

# Influencia de la incorporación de caucho reciclado en el concreto estructural y su respuesta sísmica hipotética, Juliaca 2021

## Influence of the incorporation of recycled rubber in structural concrete and its hypothetical seismic response, Juliaca 2021

Recibido: setiembre 09 de 2022 | Revisado: octubre 10 de 2022 | Aceptado: noviembre 11 de 2022

JESÚS VIDAL QUISPE JUSTO<sup>1</sup>  
YOJAN HUAMANTUPA MAR<sup>2</sup>

### RESUMEN

Nuestro objetivo fue determinar la influencia de la incorporación de caucho reciclado en el concreto estructural y su respuesta sísmica hipotética, con una muestra no probabilística de método DBCA de 84 briquetas que incluyen al concreto patrón con un diseño 210 kgf/cm<sup>2</sup> y concreto con incorporación de caucho reciclado al 2, 4 y a 6% los cuales fueron evaluados a los 7, 14 y 28 días de edad bajo observación directa, los parámetros como la resistencia a la compresión y a la tracción indirecta diametral donde los resultados demostraron que la incorporación más óptima fue de 4% de caucho tanto fino como granulado a los 28 días en todos los parámetros superando la resistencia a la compresión en un 3.76% y 4.14%, así también la resistencia a la tracción indirecta diametral en un 8.98% y 16.05% respecto al concreto patrón y de acuerdo con el análisis los porcentajes de caucho óptimos encontrados, se determinó un porcentaje de mejora con la incorporación de caucho al 4% tanto fino como granulado en las derivas máximas para el sentido X-X 3.44% y 3.87%, así mismo para el sentido Y-Y del 3.47% y 3.96% respectivamente en comparación con el concreto patrón. Demostrando así que es aceptable el uso de caucho al 4% tanto fino como granulado en el concreto.

**Palabras clave:** concreto, caucho reciclado, respuesta sísmica

### ABSTRACT

The objective here was to determine the influence of the incorporation of recycled rubber in structural concrete and its hypothetical seismic response, developing the investigation under a type of applied investigation, of pure experimental design with a non-probabilistic sample of DBCA method of 84 briquettes that include the standard concrete with a design of 210 kgf/cm<sup>2</sup> and concrete with the incorporation of recycled rubber at 2%, 4% and 6%, which were evaluated at 7, 14 and 28 days of age under the technique From direct observation, parameters such as resistance to compression and indirect diametral traction where the results showed that the most optimal incorporation was 4% of both fine and granulated rubber at 28 days in all parameters, surpassing the resistance to compression by 3.76% and 4.14%, as well as the diametral indirect tensile strength by 8.98% and 16.05% with respect to the standard concrete and according to or with the analysis of the hypothetical seismic response with the optimal rubber percentages found, an improvement percentage was determined with the incorporation of 4% rubber, both fine and granulated, in the maximum drifts for the X-X direction 3.44% and 3.87%, as well same for the Y-Y direction of 3.47% and 3.96% respectively compared to the concrete pattern. Thus demonstrating that the use of 4% rubber, both fine and granulated, in concrete is acceptable.

**Keywords:** Concrete, recycled rubber, seismic response

- 1 Universidad Peruana Unión (UPeU). Juliaca-Perú
- 2 Universidad Peruana Unión (UPeU). Juliaca-Perú

Autor para correspondencia:  
jesusquispe091@gmail.com

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Campus de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres. Este artículo se distribuye en los términos de la Licencia Creative Commons Atribución No-comercial – Compartir-Igual 4.0 Internacional (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio siempre que la obra original sea debidamente citada. Para uso comercial contactar a: [revistacampus@usmp.pe](mailto:revistacampus@usmp.pe).

<https://doi.org/10.24265/campus.2022.v27n34.05>

## Introducción

Los neumáticos en desuso se encuentran entre las fuentes de desechos más grandes y problemáticas de las sociedades modernas debido a su durabilidad y a los enormes volúmenes de llantas desechadas cada año (Youssf, ElGawady, & Mills, 2015). Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2016), en el lapso 2011 – 2014 el parque automotor creció anualmente a una tasa promedio del 8.84%, pasando de 2 523,441 vehículos en el 2011 a 3 252,714 en el 2014, lo cual produjo un incremento exponencial de los neumáticos en desuso.

Asimismo, Farfán y Leonardo (2018) mencionan que en el Perú, el problema ambiental de botar llantas usadas es producto del poco interés en temas de gestión de residuos tanto por causas culturales como por la carencia de políticas e indagaciones sobre el reciclaje y disposición final de esta clase de residuo. Por otra parte, según Gibreil & Feng, (2017) el concreto debido a su facultad para adquirir cualquier forma es el componente más empleado en la rama de la construcción a nivel mundial, esto trae como resultado un gasto excesivo de las materias primas que lo conforman. En ese sentido, el reciclaje de llantas usadas conserva valiosos recursos naturales y reduce la cantidad de caucho que ingresa al vertedero (Guo et al., 2014).

Los eventos sísmicos generan el colapso de estructuras, además de pérdidas económicas y vidas humanas (Pneumatikos et al., 2020). En la actualidad, según la norma técnica E.030, publicada por el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (2018), la ciudad de Juliaca se localiza en una zona sísmica 03, lo cual indica que hay probabilidades de sufrir un

movimiento telúrico. Siendo el caucho, un material investigado en la elaboración de concreto, así tenemos a Ghosh y Bera, (2016) los cuales muestran que el caucho en desecho se puede usar en el concreto como reemplazo parcial de agregados gruesos y finos, obteniendo resultados que están en el límite aceptable.

Recientemente en la investigación de Farfán & Leonardo, (2018) encontraron que el porcentaje óptimo de caucho reciclado incorporado en el concreto para lograr la resistencia máxima a la compresión es 5% (218.45kgf/cm<sup>2</sup>) y para lograr la resistencia máxima a la flexión es 10% (81.86kgf/cm<sup>2</sup>); además mencionan que es factible el uso del caucho reciclado en estructuras donde hay poca intensidad sísmica.

Según Novillo et al., (2017) encontraron que el 10% de caucho reciclado incorporado en el concreto presenta mejores valores en la resistencia a la compresión y a la tracción, además observaron una disminución de su densidad. También dedujeron que para la elaboración de un metro cubico de concreto de densidad (2276 kg/m<sup>3</sup>) se necesitara 90 kg de caucho, teniendo en cuenta que el peso de un neumático normal es de 10 kg se necesitaría entonces nueve neumáticos por cada metro cubico de concreto aproximadamente.

Asimismo, Pelisser et al. (2011) concluyeron que el caucho de neumáticos reciclados es un excelente agregado que junto al hidróxido de sodio y humo de sílice mejora la resistencia a la compresión y determinaron que este se redujo solo en un 14% a los 28 días en comparación con el hormigón convencional, llegando a 490 kgf/cm<sup>2</sup> para la mezcla de mayor resistencia.

Por su parte, Kara De Maeijer et al., (2021) mencionan que se puede hacer aplicación de caucho reciclado como reemplazo de agregados naturales y que depende del tratamiento de su superficie y de la optimización del diseño de mezcla. Encontraron que el rango óptimo de reemplazo de caucho reciclado basado en las propiedades mecánicas, físicas y de durabilidad podría variar entre el 10% y el 20% para el reemplazo de agregados finos y el 5% para el reemplazo de agregados gruesos. Del mismo modo, Safan et al., (2017) realizaron un estudio de propiedades de caucho en hormigón con sustitución de 5, 10 y 15% por volumen de arena, donde los resultados mostraron una mayor resistencia a la compresión, a la flexión, a la tracción y módulo de elasticidad, y que la utilización de caucho en la construcción podría ayudar en reducir costos y resuelve el desperdicio sólido de estas materias y así poder cuidar el medio ambiente.

Bajo este escenario, el objetivo fue determinar la influencia de la incorporación de caucho reciclado en el concreto estructural y analizar su respuesta sísmica hipotética caracterizando los componentes

del concreto y evaluando las propiedades mecánicas del concreto con incorporación de caucho reciclado y así mismo con los resultados óptimos realizar un análisis de su respuesta sísmica hipotética.

## Método

La investigación se realizó en la ciudad de Juliaca, provincia de San Román de la región de Puno. Se utilizó el laboratorio Geotecnia Puno E.I.R.L. ubicado en el Jr. Tiahuanaco. Como población de la presente investigación tenemos a los concretos usados en la ciudad de Juliaca de uso estructural. En este caso, se optó por un concreto de resistencia  $f'c=210$  kgf/cm<sup>2</sup>, usando los parámetros de resistencia mínima del concreto estructural y este no debe ser menor a 173 kgf/cm<sup>2</sup>, así también según el Reglamento Nacional de Edificaciones E.060 y las disposiciones especiales para el diseño sísmico mostrado en el acápite 21.3.1 sugiere que el  $f'c$  no debe ser inferior a 210 kgf/cm<sup>2</sup>. Para la determinación de la muestra se optó por el tipo no probabilístico bajo el método diseño de bloques completos al azar mostrado en la Tabla 1 y su nomenclatura en la Tabla 2.

