



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

EL USO DEL CAUCHO RECICLADO Y SU INFLUENCIA EN LA
CARACTERIZACIÓN FÍSICO – MECÁNICO DEL CONCRETO
PARA LA ELABORACIÓN DE ADOQUINES.

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Bach. Klisman Aldair Flores Durand

Asesor:

Mg. Ing. Jorge Luis Canta Honores

Lima – Perú

2020

DEDICATORIA

Dios: Siempre estaré agradecido por escuchar mis peticiones, por cuidar de mi familia y por darme la oportunidad de hacer un cambio significativo en mi vida. Sé, que estás conmigo en todo momento.

Alejandro Flores Salinas[†]: Padre, lamento mucho que no puedas disfrutar junto a mí, lo mucho que anhelabas este logro, me haces mucha falta. Sé, que, desde el cielo, estas muy orgulloso de mí. Lo logramos papá, esto es por ti y para ti. Seguiré con lo que siempre solíamos dialogar y siempre solías aconsejarme.

Alminda Lucila Durand Roque: Madre, expresarte todo mi cariño y gratitud, mi amada, por tus sacrificios, por tu confianza, por brindarme todo lo que estaba a tu alcance junto con papá, por tu apoyo incondicional hasta este momento tan importante de mi vida y por preocuparte siempre por mí. Este logro, es para ti y para papá.

Teófila León Romero[†]; Reymundo Flores Mendez[†]; Florentino Quito Salinas[†]: Por acompañarme siempre en todo momento. Sé, que, desde el cielo, me cuidan. Esta investigación, va para ustedes.

AGRADECIMIENTO

En cada instante de mi vida, agradecido con Dios, por haberme bendecido con mi amada madre, Alminda Lucida Durand Roque y mi amado padre, Alejandro Flores Salinas. Gracias, por hacer de mí, una persona de bien. A ti, mi amado padre, que estas en el cielo y me cuidas, muchas gracias por todo.

En estas líneas, quiero agradecer con mucho cariño a mis tíos Higinio Palacios Salinas y Berina Vásquez Torrejón, quienes me aconsejaron y brindaron su apoyo incondicional para lograr mis objetivos.

Y por supuesto, muy agradecido con mis amigos, Jony Gutiérrez Abanto, Robinson Leyva Viton y Celina Amaringo Salas, por el apoyo constante durante el desarrollo de esta investigación.

Muchas gracias.

Klisman Aldair Flores Durand

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO	3
TABLA DE CONTENIDO.....	4
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
RESUMEN	10
ABSTRACT.....	11
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1 Realidad problemática.....	12
1.2 Formulación del problema.....	15
1.3 Objetivos.....	15
1.4 Hipótesis.....	15
1.5 Justificación e importancia del estudio.....	16
1.6 Delimitación del problema.....	17
1.7 Revisión de literatura.....	18
CAPITULO II. METODOLOGÍA.....	33
2.1 Método de investigación.....	33
2.2 Diseño y alcance de investigación.....	33
2.3 Población.....	33
2.4 Muestra.....	33
2.5 Materiales, instrumentos y métodos.....	34
2.6 Procedimientos, técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	34
2.7 Análisis estadístico.....	47
CAPITULO III. RESULTADOS.....	58
3.1 Asentamiento.....	58
3.2 Peso unitario.....	59
3.3 Temperatura.....	59
3.4 Resistencia a la compresión.....	60
3.5 Resistencia a la flexión.....	61
3.6 Validación de datos para el ensayo de resistencia a la compresión.....	62
3.7 Validación de datos para el ensayo de resistencia a la flexión.....	83
3.8 Prueba de hipótesis para el ensayo de resistencia a la compresión.....	90
3.9 Prueba de hipótesis para el ensayo de resistencia a la compresión con mezclas de CR y CRT.	108
3.10 Prueba de hipótesis para el ensayo de resistencia a la flexión.....	117
3.11 Prueba de hipótesis para el ensayo de resistencia a la flexión con mezclas de CR y CRT.....	123

CAPITULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	126
4.1 Discusión.....	126
4.2 Conclusiones.	129
4.3 Recomendaciones.....	130
REFERENCIAS.....	131
ANEXOS.....	139

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01. Tipos de fallas evidenciadas en un pavimento intertrabado.....	14
Tabla 02. Materiales típicos utilizados en la fabricación de neumáticos según (Rubber Manufacturer’s Association, 2000).	25
Tabla 03. Composición típica de neumáticos fabricados por peso según (Rubber Manufacturer’s Association, 2000).	26
Tabla 04. Requerimiento estructural de los adoquines de acuerdo al uso.....	30
Tabla 05. Ventajas y desventajas de los adoquines de concreto.	30
Tabla 06. Porcentaje optimo determinados en la literatura.	33
Tabla 07. Tipo de muestra y cantidad de adoquines de concreto a ensayar a los 7, 14 y 28 días.	34
Tabla 08. Proporciones de la mezcla de control y mezclas con adición de caucho CR y CRT.	44
Tabla 09. Resistencia a la compresión de adoquines con CR a los 7 días.	47
Tabla 010. Resistencia a la compresión de adoquines con CR a los 14 días.	47
Tabla 11. Resistencia a la compresión de adoquines con CR a los 28 días.	47
Tabla 12. Resultado promedio de resistencia a la compresión de adoquines con CR.....	47
Tabla 13. Resistencia a la compresión de adoquines con CRT a los 7 días.....	48
Tabla 14. Resistencia a la compresión de adoquines con CRT a los 14 días.....	48
Tabla 15. Resistencia a la compresión de adoquines con CRT a los 28 días.....	48
Tabla 16. Resultado promedio de resistencia a la compresión de adoquines con CRT.	48
Tabla 17. Resistencia a la flexión de adoquines con CR a los 28 días.....	48
Tabla 18. Resultado promedio de resistencia a la flexión de adoquines con CR.....	48
Tabla 19. Resistencia a la flexión de adoquines con CRT a los 28 días.....	49
Tabla 20. Resultado promedio de resistencia a la compresión de adoquines con CRT.	49
Tabla 21. Resumen de la prueba de hipótesis de la resistencia a la compresión con CR a los 7 días.....	50
Tabla 22. Resumen de la prueba de hipótesis de la resistencia a la compresión con CR a los 14 días...	50
Tabla 23. Resumen de la prueba de hipótesis de la resistencia a la compresión con CR a los 28 días...	50
Tabla 24. Resumen de la prueba de hipótesis de la resistencia a la compresión con CRT a los 7 días. .	51
Tabla 25. Resumen de la prueba de hipótesis de la resistencia a la compresión con CRT a los 14 días.	51
Tabla 26. Resumen de la prueba de hipótesis de la resistencia a la compresión con CRT a los 28 días.	51
Tabla 27. Prueba de hipótesis de compresión al 5% de CRT con respecto a CR a los 7 días.....	52
Tabla 28. Prueba de hipótesis de compresión al 5% de CRT con respecto a CR a los 14 días.....	52
Tabla 29. Prueba de hipótesis de compresión al 5% de CRT con respecto a CR a los 28 días.....	53
Tabla 30. Prueba de hipótesis de compresión al 10% de CRT con respecto a CR a los 7 días.....	53

