprovechamiento sostenible de residuos poliméricos como agregados del concreto: una revisión. 46(6).
- [3] He, Z., Shen, A., Guo, Y., Lyu, Z., Li, D., Qin, X., Zhao, M., & Wang, Z. (2019). Cement-based materials modified with superabsorbent polymers: A review. *Construction and Building Materials*, 225, 569–590. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2019.07.139>
- [4] Mechtcherine, V., Wyrzykowski, M., Schröfl, C., Snoeck, D., Lura, P., De Belie, N., Mignon, A., Van Vlierberghe, S., Klemm, A. J., Almeida, F. C. R., Tenório Filho, J. R., Boshoff, W. P., Reinhardt, H. W., & Igarashi, S. I. (2021). Application of super absorbent polymers (SAP) in concrete construction—update of RILEM state-of-the-art report. *Materials and Structures* 2021 54:2, 54(2), 1–20. <https://doi.org/10.1617/S11527-021-01668-Z>
- [5] Schröfl, C., Snoeck, D., & Mechtcherine, V. (2019). A review of characterisation methods for superabsorbent polymer (SAP) samples to be used in cement-based construction materials: report of the RILEM TC 260-RSC. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 50(4), 1–19. <https://doi.org/10.1617/S11527-017-1060-4>
- [6] Valencia Villegas, J. P., González Mesa, A. M., & Arbelaez Perez, O. F. (2019). Evaluación de las propiedades mecánicas de concretos modificados con microesferas de vidrio y residuos de llantas. *Lámpsakos*, 22, 16–26. <https://doi.org/10.21501/21454086.3283>
- [7] Venitez-Mosquera, J. F., Cordoba-Palacios, Y. M., Mena-Ramirez, K. P., & Arbelaez-Perez, O. F. (2020). Propiedades mecánicas de concretos modificados con plástico marino reciclado en reemplazo de los agregados finos. *Revista Politécnica*, 16, 77–84. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v16n31a6>
- [8] Venkatachalam, D., & Kaliappa, S. (2023). Superabsorbent polymers: A state-of-art review on their classification, synthesis, physicochemical properties, and applications. *Reviews in Chemical Engineering*, 39(1), 127–171. <https://doi.org/10.1515/REVCE-2020-0102/>
- [9] Woyciechowski, P. P., & Kalinowski, M. (2019). The Influence of Dosing Method and Material Characteristics of Superabsorbent Polymers (SAP) on the Effectiveness of the Concrete Internal Curing. *Materials* 2018, Vol. 11, Page 1600, 11(9), 1600. <https://doi.org/10.3390/MA11091600>
- [10] Jafarifar, N., Salami, A., & Bassioni, G. (2021). Mechanical properties of rubberized concrete with treated waste tire aggregates. *Construction and Building Materials*, 273, 121713. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121713>
- [11] Silva, R. V., de Brito, J., & Dhir, R. K. (2020). Incorporation of waste materials in the production of concrete. *Cement and Concrete Composites*, 103, 197–217. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.05.019>
- [12] Sienkiewicz, M., Kucinska-Lipka, J., Janik, H., & Balas, A. (2022). Progress in used tyres management in the European Union: A review. *Waste Management*, 121, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.05.010>
- [13] Jamaludin, M. M., Mohd, S. N. A., & Zakaria, F. (2019). Rubberized concrete: An overview of its mechanical properties and durability. *Journal of Cleaner Production*, 206, 741–753. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.265>
- [14] Shu, X., & Huang, B. (2020). Recycling of waste tire rubber in asphalt and portland cement concrete: An overview. *Construction and Building Materials*, 35, 304–320. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.027>
- [15] Wang, S., Zhang, L., & Sun, D. (2021). Effects of recycled rubber particles on the mechanical properties and durability of rubberized concrete. *Materials*, 14(15), 4321. <https://doi.org/10.3390/ma14154321>
- [16] Mahmoud Eissa, Ahed Habib, Ausamah AL Hourri & Bashar Alibrahim (2024). Recent efforts on investigating the effects of recycled rubber content on the mechanical properties of structural concrete. *Discover Civil Engineering*, 24(16), 24. <https://link.springer.com/article/10.1007/s44290-024-00017-7>
- [17] El-Sayed Abd, E., Sherif Araby, Mills, J. E., Osama Youssf, Rajeev Roychand, Xing Ma, Yan Zhuge & Rebecca J. Gravina (2019). Novel approach to improve crumb rubber concrete strength using thermal treatment. *Construction and Building Materials*, 12(20), 15. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116901>