**Tabla 1**  
*Número de muestras a nivel exploratorio*

Diseño	Proporción de caucho reciclado	Resistencia a la compresión			Resistencia a la tracción indirecta diametral 28 días	Parcial	Total
		7 días	14 días	28 días			
CP-S/C	0 %	3	3	3	3	12	84
C.- 2% C.F.	2 %	3	3	3	3	12	
C.- 4% C.F.	4 %	3	3	3	3	12	
C.- 6% C.F.	6 %	3	3	3	3	12	
C.- 2% C.G.	2 %	3	3	3	3	12	
C.- 4% C.G.	4 %	3	3	3	3	12	
C.- 6% C.G.	6 %	3	3	3	3	12	

**Tabla 2**

*Nomenclatura de las briquetas*

Código	Designación
CP-S/C	Concreto patrón sin caucho
C. - 2% C.F.	Concreto con 2% del peso de la arena sustituida por caucho fino
C. - 4% C.F.	Concreto con 4% del peso de la arena sustituida por caucho fino
C. - 6% C.F.	Concreto con 6% del peso de la arena sustituida por caucho fino.
C. - 2% C.G.	Concreto con 2% del peso de la arena sustituida por caucho granulado
C. - 4% C.G.	Concreto con 4% del peso de la arena sustituida por caucho granulado
C. - 6% C.G.	Concreto con 6% del peso de la arena sustituida por caucho granulado

Se efectuó la caracterización de los agregados fino y grueso y con estos materiales se realizó el diseño de mezcla por el método ACI 211 para las pruebas de resistencia a la compresión y resistencia a la tracción indirecta diametral se elaboraron briquetas de 150mm de diámetro y 300mm de alto.

Para la caracterización de los agregados se utilizó la norma ASTM C33. Las gravas y arenas provienen de la cantera Cabanillas, se les realizaron las pruebas de análisis granulométrico, gravedad específica y absorción, pesos unitarios y abrasión, según las normas ASTM D-422, ASTM C-128, Y ASTM C-131 respectivamente.

**Figura 1**

*Partículas de caucho fino y granulado*



El cemento utilizado fue RUMI (Tipo IP) y el agua usada para el mezclado y curado de las briquetas se usó de la red de agua para consumo humano de la ciudad de Juliaca. El caucho reciclado fue obtenido de neumáticos en desecho de botaderos y talleres reencauchadoras. Se usó como caucho fino el material retenido en el tamiz N°50 y como caucho granulado el material retenido en el tamiz N°8 (Figura 1).

resistencia a la tracción indirecta diametral se usaron las normas ASTM C- 642, ASTM D-422 y ASTM C 496–96 respectivamente, en cuanto al módulo de elasticidad estático se determinó considerando la fórmula 8.3 del R.N.E. E.60 el cual está en función de la resistencia a la compresión alcanzada.

Las pruebas de densidad, absorción y porosidad, resistencia a la compresión y

La técnica de recolección de datos fue la observación directa. Es así como se consiguieron los datos necesarios para procesarlos por medio de hojas de cálculo (formatos) para cada tipo de ensayo, y

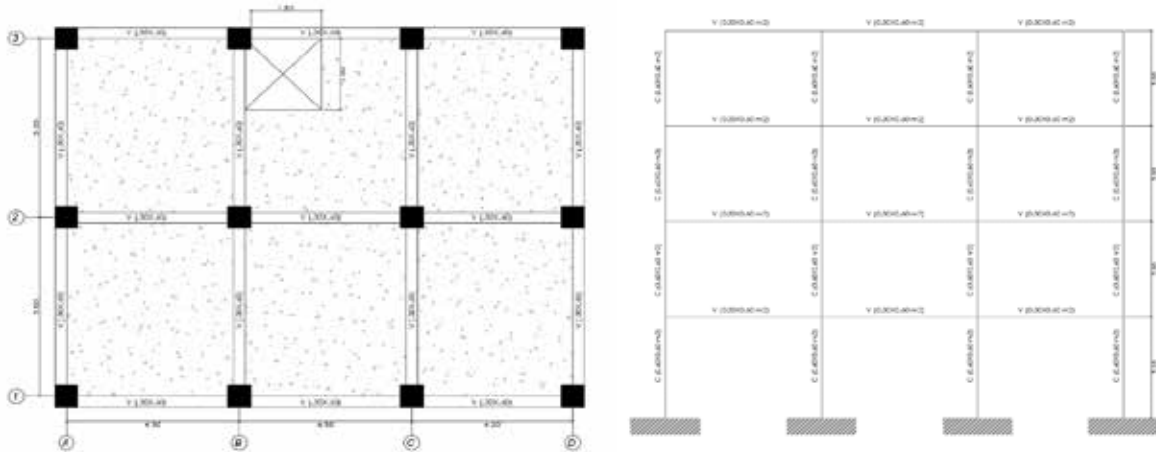
conseguir los resultados buscados en la presente investigación. De igual forma, para el procesamiento de datos se utilizó la técnica de análisis de varianza ANOVA con el software MINITAB 18, el cual, según Amat Rodrigo, (2016) es el test estadístico a emplear cuando se desea comparar las medias de dos o más grupos. Asimismo, se utilizó la prueba de Tukey el cual, según García et al., (2001) crea intervalos de confianza para todas las diferencias en parejas entre las medias de los niveles de los

factores mientras controlan la tasa de error por familia en un nivel especificado.

Finalmente, para el análisis de la respuesta sísmica hipotética de la edificación con los resultados óptimos se determinó por medio de un cálculo manual siguiendo el método de masas concentradas y un análisis sísmico estático, para lo cual se estableció una estructura regular de uso vivienda, el cual se compone de cuatro niveles.

**Figura 2**

*Configuración y distribución de los elementos estructurales*



Se consideró para el primer nivel una altura de 3.20m y 3m para los niveles superiores. Se compone de un sistema de pórticos, sus columnas son de sección 0.60 x 0.60 m<sup>2</sup>, las vigas son de sección 0.30 x 0.60 m<sup>2</sup> en ambas direcciones X y

Y, así mismo una losa maciza de 0.15m. Finalmente, se muestra la configuración y distribución de los elementos estructurales en la Figura 2. Así mismo, en la Tabla 3 se presenta los patrones de carga.

**Tabla 3**

*Patrones de carga y valores*

Tabiquería	Tabiquería	Tabiquería
Sobrecarga	<b>Sobrecarga</b>	<b>Sobrecarga</b>
Tabiquería	<b>Tabiquería</b>	<b>Tabiquería</b>
Sobrecarga	<b>Sobrecarga</b>	<b>Sobrecarga</b>
Tabiquería	<b>Tabiquería</b>	<b>Tabiquería</b>
Sobrecarga	<b>Sobrecarga</b>	<b>Sobrecarga</b>

Para el análisis sísmico estático se muestra los datos en la Tabla 4. Asimismo, para la estimación del peso de la edificación se realizó con lo señalado en el artículo 26 del RNE E.030, el cual corresponde

a una edificación de categoría (C), el peso se calcula adicionando a la carga permanente y total de la edificación un porcentaje de carga viva del 25%.

**Tabla 4**

*Datos para el análisis sísmico estático*

Datos	Parámetros	Valores
Zona	Z	0.35
Uso	U	1.0
Suelo	S	1.15
Factor de amplificación sísmica	C	2.5
Sistema estructural	R	8

## Resultados y Discusión

### Caracterización de los componentes del concreto

Mediante pruebas de laboratorio en la Tabla 5 se muestra la densidad de los

materiales. De igual forma en la Tabla 6 se señalan las características obtenidas de los agregados.

**Tabla 5**

*Densidad de los materiales*

Material	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )
Cemento	2.90
Agua	1.00
Caucho	1.02

**Tabla 6**

*Resumen de las características de los agregados*

Propiedad	Unidad	Agregado fino	Agregado grueso
Peso unitario seco compactado	(kg/m <sup>3</sup> )	1.713	1.359
Peso unitario seco suelto	(kg/m <sup>3</sup> )	1.613	1.228
Peso específico de la masa	(gr/cm <sup>3</sup> )	2.623	2.626
Contenido de humedad	(%)	1.600	1.620
Porcentaje de absorción	(%)	3.520	2.430
Módulo de fineza		3.241	7.987
Tamaño máximo nominal	pulg.	----	3/4"

Teniendo las características de los agregados, se realizó el diseño de mezcla para un  $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$  siguiendo

el método ACI 211, obteniéndose la dosificación por metro cubico mostrado en la Tabla 7.