Tabla 31. Prueba de hipótesis de compresión al 10% de CRT con respecto a CR a los 14 días.....	53
Tabla 32. Prueba de hipótesis de compresión al 10% de CRT con respecto a CR a los 28 días.....	54
Tabla 33. Prueba de hipótesis de compresión al 15% de CRT con respecto a CR a los 7 días.....	54
Tabla 34. Prueba de hipótesis de compresión al 15% de CRT con respecto a CR a los 14 días.....	54
Tabla 35. Prueba de hipótesis de compresión al 15% de CRT con respecto a CR a los 28 días.....	55
Tabla 36. Resumen de prueba de hipótesis de la resistencia a la flexión con CR a los 28 días.....	56
Tabla 37. Resumen de prueba de hipótesis de la resistencia a la flexión con CRT a los 28 días.....	56
Tabla 38. Prueba de hipótesis de flexión al 5% de CRT con respecto a CR a los 28 días.....	57
Tabla 39. Prueba de hipótesis de flexión al 10% de CRT con respecto a CR a los 28 días.....	57
Tabla 40. Prueba de hipótesis de flexión al 15% de CRT con respecto a CR a los 28 días.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01. (a) Importaciones de neumáticos y; (b) bandas de rodadura.	13
Figura 02. (c) Segunda vida y; (d) acumulación informal de los NFU, Lima.	13
Figura 03. Plantaciones de Hevea Brasiliensis para la extracción del caucho natural.....	21
Figura 04. Nuevas tecnologías de neumáticos, REPAL S.A.C.....	22
Figura 05. Irregularidades geométricas en adoquines de acuerdo al uso que se le dará a un pavimento semirrígido.....	29
Figura 06. Reencauchadora Palacios SAC, (1) adquisición del caucho y, (2) traslado hacia el laboratorio de Ingeocontrol SAC para los estudios correspondientes.	34
Figura 07. Adquisición del caucho, (1) neumático en desuso, (2) reencauche y adquisición del caucho durante el proceso de raspado y, (3) segunda vida del neumático.	35
Figura 08. Ensayo granulométrico, se procedió a pesar la muestra representativa para posteriormente ser tamizado por las mallas correspondientes para un agregado fino.....	35
Figura 09. Peso específico del caucho mediante el principio de Arquímedes.	36
Figura 10. Peso unitario suelto y compactado del caucho mediante el estándar ASTM.	36
Figura 11. Pretratamiento del caucho, (a) visualización de pH inicial (pH=14), (b) agitación de las partículas en solución 1N NaOH y, (c) reducción del pH (pH=7) mediante lavado con agua.	37
Figura 12. Procedimiento de ensayo granulométrico para los agregados gruesos y finos.....	38
Figura 13. Ensayo de granulometría, (a) cuarteo, (b) muestra representativa y, (c-d) tamizado de los agregados gruesos y finos.	39
Figura 14. Procedimiento de ensayo de pasante la malla N° 200 para el agregado fino.	39
Figura 15. Material fino pasante la malla N° 200, (a) cuarteo y, (b) muestra representativa para el procedimiento correspondiente.....	39
Figura 16. Ensayo de peso unitario, (a) para el agregado fino y, (b) agregado grueso.....	40
Figura 17. Procedimiento del peso unitario suelto y compactado de los agregados gruesos y finos.....	40
Figura 18. Tipo de muestra y cantidad de adoquines de concreto a ensayar a los 7, 14 y 28 días.....	41
Figura 19. Muestra representativa y lectura de pesos para el contenido de humedad.	41
Figura 20. Tipo de muestra y cantidad de adoquines de concreto a ensayar a los 7, 14 y 28 días.....	42
Figura 21. Procedimiento de ensayo de peso unitario del agregado fino.....	42
Figura 22. Tipo de muestra y cantidad de adoquines de concreto a ensayar a los 7, 14 y 28 días.....	43
Figura 23. Procedimiento de ensayo de peso específico para el agregado grueso.....	43
Figura 24. Producción de la mezcla, (a) elaboración y, (b) curado de los adoquines en saco yute.	44
Figura 25. Resultado del asentamiento de la mezcla de control, (a) mezcla con el uso de CR y, (b) mezcla con la aplicación de CRT.....	58
Figura 26. Efectos del contenido de CR y relación agua – cemento en el asentamiento de la mezcla de hormigón.....	58
Figura 27. Efecto del caucho reciclado en el ensayo de peso unitario del hormigón.	59