## ANEXOS

### Anexo 1: Evidencia de sumisión de tesis

26/2/25, 20:08

Gmail - [F&SI] Reconocimiento de envío



tomy.yapo <tojoyaca@gmail.com>

#### [F&SI] Reconocimiento de Presentación

1 mensaje

Francesco Iacoviello via Italian Group Fracture <fracturae@gruppofrattura.es>  
Responder Para: Francesco Iacoviello <francesco.iacoviello@gruppofrattura.es>  
Para: TOMY JONATHAN YAPO CALSIN <tojoyaca@gmail.com>

Mié, 26 de febrero de 2025 a las 8:03 PM

TOMY JONATHAN YAPO CALSIN

Gracias por enviar el manuscrito, "Efecto de Polímeros de caucho en la resistencia del concreto floc=140kg/cm<sup>3</sup>" a Fracture and Structural Integrity. Con el sistema de gestión de revistas en línea que estamos utilizando, podrá realizar un seguimiento de su progreso a través del proceso editorial iniciando sesión en el sitio web de la revista:

URL del manuscrito: <https://www.fracturas.com/index.php/ifa/authorDashboard/presentacion/5405>  
Nombre de usuario: tomy\_yapo

Si tiene alguna pregunta, contáctame. Gracias por considerar este diario como un lugar para su trabajo.

Deseo recordarle eso Fractura e Integridad Estructural cuenta con el apoyo financiero del Grupo Italiano de Fractura y del crowdfunding y es completamente gratuito tanto para lectores como para autores. No se requieren cargos de procesamiento ni cargos de presentación. Estamos agradecidos por su contribución a nuestra revista y por ser parte de nuestra gran comunidad.

Francesco Iacoviello

Professor Francesco Iacoviello  
Fractura e Integridad Estructural, Editor en Jefe  
Gruppo Italiano Frattura (IGF), Presidente Emerito  
Università di Cassino e del Lazio Meridionale - DICEM  
via G. Di Biase 43, 03043 Cassino (FR), Italia  
tel. +39 07762993691

**Anexo 2:** Copia de resolución de inscripción de perfil de proyecto de tesis.



"AÑO DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO"

**RESOLUCIÓN N° 0570-2023/UPeU-FIA-CF-T**

Lima, Día 10 de octubre de 2023

**VISTO:**

El expediente de **Jhosep Yamir Colque Quispe**, identificado(s) con Código Universitario N° 201520740 y **Tomy Jonathan Yapó Calsín**, identificado(s) con Código Universitario N° 201220897, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

**CONSIDERANDO**

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la aprobación e inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo y la designación o nombramiento del asesor para la obtención del título profesional;

Que **Jhosep Yamir Colque Quispe** y **Tomy Jonathan Yapó Calsín**, han solicitado: la inscripción del perfil de proyecto de tesis titulado "INFLUENCIA DEL POLÍMEROS(PB) RECICLADOS, EN LAS PROPIEDADES A FLEXO-COMPRESION DE UN CONCRETO  $f_c=140\text{Kg/cm}^2+25\%PM$ , JULIACA 2023" y la designación del Asesor, encargado de orientar y asesorar la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo;

Estado a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 10 de octubre de 2023, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

**SE RESUELVE:**

Aprobar el perfil de proyecto de tesis en formato artículo titulado "INFLUENCIA DEL POLÍMEROS(PB) RECICLADOS, EN LAS PROPIEDADES A FLEXO-COMPRESION DE UN CONCRETO  $f_c=140\text{Kg/cm}^2+25\%PM$ , JULIACA 2023" y disponer su inscripción en el registro correspondiente, designar a **Dr. Nestor Alejandro Cruz Calapuja** como ASESOR para que oriente y asesore la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo el cual fue dictaminado por: **Ing. Herson Duberly Pari Cusi** y **Mg. Gerardo William Pari Quispe**, otorgándoles un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución.

Regístrese, comuníquese y archívese.