**Tabla 7**

*Dosificación de mezcla concreto  $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$  con una relación a/c de 0.497*

Material	Valor	Unidad
Cemento	369.90	kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso	1044.77	kg/m <sup>3</sup>
Agregado fino	687.84	kg/m <sup>3</sup>
Agua	206	lt/m <sup>3</sup>

La Tabla 8 muestra los tipos de incorporación de caucho. dosificaciones de los concretos con

**Tabla 8**

*Dosificación del concreto con caucho reciclado*

Tipos de concreto	Cemento (kg/m <sup>3</sup> )	Piedra (kg/m <sup>3</sup> )	Arena (kg/m <sup>3</sup> )	Caucho (kg/m <sup>3</sup> )
CP-S/C	369.9	1044.77	687.84	0
C. - 2% C.F.	369.9	1044.77	674.08	5.35
C. - 4% C.F.	369.9	1044.77	660.33	10.70
C. - 6% C.F.	369.9	1044.77	646.57	16.05
C. - 2% C.G.	369.9	1044.77	674.08	5.35
C. - 4% C.G.	369.9	1044.77	660.33	10.70
C. - 6% C.G.	369.9	1044.77	646.57	16.05

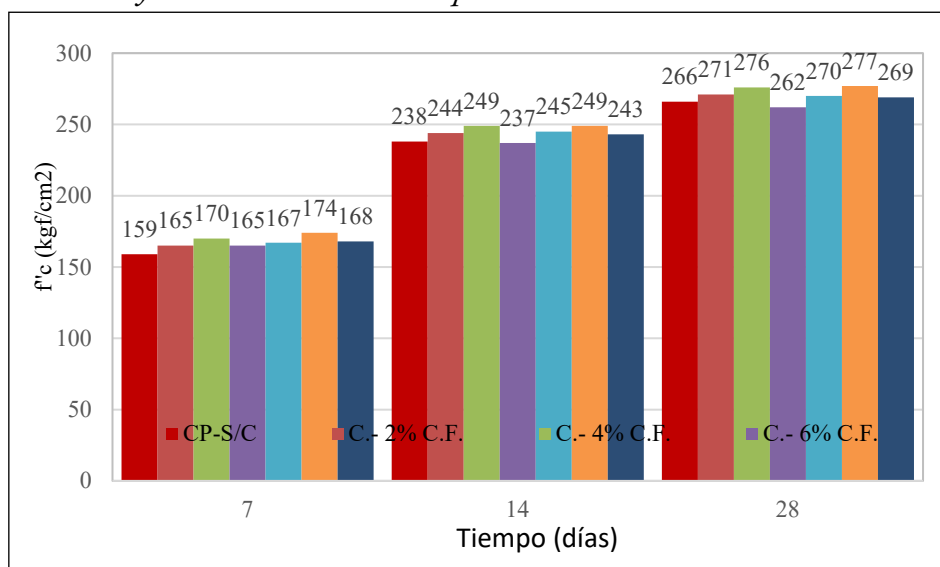
### Resistencia a la compresión

Según Pasquel, (1998), es la aptitud de aguantar cargas y esfuerzos, por medio de las propiedades adherentes de la pasta de cemento. Está ligado primordialmente a la concentración encontraron que el 10% de caucho reciclado incorporado en el concreto supera a la resistencia en estudio a los 28 días. Asimismo, Farfán & Leonardo, (2018) obtuvieron la máxima resistencia a de la pasta de cemento, que se frecuente expresar en relación agua/cemento. En la Figura 3 se muestra

el resumen de los ensayos a compresión de los especímenes.

En la Figura 3, se observa que la resistencia del concreto con incorporación de 2% y 4% de caucho reciclado tanto fino como granulado posee los mayores valores respecto al concreto patrón. Así también, lo confirman Novillo et al. (2017) para quienes la compresión con la incorporación es de 5% de caucho reciclado. Por otra parte, Pelisser et al. (2011) encontraron que el caucho reciclado junto con el hidróxido de sodio y humo de sílice mejoran la resistencia a la compresión.

**Figura 3**  
*Resultados del ensayo de resistencia a la compresión*



**Análisis estadístico de la resistencia a la compresión**

Al realizar la investigación, se plantean dos hipótesis, la alterna muestra que, al agregar el caucho fino o granulado, la resistencia de la compresión mejora significativamente, y la hipótesis nula menciona que, por más que se agregue la cantidad de caucho fino o granulado la resistencia será siempre igual. Al tener dichas hipótesis se ejecuta el análisis de resultados con la prueba Tukey de análisis de varianza.

**Análisis estadístico de la resistencia a la compresión con incorporación de caucho fino**

Al procesar los 36 tratamientos en relación con el concreto patrón, presentamos el análisis de varianza cuyo valor P es de 0.0 menor a 0,05; por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna. Así mismo, según la Tabla 9 se muestra un valor F calculado de 777.30 que es mayor al valor F crítico 2.22.

**Tabla 9**  
*Análisis de varianza*

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados ajustado	Cuadrados medios ajustado	Valor F	Valor p
Tratamientos	11	71014.9	6455.90	777.30	0.000
Error	24	199.3	8.31		
Total	35	71214.2			

Del análisis en la Tabla 9 se deduce que la incorporación de 2% 4% y 6% de caucho fino mejora la resistencia a la compresión en base al incremento de dicho agregado respecto al concreto

patrón de 210 kgf/cm². Lo que afirma que hay diferencia entre las medias de los tratamientos de la investigación, así también se muestra por el método Tukey la agrupación de medias en la Tabla 10.



**Tabla 10**

*Análisis comparativo utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%*

Tratamientos	N	Media	Agrupación
C.- 4% C.F. (28 días)	3	275.53	A
C.- 2% C.F. (28 días)	3	271.16	A B
CP-S/C (28 días)	3	266.27	B
C.- 6% C.F. (28 días)	3	262.35	B
C.- 4% C.F. (14 días)	3	248.67	C
C.- 2% C.F. (14 días)	3	244.01	C D
CP-S/C (14 días)	3	238.44	D
C.- 6% C.F. (14 días)	3	237.49	D
C.- 4% C.F. (7 días)	3	169.59	E
C.- 6% C.F. (7 días)	3	164.85	E F
C.- 2% C.F. (7 días)	3	165.04	E F
CP-S/C (7 días)	3	159.50	F

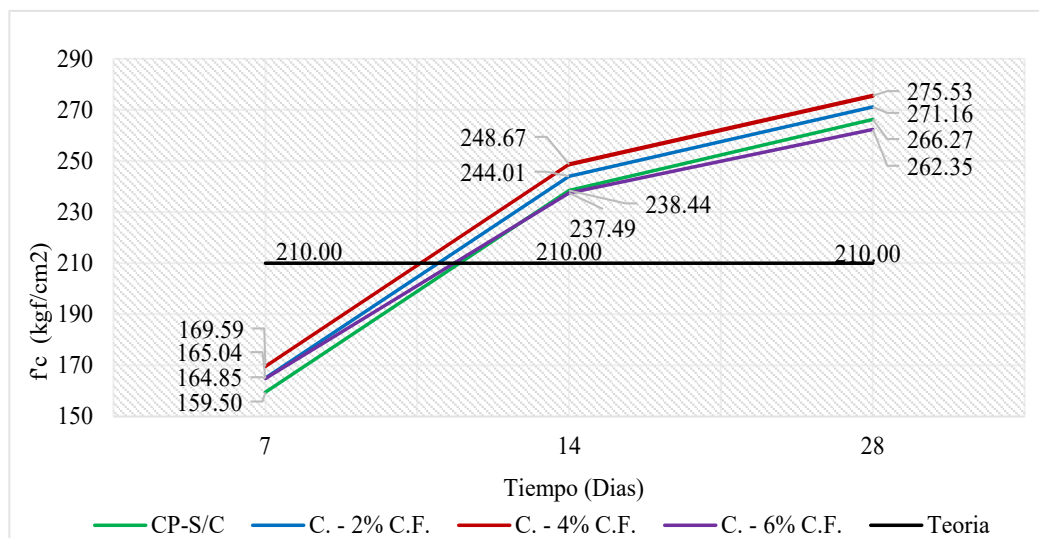
*Nota.* Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

De la Tabla 10 se observa que la resistencia más óptima es al 4% y 2% de caucho fino en 28 días, cuyas medias se encuentra en la agrupación “A” con una resistencia a la compresión de 275.53 y

271.16kgf/cm<sup>2</sup> respectivamente. Para más detalles se muestra el comportamiento de las resistencias a la compresión a los 7, 14 y 28 días de edad en la Figura 4.

**Figura 4**

*Resistencia a la compresión con incorporación de caucho fino*



El comportamiento de las resistencias con la incorporación de caucho al 2, 4% y 6% tuvo un acelerado incremento de resistencia de siete a 14 días y una

disminución de 14 a 28 días de edad, teniendo entre sí un comportamiento homogéneo Figura 4. En la Tabla 11, se presenta las probabilidades estadísticas

de máximos y mínimas resistencias que se podría llegar según las condiciones en el campo de trabajo; por consiguiente, muestra que la incorporación de caucho al 4% en 28 días es el más óptimo,

con una media de 275.53 kgf/cm<sup>2</sup>, el cual tiene la posibilidad de llegar a una resistencia máxima de 279.10 kgf/cm<sup>2</sup>, como también se puede quedar solo en 272.23 kgf/cm<sup>2</sup>.