Figura 28. Efecto del caucho reciclado en el ensayo de temperatura del hormigón con CR y CRT.	59
Figura 29. Resistencia a la compresión de los adoquines de control, con adición de (a) CR y, (b) CRT.	60
Figura 30. Efectos del contenido de CR en la resistencia a la compresión de los adoquines a los 28 días.	61
Figura 31. Resistencia a la flexión de los adoquines con la incorporación de CR y CRT.....	61

RESUMEN

La inadecuada disposición final de los neumáticos de desecho (NFU) representa un riesgo para la salud y el medio ambiente en todo el mundo. La producción del concreto a gran escala con la incorporación de partículas de NFU es una alternativa viable.

Este estudio examinó a detalle la influencia de las partículas de caucho reciclado tal como se recibió (CR) y pre tratado con solución de hidróxido de sodio (CRT) como reemplazo parcial del agregado fino en peso (5%, 10% y 15%) sobre las propiedades de asentamiento, peso unitario y temperatura de la mezcla de concreto en estado fresco. Se elaboraron adoquines de control, con mezclas de CR y CRT para las pruebas mecánicas de compresión y flexión. Los resultados del concreto en estado fresco con CR y CRT demostraron que la mezcla puede mantener su trabajabilidad hasta el 15% de reemplazo parcial. El comportamiento de asentamiento y peso unitario, muestran una tendencia lineal con el aumento del contenido de caucho. Se pudo observar que, el método de pretratamiento causó una variación no significativa hasta el 15% de reemplazo sobre las mezclas con CR y con respecto a la mezcla de control. La temperatura de la mezcla con CR y CRT dependieron principalmente de la hora de vaciado y de la temperatura ambiente.

La prueba mecánica de compresión y flexión también registraron una tendencia lineal a mayor contenido de CR y CRT con respecto a los adoquines de control. Los resultados de los adoquines con CRT presentaron una ligera mejora sobre los adoquines con CR. Sin embargo, el método de pretratamiento no mejoró las propiedades mecánicas de los adoquines con respecto a la muestra de control.

De manera general, se determinó que los adoquines con CR y CRT hasta el 10% cumplen con la resistencia a la compresión requerida por la NTP 339.661 para la serviciabilidad de TIPO II.

PALABRAS CLAVE: Concreto de caucho; Adoquín; Tratamiento Superficial; Concreto fresco; Resistencia a la compresión; Resistencia a la flexión.

ABSTRACT

The improper disposal of waste tires (NFU) represents a risk to health and the environment around the world. Large-scale concrete production with the incorporation of NFU particles is a viable alternative.

This study examined in detail the influence of recycled rubber particles as received (CR) and pre-treated with sodium hydroxide solution (CRT) as a partial replacement for fine aggregate by weight (5%, 10% and 15%). on the slump properties, unit weight and temperature of the concrete mix in a fresh state. Control pavers were made, with mixtures of CR and CRT for the mechanical compression and bending tests. The results of the concrete in fresh condition with CR and CRT demonstrated that the mix can maintain its workability up to 15% of partial replacement. The settlement behavior and unit weight show a linear trend with increasing rubber content. It was observed that the pretreatment method caused a non-significant variation up to 15% of replacement on the mixtures with CR and with respect to the control mixture. The temperature of the mixture with CR and CRT depended mainly on the pouring time and the ambient temperature.

The mechanical compression and bending test also registered a linear trend to higher CR and CRT content with respect to the control pavers. The results of the CRT pavers showed a slight improvement over the CR pavers. However, the pretreatment method did not improve the mechanical properties of the pavers with respect to the control sample.

In general, it was determined that pavers with CR and CRT up to 10% meet the compressive strength required by NTP 339.661 for TYPE II serviceability.