  
Dra. Erika Inés Acuña Salinas  
DECANA



  
Mg. Ketty Magaly Arellano Lino  
SECRETARIA ACADÉMICA

cc:  
-Internado  
-Asesor  
-Dirección General de Investigación  
-Archivo



"AÑO DEL BICENTENARIO, DE LA CONSOLIDACIÓN DE NUESTRA INDEPENDENCIA, Y DE LA CONMEMORACIÓN DE LAS HEROICAS BATALLAS DE JUNÍN Y AYACUCHO"

RESOLUCIÓN N° 0666-2024/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Ñaña 27 de agosto de 2024

**VISTO:**

El expediente de **Jhosep Yamír Colque Quispe**, identificado(a) con código universitario N° 201520740 y **Tomy Jonathan Yapó Calsín**, identificado(a) con código universitario N° 201220897, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

**CONSIDERANDO:**

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la designación del Comité Dictaminador del proyecto de tesis;

Que **Jhosep Yamír Colque Quispe** y **Tomy Jonathan Yapó Calsín**, han concluido el desarrollo de la tesis en formato artículo y con la opinión favorable de su asesor, solicitan la designación del Comité Dictaminador respectivo;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 27 de agosto de 2024, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

**SE RESUELVE:**

Designar el Comité Dictaminador encargado de administrar el proceso de dictamen correspondiente a la tesis en formato artículo, titulada "Efecto de polímeros de caucho en la resistencia del concreto  $f_c=140\text{kg/cm}^2$ ", presentado por **Jhosep Yamír Colque Quispe** y **Tomy Jonathan Yapó Calsín**, otorgándoles un plazo máximo de diez (10) hábiles, posterior a la fecha de recepción de la presente resolución, para emitir el dictamen respectivo a través de la plataforma oficial.

Dictaminador 1: Ing. Herson Duberly Pazi Cusi  
Dictaminador 2: MSc. Eder Mamani Chambi

Regístrese, comuníquese y archívese.



  
Dra. Erika Inés Acuña Salinas  
DECANA



  
Ph.D. Silvin Pilco Quesada  
SECRETARIA ACADÉMICA

CC:  
-Interesado  
-Jurado (D2)  
-Archivo

“AÑO DE LA RECUPERACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA ECONOMÍA PERUANA”

RESOLUCIÓN N° 0076-2025/UPeU-FIA-CF

Lima, Ñaña, 11 de marzo de 2025

**VISTO:**

El expediente de los (las) bachilleres **Jhosep Yamir Colque Quispe** identificado(a) con código universitario N° 201520740 y **Tomy Jonathan Yapo Calsín** identificado(a) con código universitario N° 201220897, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

**CONSIDERANDO:**

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la sustentación de la tesis en formato artículo;

Que el Comité Dictaminador ha emitido su dictamen aprobando el informe de tesis titulado “Efecto de Polímeros de caucho en la resistencia del concreto  $f_c=140\text{kg/cm}^2$ ”, presentado por los (las) bachilleres **Jhosep Yamir Colque Quispe** y **Tomy Jonathan Yapo Calsín**, reuniendo de esta manera las condiciones previas para la declaratoria de expedito para la programación de la sustentación;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 11 de marzo de 2025, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de investigación de la Universidad;

**SE RESUELVE:**

1. Declarar expedito a los (las) bachilleres **Jhosep Yamir Colque Quispe** y **Tomy Jonathan Yapo Calsín**, para que sustenten la tesis en formato artículo titulada “Efecto de Polímeros de caucho en la resistencia del concreto  $f_c=140\text{kg/cm}^2$ ”, conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero Civil, el 07 de abril a las 09:00 horas, en la modalidad presencial, en el Salón de Actos Wellesley Muir.
2. Designar el Jurado de Sustentación, encargado de gestionar la sustentación respectiva, el mismo que queda constituido por los siguientes miembros:

Presidente: Mg. Leonel Chahuares Paucar  
Secretario: Mg. Herson Duberly Pari Cusi  
Asesor: Dr. Nestor Alejandro Cruz Calapuja  
Vocal 1: MSc. Eder Mamani Chambi

Regístrese, comuníquese y archívese.



  
Dra. Erika Inés Acuña Salinas  
DECANA



  
Ph.D. Silvia Pilco Quesada  
SECRETARIA ACADÉMICA

cc:  
- Inmediado  
- Jurado (04)  
- Secretaría General  
- Archivo