**Tabla 11**

*Probabilidades estadísticas de máximos y mínimas*

Tratamientos	N	Media	Desviación estándar	Intervalo de confianza de 95%
C.- 2% C.F. (14 días)	3	244.01	1.73	(240.57; 247.43)
C.- 2% C.F. (28 días)	3	271.16	3.46	(267.57; 274.43)
C.- 2% C.F. (7 días)	3	165.04	2.00	(161.57; 168.43)
C.- 4% C.F. (14 días)	3	248.67	3.21	(245.23; 252.10)
C.- 4% C.F. (28 días)	3	275.53	3.06	(272.23; 279.10)
C.- 4% C.F. (7 días)	3	169.59	3.06	(165.90; 172.77)
C.- 6% C.F. (14 días)	3	237.49	3.79	(233.90; 240.77)
C.- 6% C.F. (28 días)	3	262.35	4.93	(259.23; 266.10)
C.- 6% C.F. (7 días)	3	164.85	1.73	(161.57; 168.43)
CP-S/C (14 días)	3	238.44	1.53	(234.899; 241.767)
CP-S/C (28 días)	3	266.27	1.16	(262.899; 269.767)
CP-S/C (7 días)	3	159.50	2.52	(155.90; 162.77)

*Nota.* Desviación estándar agrupada = 2.88

**Análisis estadístico de la resistencia a la compresión con incorporación de caucho granulado**

Al procesar los 36 tratamientos en relación al concreto patrón, presentamos el

análisis de varianza cuyo valor P es de 0.000 menor a 0,05. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna. Así también en la Tabla 12 se muestra un valor F calculado de 878.64 que es mayor al valor F crítico 2.22.

**Tabla 12**

*Análisis de varianza*

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados ajustado	Cuadrados medios ajustado	Valor F	Valor p
Tratamientos	11	70387.9	6398.9	878.64	0.000
Error	24	174.8	7.28		
Total	35	70562.7			

Del análisis en la Tabla 12 se deduce que la incorporación de 2% 4% y 6% de caucho granulado mejora la resistencia a la compresión en base al incremento de dicho agregado respecto al concreto

patrón de 210 kgf/cm<sup>2</sup>. Lo que afirma que hay diferencia entre las medias de los tratamientos de la investigación, así también se muestra por el método Tukey la agrupación de medias en la Tabla 13.

**Tabla 13**

*Grupos de información utilizando el método de Tukey a una confianza de 95%*

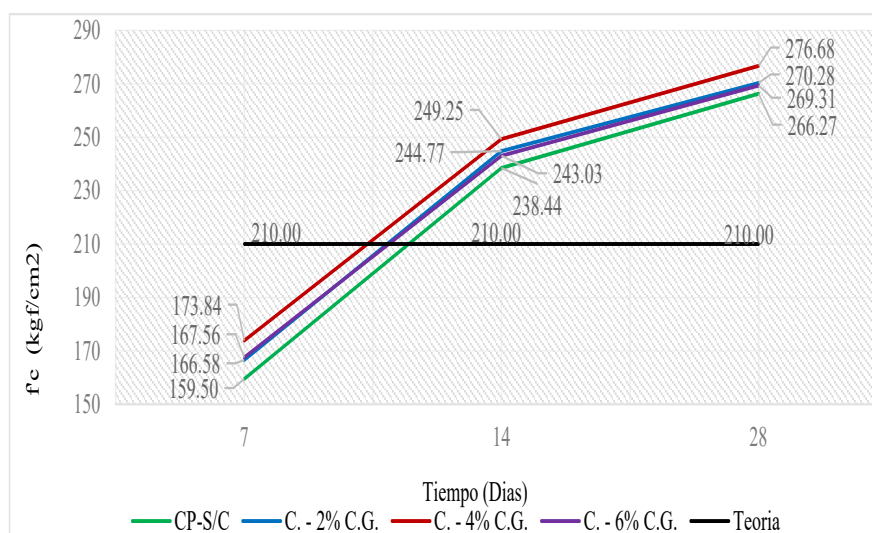
Tratamientos	N	Media	Agrupación
C.- 4% C.G. (28 días)	3	276.68	A
C.- 2% C.G. (28 días)	3	270.28	A B
C.- 6% C.G. (28 días)	3	269.31	A B
CP-S/C (28 días)	3	266.27	B
C.- 4% C.G. (14 días)	3	249.25	C
C.- 2% C.G. (14 días)	3	244.77	C D
C.- 6% C.G. (14 días)	3	243.03	C D
CP-S/C (14 días)	3	238.44	D
C.- 4% C.G. (7 días)	3	173.84	E
C.- 6% C.G. (7 días)	3	167.56	E
C.- 2% C.G. (7 días)	3	166.58	E F
CP-S/C (7 días)	3	159.50	F

De la Tabla 13 se observa que la resistencia más óptima es al 4%, 2% y 6% de caucho granulado a los 28 días, cuyas medias se encuentra en la agrupación "A" los cuales muestran una resistencia a la compresión de 276.68

kgf/cm<sup>2</sup>, 270.28 kgf/cm<sup>2</sup> y 269.31 kgf/cm<sup>2</sup> respectivamente. Para más detalles se muestra en la Figura 5 el comportamiento de las resistencias a la compresión a los siete, 14 y 28 días de edad.

**Figura 5**

*Resistencia a la compresión con incorporación de caucho granulado*



Como se observa en la Figura 5 el comportamiento de las resistencias con incorporación de caucho al 2%, 4% y 6% tuvieron una velocidad de incremento significativo entre los días siete y 14 días

y esta se redujo entre los 14 y 28 días teniendo entre si un comportamiento homogéneo Figura 5. Así también, en la Tabla 14 se presentan las probabilidades estadísticas de máximas y mínimas

resistencias a las que se podrían llegar según las condiciones en el campo de trabajo; por consiguiente, muestra que la incorporación de caucho al 4% en 28 días es el óptimo con una media de 276.68

kgf/cm<sup>2</sup>, el cual tiene la posibilidad de llegar a una resistencia máxima de 279.90 kgf/cm<sup>2</sup> como también se puede quedar solo en 273.47 kgf/cm<sup>2</sup>.

**Tabla 14**

*Probabilidades estadísticas de máximos y mínimas*

Tratamientos	N	Media	Desviación estándar	Intervalo de confianza de 95%
C.- 2% C.G. (14 días)	3	244.77	2.58	(241.55; 247.98)
C.- 2% C.G. (28 días)	3	270.28	3.14	(267.06; 273.49)
C.- 2% C.G. (7 días)	3	166.58	0.974	(163.37; 169.80)
C.- 4% C.G. (14 días)	3	249.25	3.98	(246.04; 252.47)
C.- 4% C.G. (28 días)	3	276.68	4.72	(273.47; 279.90)
C.- 4% C.G. (7 días)	3	173.84	0.541	(170.63; 177.06)
C.- 6% C.G. (14 días)	3	243.03	3.1	(239.81; 246.25)
C.- 6% C.G. (28 días)	3	269.31	3.3	(266.09; 272.52)
C.- 6% C.G. (7 días)	3	167.56	1.013	(164.34; 170.77)
CP-S/C (14 días)	3	238.44	1.528	(235.12; 241.55)
CP-S/C (28 días)	3	266.27	1.155	(263.12; 269.55)
CP-S/C (7 días)	3	159.50	2.52	(156.12; 162.55)

Nota. Desviación estándar agrupada = 2.70

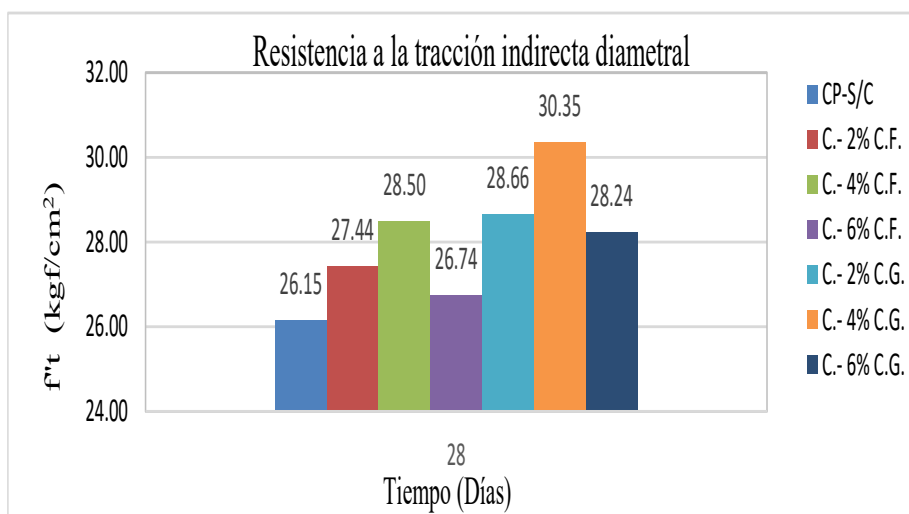
**Resistencia a la tracción indirecta diametral**

Según Vargas, (2016) este ensayo radica en someter a compresión diametral una probeta cilíndrica, aplicando una

carga de forma uniforme durante dos líneas o generatrices opuestas hasta hallar la rotura. De este modo, se muestra el resumen de los ensayos a resistencia a la tracción indirecta diametral de los especímenes en la Figura 6.

**Figura 6**

*Resultados del ensayo resistencia a la tracción indirecta diametral*



En la Figura 6 se observa que la resistencia a la tracción indirecta diametral del concreto con incorporación de 2 y 4% de caucho reciclado tanto fino como granulado poseen los mayores valores respecto al concreto patrón, así también lo confirman Verzegnassi et al., (2011) quienes encontraron que el 1 y 3% de caucho reciclado en el concreto a los siete días de edad presenta una mejoría en la resistencia a la tracción indirecta diametral con relación al concreto patrón.

Asimismo, Novillo et al., (2017), encontraron que el 10 y 30% de caucho reciclado incorporado en el concreto supera a la resistencia a la tracción indirecta respecto al concreto patrón. Por su parte, Rodríguez et al., (2019) encontraron que la resistencia a la tracción indirecta diametral con incorporación de 5% de caucho reciclado presenta el valor más alto 44.46 kgf/cm<sup>2</sup>.