KEY WORDS: Rubber concrete; Paver block; Surface treatment; Fresh concrete; Compressive strength; Flexural strength.

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad problemática.

En el mundo cada vez es mayor el desarrollo de diversos métodos y/o técnicas para optimizar la serviciabilidad del concreto, ello ha considerado el uso de remanentes de procesos industriales, tal es el caso de las partículas de neumáticos fuera de uso.

Durante las últimas décadas, el concreto se ha convertido en el material de construcción más utilizado (Flower & Sanjayan, 2007, p. 282) debido a su gran ventaja en cuanto a forma, función y economía (Sanchez, 2001, p. 19), de tal manera que se ha registrado una tasa de consumo global que se aproxima a 25 gigatoneladas por año, correspondiendo a más de 3.8 toneladas de uso por persona (Petek, Masanet, Horvath, & Stadel, 2014, p. 38).

El sector de materiales de construcción también es el principal contribuyente al consumo de los recursos naturales, ya que las obras civiles consumen hasta un 60% de materias primas extraídas (Wadel, 2009, p. 49). Se sabe que 1 m³ de concreto contiene casi 0.6 – 0.7 m³ de agregados (Amedeo, Castoro, Marano, & Greco, 2019, p. 1). Por ejemplo, durante el 2015, la producción de agregados en EE. UU fue de 2300 millones de toneladas métricas de piedra triturada, arena y grava. En 2016, la producción ascendió en 8.7%. Entre los años 2017 y 2018 también se generó un aumento de producción de agregados en 5%. En Brasil, la demanda interna en 2017 se estimó en 409 millones de toneladas de agregados, en la cual, estaba conformada por 242 millones de toneladas de arena y grava y 167 millones de toneladas de piedra triturada (GAIN, 2019). Se espera que se amplíe aún más para el 2022 (Brito & Silva, 2016, p. 1). Por lo tanto, los agregados para la construcción, son los factores que más influye en el agotamiento de los recursos naturales (Gutiérrez, 2003, p. 7).

El aumento de la población en el Perú es cada vez mayor, registrando alrededor de 31.24 millones de habitantes en 2017 según las estadísticas (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018). Esto genera una mayor explotación de los recursos naturales para la construcción de diversas infraestructuras, registrando alrededor de 1.34 y 1.50 millones de toneladas métricas de agregado grueso y fino en 2017 (Ministerio de Energía y Minas, 2018). Por otro lado, cada año se genera un flujo constante de grandes cantidades de neumáticos en desuso debido al constante aumento de vehículos de todo tipo. Para la Comunidad Europea, se estima que se generan anualmente hasta 250 millones de neumáticos en desuso, mientras que se estiman cantidades iguales para Europa del Este, América del Norte, América Latina, Japón y el oriente medio (Oikonomou & Mavridou, 2009, p. 213).

El rápido desarrollo de la industrialización se ha visto reflejado en el incremento de importaciones de neumáticos (**Figura 01**) en 6.9% valor FOB (US\$) entre los años 2017 y 2018 para el transporte del Perú según las estadísticas (AAP, 2018) . Sin embargo, se puede observar que los neumáticos al final de su vida útil comúnmente son acumulados en zonas inapropiadas, vertederos y/o trabajados por artesanos de segunda mano (**Figura 02**), siendo éstas las principales causas para contaminar el medio ambiente.



Figura 01. (a) Importaciones de neumáticos y; (b) bandas de rodadura.

Fuente: Fotografías tomadas en la empresa REPAL SAC – Propia.



Figura 02. (c) Segunda vida y; (d) acumulación informal de los NFU, Lima.

Fuente: Fotografías tomadas en Lima, Perú – Propia.