### **Análisis estadístico de la resistencia a la tracción indirecta diametral**

**Tabla 15**

*Análisis de varianza*

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados ajustado	Cuadrados medios ajustado	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	9.165	3.0552	9.36	0.005
Error	8	2.612	0.3265		
Total	11	11.777			

Del análisis de la Tabla 15 se deduce que la incorporación de 2%, 4% y 6% de caucho fino mejora la resistencia a la tracción indirecta diametral en base al incremento de dicho agregado respecto al concreto patrón de 210 kgf/cm<sup>2</sup>. Lo que

Al realizar la investigación, se plantea dos hipótesis de investigación lo cual, la alterna muestra que, al agregar el caucho fino o granulado, la resistencia de la tracción indirecta diametral mejora significativamente y la hipótesis nula menciona que, por más que se agregue la cantidad de caucho fino o granulado la resistencia a la tracción indirecta diametral será siempre igual; al tener dichas hipótesis se ejecuta el análisis de resultados con la prueba Tukey de análisis de varianza.

### **Análisis estadístico de la resistencia a la tracción indirecta diametral con incorporación de caucho fino**

Al procesar los 12 tratamientos en relación con el concreto patrón, presentamos el análisis de varianza cuyo valor P es de 0.005 menor a 0,05; por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna. Según la Tabla 15 se muestra un valor F calculado de 9.36 que es mayor al valor F crítico 4.07.

afirma que hay diferencia entre las medias de los tratamientos de la investigación, así también, por el método de Tukey mostramos la agrupación de medias en la Tabla 16.

**Tabla 16**

Grupos de información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Tratamiento	N	Media	Agrupación
C.- 4% C.F. (28 días)	3	28.50	A
C.- 2% C.F. (28 días)	3	27.44	A B
C.- 6% C.F. (28 días)	3	26.74	B
CP-S/C (28 días)	3	26.15	B

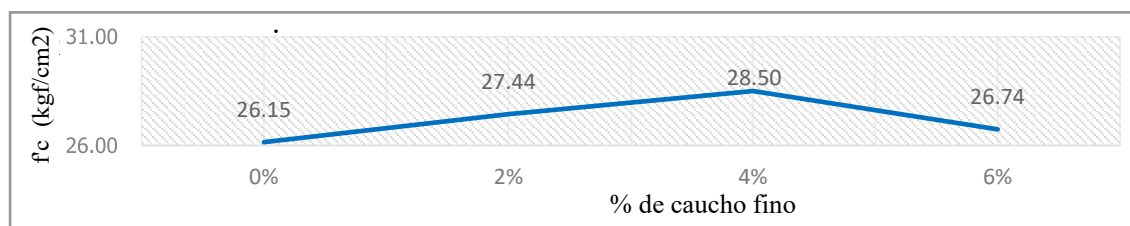
Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

En la Tabla 16 se observa que la resistencia óptima es al 4% y 2% de caucho fino a los 28 días, cuyas medias se encuentran en la agrupación “A” con una resistencia a la compresión de 28.50 kgf/cm<sup>2</sup> y

27.44 kgf/cm<sup>2</sup> respectivamente. Para más detalle se muestra el comportamiento de las resistencias a la tracción indirecta diametral en los 28 días de edad en la Figura 7.

**Figura 7**

Resistencia a la tracción indirecta diametral vs % de caucho fino



En la Tabla 17, se presentan las probabilidades estadísticas de máximas y mínimas resistencias que se podría llegar según las condiciones en el campo de trabajo. Por consiguiente, muestra que la incorporación de caucho al 4% en 28

días es la óptimo con una media de 28.50 kgf/cm<sup>2</sup>, la cual tiene la posibilidad de llegar a una resistencia máxima de 29.26 kgf/cm<sup>2</sup> como también se puede quedar solo en 27.74 kgf/cm<sup>2</sup>.

**Tabla 17**

Probabilidades estadísticas de máximos y mínimas

Tratamiento	N	Media	Desviación estándar	Intervalo de confianza de 95%
C.- 2% C.F.	3	27.44	0.605	(26.68; 28.20)
C.- 4% C.F.	3	28.50	0.276	(27.74; 29.26)
C.- 6% C.F.	3	26.74	0.621	(25.98; 27.50)
CP-S/C	3	26.15	0.691	(25.39; 26.92)

Nota. Desviación estándar agrupada = 0.57

**Análisis estadístico de la resistencia a la tracción indirecta diametral con incorporación de caucho granulado**

Al procesar los 12 tratamientos en relación con el concreto patrón,

presentamos el análisis de varianza cuyo valor P es de 0.0 menor a 0,05. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna. Así también en la Tabla 18 se muestra un valor F calculado de 24.56 que es mayor al valor F crítico 4.066.

**Tabla 18**

*Análisis de varianza*

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrado Ajustado	Medios cuadrados Ajustado	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	26.816	8.9385	24.56	0.0000
Error	8	2.912	0.364		
Total	11	29.727			

Las pruebas estadísticas mostradas en la Tabla 18 determinan que la incorporación de 2% 4% y 6% de caucho granulado mejora la resistencia a la tracción indirecta diametral en base al incremento de dicho agregado respecto

al concreto patrón 210 kgf/cm<sup>2</sup>. Lo que afirma que diferencia entre las medias de los tratamientos de la investigación, así también por el método de Tukey se muestra la agrupación de medias en la Tabla 19.

**Tabla 19**

*Grupos de información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%*

Tratamiento	N	Media	Agrupación
C.- 4% C.G.	3	30.35	A
C.- 2% C.G.	3	28.66	B
C.- 6% C.G.	3	28.24	B
CP-S/C	3	26.15	C

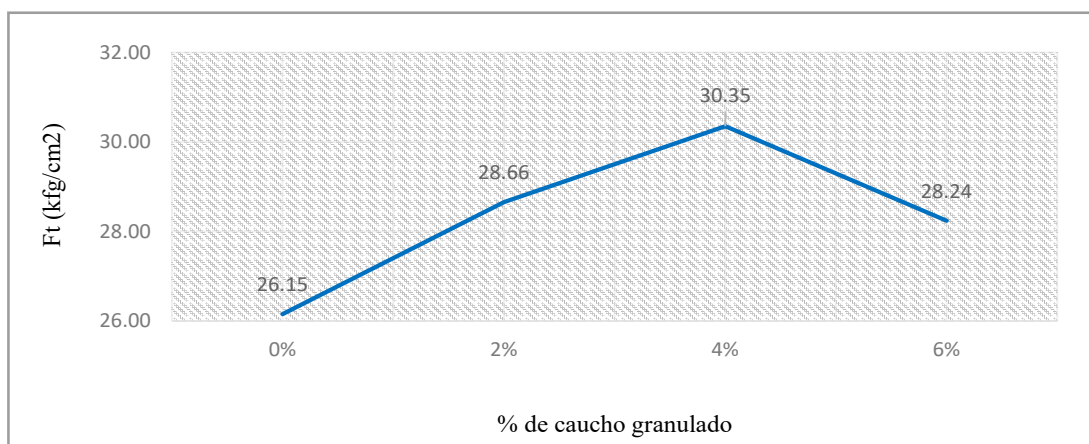
*Nota.* Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

En la Tabla 19 se observa, que la resistencia a la tracción indirecta diametral óptima es al 4% de caucho granulado en 28 días, cuya media se

encuentra en la agrupación “A” que muestra una resistencia a la tracción de 30.35 kgf/cm<sup>2</sup>. Ver las resistencias a la tracción a los 28 días en la Figura 8.

**Figura 8**

*Resistencia a la tracción indirecta diametral vs % de caucho granulado*



*Nota.* Desviación estándar agrupada = 0.60

En la Tabla 20, se presentan las probabilidades estadísticas de las máximas

y mínimas resistencias a las cuales se podría llegar según las condiciones en

el campo de trabajo. Por consiguiente, muestra que la incorporación de caucho al 4% en 28 días es el óptimo con una media de 30.35 kgf/cm<sup>2</sup>, el cual tiene

la posibilidad de llegar a una resistencia máxima de 31.16 kgf/cm<sup>2</sup>, como también puede quedarse solo en 29.55 kgf/cm<sup>2</sup>.

**Tabla 20**

*Probabilidades estadísticas de máximos y mínimas*

Tratamiento	N	Media	Desviación estándar	Intervalo de confianza de 95%
C.- 2% C.G.	3	28.66	0.606	(27.86; 29.46)
C.- 4% C.G.	3	30.35	0.624	(29.55; 31.16)
C.- 6% C.G.	3	28.24	0.47	(27.44; 29.04)
CP-S/C	3	26.15	0.691	(25.35; 26.96)

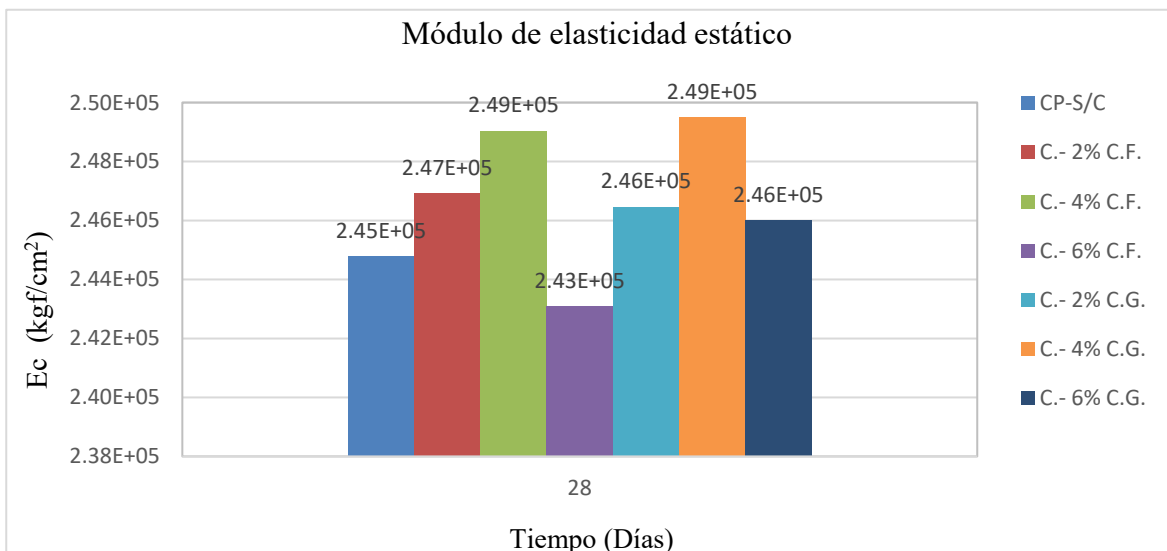
**Módulo de elasticidad estático**

Según Serrano y Pérez (2010) este módulo describe la rigidez relativa de un material, el cual es un parámetro relacionado con la resistencia a compresión del mismo. De este modo, se consideró determinar el módulo de elasticidad estática con la fórmula 8.3 del R.N.E E.060 el cual está en función de la resistencia a compresión alcanzada. En la Figura 9 se muestra el resumen de los resultados obtenidos del módulo de elasticidad estático.

Del mismo modo, en la misma Figura 9 se observa que el módulo de elasticidad estática con incorporación de 2% y 4% de caucho reciclado tanto fino como granulado posee los mayores valores respecto al concreto patrón, así también lo confirman Verzegnassi et al., (2011) quienes encontraron un incremento del módulo de elasticidad con la incorporación de 1% de caucho reciclado en el concreto. Por su parte Safan et al. (2017) encontraron un incremento del módulo de elasticidad con incorporación de caucho reciclado tratado con hidróxido de sodio.

**Figura 9**

*Resultados del ensayo módulo de elasticidad estático*





### Análisis estadístico del módulo de elasticidad estático

Al realizar la investigación, se plantean dos hipótesis de investigación. La alterna muestra que, al agregar el caucho fino o granulado, el módulo de elasticidad estático mejora significativamente y la hipótesis nula menciona que, por más que se añada la cantidad de caucho fino o granulado el módulo de elasticidad estático será siempre igual. Al tener dichas hipótesis se ejecuta el análisis de resultados con la prueba Tukey de análisis de varianza.

### Análisis estadístico del módulo de elasticidad estático con incorporación de caucho fino

Al procesar los 12 tratamientos en relación con el concreto patrón, presentamos el análisis de varianza cuyo valor P es de 0.008 menor a 0,05; por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna. Según la Tabla 21 se muestra un valor F calculado de 8.07 que es mayor al valor F crítico 4.066.

**Tabla 21**

*Análisis de varianza*

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados ajustado	Medios cuadrados ajustado	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	6.00E+07	2.00E+07	8.07	0.008
Error	8	1.98E+07	2.48E+06		
Total	11	7.99E+07			

Las pruebas estadísticas mostradas en la Tabla 21 determinan que la incorporación de 2% 4% y 6% de caucho fino aumentan el módulo de elasticidad estático en base al incremento de dicho agregado respecto al concreto

patrón de 210 kgf/cm<sup>2</sup>. Lo que afirma que hay diferencia entre las medias de los tratamientos de la investigación. Así también por el método de Tukey mostramos la agrupación de medias en la Tabla 22.

**Tabla 22**

*Grupos de información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%*

Tratamiento	N	Media	Agrupación
C.- 4% C.F.	3	2.49E+05	A
C.- 2% C.F.	3	2.47E+05	A B
CP-S/C	3	2.45E+05	B
C.- 6% C.F.	3	2.43E+05	B

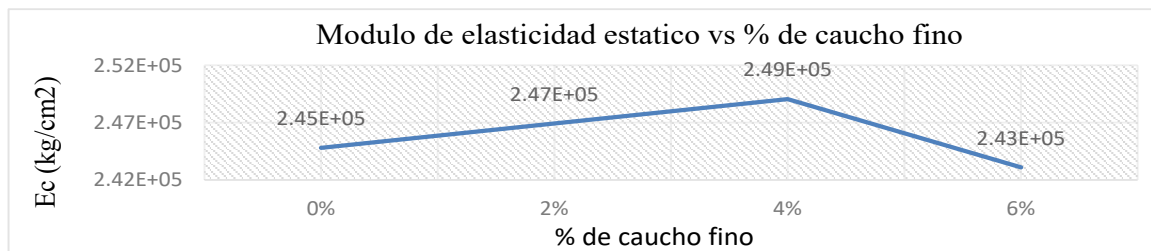
Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

En la Tabla 22 se observa que el módulo de elasticidad estática óptima es al 4% y 2% de caucho fino en 28 días, cuyas medias se encuentra en la agrupación “A” con un módulo de elasticidad estática de

2.49E+05 kgf/cm<sup>2</sup> y 2.47E+05 kgf/cm<sup>2</sup> respectivamente

Para más detalles se muestra el comportamiento del módulo de elasticidad estática a los 28 días en la Figura 10.

**Figura 10**  
*Módulo de elasticidad estática vs % de caucho fino*



La Tabla 23 presenta las probabilidades estadísticas de máximos y mínimos del valor del módulo de elasticidad estático al que se podría llegar según las condiciones en el campo de trabajo. Por consiguiente, muestra que la incorporación de caucho

al 4% en 28 días es el óptimo con una media de 2.49E+05 kgf/cm<sup>2</sup>, el cual tiene la posibilidad de llegar a un módulo de elasticidad estático de 2.51E+05 kgf/cm<sup>2</sup>, como también se puede quedar solo en 2.47E+05 kgf/cm<sup>2</sup>.

**Tabla 23**  
*Probabilidades estadísticas de máximas y mínimas*

Tratamiento	N	Media	Desviación estándar	Intervalo de confianza de 95%
C.- 2% C.F.	3	2.47E+05	1581	(2.45E+05; 2.49E+05)
C.- 4% C.F.	3	2.49E+05	1379	(2.47E+05; 2.51E+05)
C.- 6% C.F.	3	2.43E+05	2289	(2.41E+05; 2.45E+05)
CP-S/C	3	2.45E+05	531	(2.43E+05; 2.47E+05)

*Nota.* Desviación estándar agrupada = 1574.94

**Análisis estadístico del módulo de elasticidad estático con incorporación de caucho granulado.**

Al procesar los 12 tratamientos en relación con el concreto patrón,

presentamos el análisis de varianza cuyo valor P es de 0.032 menor a 0,05; por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna. Según la Tabla 25 se muestra un valor F calculado de 4.88 que es mayor al valor F crítico 4.066.

**Tabla 24**  
*Análisis de varianza*

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados ajustado	Medios cuadrados ajustado	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	3.59E+07	1.20E+07	4.88	0.032
Error	8	1.95E+07	2.45E+06		
Total	11	5.54E+07			

Las pruebas estadísticas mostradas en la Tabla 24 determinan que la incorporación de 2% 4% y 6% de caucho granulado mejora el valor del módulo de elasticidad en base al incremento de dicho agregado respecto al concreto

patrón de 210 kgf/cm<sup>2</sup>. Lo que afirma que hay diferencia entre las medias de los tratamientos de la investigación. Así mismo por el método de Tukey mostramos la agrupación de medias en la Tabla 25.

**Tabla 25**

*Grupos de información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%*

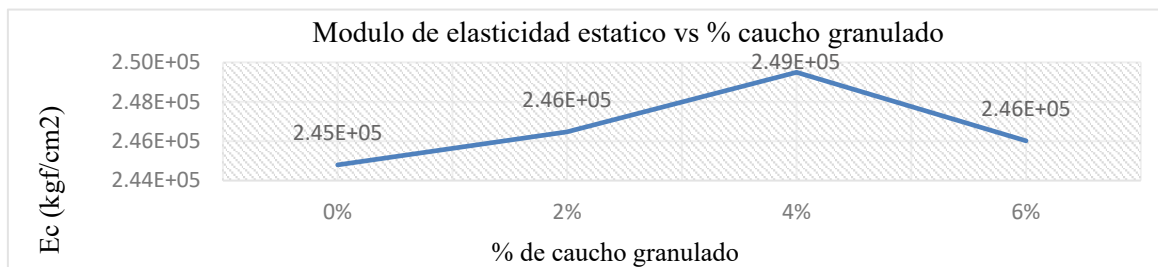
Tratamiento	N	Media	Agrupación
C.- 4% C.G.	3	2.49E+05	A
C.- 2% C.G.	3	2.46E+05	A B
C.- 6% C.G.	3	2.46E+05	A B
CP-S/C	3	2.45E+05	B

En la Tabla 25 se observa que el módulo de elasticidad estático óptimo es al 4%, 2% y 6% de caucho granulado en 28 días, cuyas medias se encuentra en la agrupación “A” con un módulo

de elasticidad de 2.49E+05 kgf/cm<sup>2</sup> y 2.46E+05 kgf/cm<sup>2</sup> respectivamente. Para más detalles se muestra el comportamiento del módulo de elasticidad estático a los 28 días en la Figura 11.

**Figura 11**

*Módulo de elasticidad estático vs % de caucho granulado*



En la Tabla 26 se presenta las probabilidades estadísticas de máximos y mínimos del valor del módulo de elasticidad estático que se podría llegar según las condiciones en el campo de trabajo. Por consiguiente, muestra que la incorporación de caucho granulado

al 4% en 28 días es el óptimo con una media de 2.49E+05 kgf/cm<sup>2</sup>, el cual tiene la posibilidad de llegar a un módulo de elasticidad estático de 2.52E+05 kgf/cm<sup>2</sup>, como también se puede quedar solo en 2.47E+05 kgf/cm<sup>2</sup>.

**Tabla 26**

*Probabilidades estadísticas de máximos y mínimas*

Tratamiento	N	Media	Desviación estándar	Intervalo de confianza de 95%
C.- 2% C.G.	3	2.46E+05	1578	(2.44E+05; 2.49E+05)
C.- 4% C.G.	3	2.49E+05	2127	(2.47E+05; 2.52E+05)
C.- 6% C.G.	3	2.46E+05	1581	(2.44E+05; 2.48E+05)
CP-S/C	3	2.45E+05	531	(2.43E+05; 2.47E+05)

*Nota.* Desviación estándar agrupada = 1564.9

**Análisis de la respuesta sísmica hipotética de la edificación con los resultados óptimos**

En la Tabla 27 se muestra el resumen de resultados óptimos obtenidos del concreto con incorporación con caucho reciclado

respecto al concreto patrón, en el cual se observa que el valor del módulo de elasticidad no varió significativamente, pero se tuvo una reducción del peso específico y una mejora de la resistencia a la compresión de las muestras.

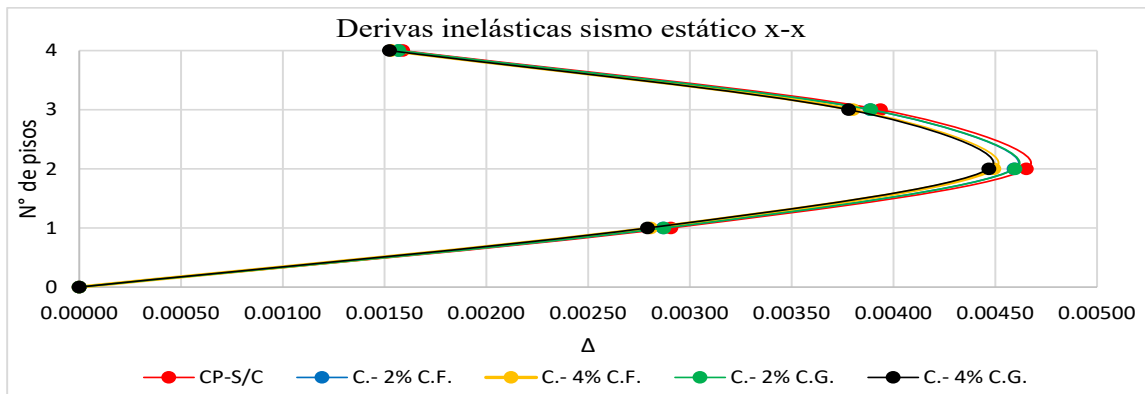
**Tabla 27**  
*Resumen de resultados óptimos obtenidos*

Tipos de concreto	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )
C.P- S/C	266	2376	2.45E+05
C.- 2% de C.F.	271	2365	2.47E+05
C.- 4% de C.F.	276	2327	2.49E+05
C.- 2% de C.G.	270	2362	2.46E+05
C.- 4% de C.G.	277	2316	2.49E+05

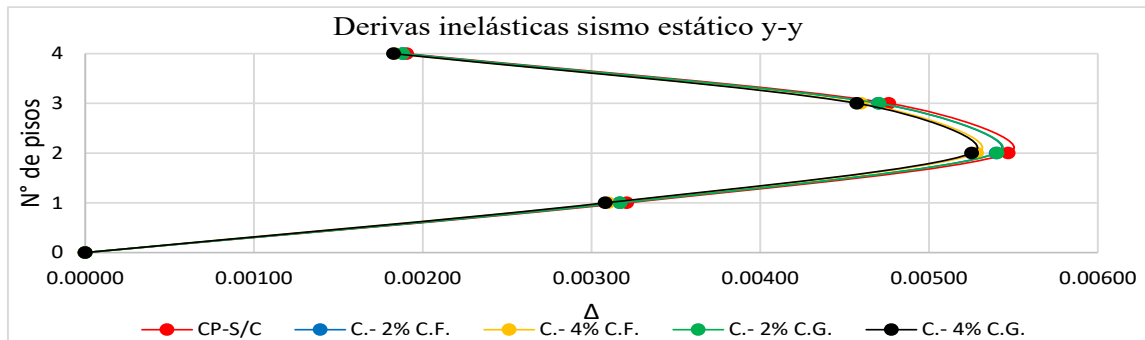
En las Figuras 12 y 13 se muestran los resultados de las edificaciones evaluadas con los datos de la Tabla 27 del cual se deduce que la incorporación de caucho granulado y fino al 2% y 4% mejora positivamente las características elásticas de la edificación respecto a la edificación evaluada con el concreto patrón. Así

mismo, mostraron una reducción de los desplazamientos de entrepisos, debido a que su módulo de elasticidad estático no varió significativamente, pero sí se tuvo una reducción del peso específico lo cual hizo que la estructura tenga un comportamiento más dúctil y elástico frente a las sollicitaciones sísmicas.

**Figura 12**  
*Derivas inelásticas sismo x-x con incorporación de caucho reciclado*



**Figura 13**  
*Derivas inelásticas sismo estático y-y con incorporación de caucho reciclado*



Como se visualizó, anteriormente, el peso específico del concreto influye notoriamente en el comportamiento

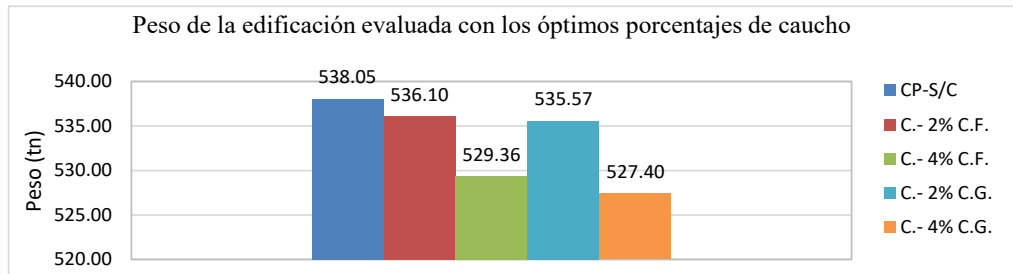
sísmico de las estructuras, en la Figura 14 se muestra la alteración del peso de la edificación analizada con los óptimos

porcentajes de caucho encontrados, por lo cual el peso de la edificación se redujo conforme se fue incrementando caucho

reciclado, gracias a que el caucho tiene la propiedad de ser más liviano que los agregados.

**Figura 14**

*Peso de la edificación evaluada con los óptimos porcentajes de caucho*



**Porcentaje de mejora de la respuesta sísmica hipotética de la edificación con los óptimos resultados**

En la Tabla 28 se muestra las derivas máximas para el sismo X-X de la edificación evaluada con los porcentajes óptimos de caucho, así también, el

porcentaje de mejora de la respuesta sísmica respecto a la edificación evaluada con el concreto patrón. Por lo que se observa que el caucho tanto fino como granulado al 4 % posee el mayor porcentaje de mejora con 3.44% y 3.87% respectivamente.

**Tabla 28**

*Derivas máximas (Sismo X-X) y % de mejora*

Estructura	Deriva máxima x-x	%	% de mejora
Concreto Patrón	0.00465	100	0.00
C. E. con 2% de C.F.	0.00459	101.29	1.29
C. E. con 4% de C.F.	0.00449	103.44	3.44
C. E. con 2% de C.G.	0.00460	101.08	1.08
C. E. con 4% de C.G.	0.00447	103.87	3.87

La Tabla 29 muestra las derivas máximas para el sismo Y-Y de la edificación evaluada con los porcentajes óptimos de caucho, así mismo, el porcentaje de mejora de la respuesta sísmica respecto a la edificación

evaluada con el concreto patrón. Por lo que se observa que el caucho tanto fino como granulado al 4 % posee el mayor porcentaje de mejora con 3.47 y 3.96% respectivamente.

**Tabla 29**

*Derivas máximas (Sismo y-y) y % de mejora*

Estructura	Deriva máxima y-y	%	% de Mejora
Concreto Patrón	0.00547	100.00	0.00
C. E. con 2% de C.F.	0.00540	101.28	1.28
C. E. con 4% de C.F.	0.00528	103.47	3.47
C. E. con 2% de C.G.	0.00540	101.28	1.28
C. E. con 4% de C.G.	0.00525	103.96	3.96

## Conclusiones

La incorporación de caucho reciclado tanto fino como granulado al 4% evidencia una mejora de algunas propiedades mecánicas del concreto, y ello también se observa en el análisis de la respuesta sísmica hipotética de la edificación, el cual mostró un comportamiento elástico aceptable, por lo cual se verifica que influye positivamente el caucho reciclado en el concreto estructural y por tanto se sugiere la utilización de este porcentaje de caucho en el concreto. Por otra parte, se observó una disminución de las propiedades con la incorporación de caucho tanto granulado como fino al 6%.

Con relación a los ensayos completados a los agregados del concreto para la obtención de la mezcla patrón de acuerdo con la ASTM, se afirma que los agregados están dentro de los parámetros y límites establecidos por la norma ya nombrada y se logra agregados aptos para realizar los diseños de mezcla planteados en la investigación.

La resistencia a la compresión con la incorporación de caucho tanto fino como granulado al 4% superó la resistencia a la compresión en un 3.76% (276 kgf/cm<sup>2</sup>) y 4.14% (277 kgf/cm<sup>2</sup>) respecto al concreto patrón (266 kgf/cm<sup>2</sup>), siendo este el óptimo. Por otro lado, la incorporación al 6% de caucho tanto fino como granulado presenta ya una disminución de su resistencia 262 y 269 kgf/cm<sup>2</sup>, es decir que a mayor cantidad de caucho la resistencia a la compresión disminuye.

La resistencia a la tracción indirecta diametral para el concreto con incorporación de caucho al 4% tanto fino como granulado aumenta en un 8.98%

(28.50 kgf/cm<sup>2</sup>) y 16.05% (30.35 kgf/cm<sup>2</sup>) respecto al concreto patrón (26.15 kgf/cm<sup>2</sup>), es decir, los especímenes con caucho muestran una alta aptitud para absorber energía plástica, por tanto, el caucho tiene la capacidad de soportar grandes deformaciones antes de la falla.

El módulo de elasticidad estático no varía para el concreto con incorporación de 4% tanto fino como granulado, pero sí se observa una disminución para el concreto con incorporación de caucho al 6%. Es decir que, a mayor porcentaje de caucho, el módulo de elasticidad tiende a bajar respecto al concreto patrón. Por tanto el caucho tiene la simplicidad para deformarse en presencia de cargas de compresión.

En cuanto a la respuesta sísmica hipotética de la edificación evaluada con los óptimos resultados se llegó a la conclusión de que el concreto con incorporación de caucho reciclado al 4% tanto fino como granulado mejoró las características elásticas de la edificación respecto al concreto patrón. Además que sus desplazamientos se redujeron con una resistencia a la compresión superior, manteniendo un módulo de elasticidad estático semejante al del concreto patrón y paralelamente se redujo el peso de la estructura debido al menor peso específico del concreto con caucho reciclado.

Por tanto, la respuesta sísmica de la edificación evaluada con los óptimos resultados, con un porcentaje de mejora con la incorporación de caucho al 4% de las derivas máximas en el sentido X del 3.44% para el concreto con caucho fino y del 3.87% para el concreto con caucho granulado. Así mismo, para el sentido Y del 3.47% para el concreto con caucho

fino y 3.96% para el concreto con caucho granulado respecto al concreto patrón. Se Demuestra así que es aceptable el uso de

caucho al 4% tanto fino como granulado en el concreto.

## Referencias

- Amat Rodrigo, J. (2016). ANOVA análisis de varianza para comparar múltiples medias. [https://www.cienciadedatos.net/documentos/19\\_anova](https://www.cienciadedatos.net/documentos/19_anova)
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2009). Norma Técnica de Edificación E.060 “Concreto Armado”.
- Farfán, M. & Leonardo, E. (2018). Caucho reciclado en la resistencia a la compresión y flexión de concreto modificado con aditivo plastificante. *Revista Ingeniería de Construcción*, 33(3), 241–250. <https://doi.org/10.4067/s0718-50732018000300241>
- Farfán, M., & Leonardo, E. (2018). Recycled rubber in the compressive strength and bending of modified concrete with plasticizing admixture. *Revista Ingeniería de Construcción*, 33(3), 241–250. <https://doi.org/10.4067/s0718-50732018000300241>
- García Villalpando, J. A., Castillo Morales, A., Ramírez Guzmán, M. E., Rendón Sánchez, G., & Larqué Saavedra, M. U. (2001). Comparación de los procedimientos de tukey, duncan, dunnett, hsu y bechhofer para selección de medias. *Agrociencia*, 35, 79–86. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30235107>
- Gibreil, H.A.A. & Feng, C.P. (2017). Effects of high-density polyethylene and crumb rubber powder as modifiers on properties of hot mix asphalt. *Construction and Building Materials*, 142, 101–108. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.062>
- Guo, Y. C., Zhang, J. H., Chen, G. M. & Xie, Z. H. (2014). Compressive behaviour of concrete structures incorporating recycled concrete aggregates, rubber crumb and reinforced with steel fibre, subjected to elevated temperatures. *Journal of Cleaner Production*, 72, 193–203. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.02.036>
- Ghosh, S., & Bera, D. K. (2016). Fundamental properties of self-compacting concrete utilizing waste rubber tires-a review. *Ijret: International Journal of Research in Engineering and Technology*, 5(1), 2321–7308.
- Kara De Maeijer, P., Craeye, B., Blom, J., & Bervoets, L. (2021). Crumb rubber in concrete - the barriers for application in the construction industry. *Infrastructures*, 6(8), 1–20. <https://doi.org/10.3390/infrastructures6080116>
- Ministerio de Vivivenda Construcción, & Saneamiento. (2018). Resolución Ministerial N°355-2018-Vivienda. Reglamento Nacional de Edificaciones E.030 Diseño

- Sismorresistente. *Diario El Peruano*, 576293–576322. <https://busquedas.elperuano.pe/download/url/anexo-de-rm-n-355-2018-vivienda-mediante-la-cual-se-modi-anexo-rm-n355-2018-vivienda-1720685-1>
- Novillo, G., Jose, M., Bacuilima, I., Fernando, D., Novillo, M. & Andres, F. (2017). *Elaboración de hormigones con caucho reciclado. III Congreso Nacional AMICA Villahermosa Tabasco*. <http://www.amica.com.mx/issn/Tabasco/AMI-143.pdf>
- Pasquel Carbajal, E. (1998). *Tópicos de tecnología de concreto en el Perú* (2da ed.). Colegio de Ingenieros del Perú. <https://issuu.com/jj1989/docs/145311372-topicos-de-tecnologia-de->
- Pelisser, F., Zavarise, N., Longo, T. A., & Bernardin, A. M. (2011). Concrete made with recycled tire rubber: Effect of alkaline activation and silica fume addition. *Journal of Cleaner Production*, 19(6–7), 757–763. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.11.014>
- Pnevmatikos, N., Konstandakopoulou, F. & Koumoutsos, N. (2020). Seismic vulnerability assessment and loss estimation in Cephalonia and Ithaca islands, Greece, due to earthquake events: A case study. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 136, 106252. <https://doi.org/10.1016/j.SOILDYN.2020.106252>
- Rodríguez R., S. L., Hernández H., L. S., Pérez Gutiérrez, F. G. & Díaz A., J.H. (2019). Mechanical behavior of reinforced concrete with waste-tire particles under an indirect tensile test. *MRS Advances*, 4(54), 2931–2937. <https://doi.org/10.1557/ADV.2019.462>
- Safan, M., Fatma M,E. & Awad, M. (2017). Enhanced Properties of Crumb Rubber and Its Application in Rubberized Concrete. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 7(5), 1784-1790. <http://inpressco.com/category/ijcet>
- Serrano Guzmán, M. F., & Pérez Ruiz, D.D. (2011). Concreto preparado con residuos industriales: resultado de alianza empresa universidad. *Revista Educación en Ingeniería*, 6(11), 1–11. <https://doi.org/10.26507/REI.V6N11.116>
- Vargas Neumann, J. (2016). *Normas de Tierra : Ensayos de Tracción Indirecta*. CRAterre. [https://craterre.hypotheses.org/files/2018/05/TERRA-2016\\_Th-4\\_Art-133\\_Vargas-Neumann.pdf](https://craterre.hypotheses.org/files/2018/05/TERRA-2016_Th-4_Art-133_Vargas-Neumann.pdf)
- Verzegnassi, E., Cecche Lintz, R. C., Gachet Barbosa, L. A., & P.G. de Avila Jacintho, A. E. (2011). Concreto convencional com adição de borrachareciclada de pneus: estudo das propriedades. *Estudos Tecnológicos em Engenharia*, 7(2), 98–108. <https://doi.org/10.4013/ETE.2011.72.03>
- Youssf, O., ElGawady, M. A. & Mills, J. E. (2015). Experimental Investigation of Crumb Rubber Concrete Columns under Seismic Loading. *Structures*, 3, 13–27. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2015.02.005>