En ese sentido, la presente investigación considera este aspecto para su desarrollo, debido a que, en la actualidad, los pavimentos intertrabados están siendo cada vez más utilizado en las vías principales de las ciudades, zonas urbanas y rurales. Simultáneamente, se puede observar diversos problemas en la serviciabilidad, encontrándose las siguientes causas:

En el control de fabricación e inadecuada calidad de los agregados, ya que, Higuera y Pacheco, (2010) mencionan que la falta de calidad y/o control en la fabricación y el inadecuado empleo de materiales en los adoquines son las causas más frecuentes que influyen en la durabilidad de los adoquines.

De no solucionarse los problemas señalados, se generará fallas en los pavimentos intertrabados, tal como sostiene Castillo, (2017) los problemas más frecuentes de los pavimentos intertrabados en la ciudad de Jaén, Cajamarca (**Tabla 01**):

Tabla 01. Tipos de fallas evidenciadas en un pavimento intertrabado.

Tipo de falla	Nivel (%)	Causa
Erosión total	22.92	Carencia de drenaje para flujo de agua
Fracturamiento	22.38	Baja capacidad portante de los bloques
Desgaste superficial	16.66	Baja capacidad portante de los bloques
Abultamiento	2.46	De acuerdo al tipo de suelo
Ahuellamiento	0.89	Infiltración de agua y tipo de suelo

Fuente: Datos de la tesis de titulación de Adriano Castillo, 2017.

En la proliferación de neumáticos fuera de uso, ya que, el avance de la económica es el principal factor que influye en la proliferación de neumáticos fuera de uso (NFU) en todo el mundo, registrando alrededor de 17 millones de toneladas por año según las estadísticas (Song, Zhao, Cheng, Li, & Wang, 2018, p. 12). Además, las propiedades de los materiales que conforman los neumáticos fuera de uso hacen que el producto al final de su vida útil no sea degradable (Marconi, Landi, Meo, & Germani, 2018, p. 944).

De acuerdo con lo mencionado, si la situación se mantiene, se generará un aumento en la contaminación del medio ambiente, ya que, que los neumáticos al final de su vida útil son incinerados la mayor parte del tiempo debido a que es el procedimiento de descarte más rápido y fácil (Blanco, Travieso, & Carvalho, 2017, p. 306). Asimismo, los neumáticos que se derriten producen grandes cantidades de aceite, lo que contribuye a la contaminación del suelo y las aguas subterráneas (Ling, Nor, & Lim, 2010, p. 37).

De acuerdo a la literatura expuesta, se observó que el uso del caucho pre tratado en aplicaciones de adoquines de concreto es limitado. Por ello, esta investigación tuvo como objetivo proponer el uso del caucho para mejorar las características físico-mecánico del concreto. Se utilizó CR y CRT como reemplazo parcial al agregado fino en peso para demostrar si el método de pretratamiento mejora las propiedades del concreto con respecto al diseño de control. Se realizaron los ensayos de asentamiento, temperatura y peso unitario para el concreto en estado fresco y se elaboraron adoquines para la evaluación de la resistencia a la compresión y resistencia a la flexión.

1.2 Formulación del problema.

1.2.1 Problema general.

- ❖ ¿En qué medida el uso del caucho reciclado mejora la caracterización físico-mecánico del concreto para la elaboración de los adoquines?

1.2.2 Problemas específicos.

- ❖ ¿En qué medida el uso del caucho reciclado mejora los ensayos de asentamiento, temperatura y peso unitario del concreto en estado fresco?
- ❖ ¿En qué medida el uso del caucho reciclado influye en la resistencia a la flexión de los adoquines de concreto?
- ❖ ¿En qué medida el uso del caucho reciclado influye en la resistencia a la compresión de los adoquines de concreto?

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo general.

- ❖ Proponer el uso del caucho reciclado para mejorar la caracterización físico-mecánico del concreto para la elaboración de los adoquines.

1.3.2 Objetivos específicos.

- ❖ Proponer el uso del caucho reciclado para mejorar los ensayos de asentamiento, temperatura y peso unitario del concreto en estado fresco.
- ❖ Demostrar la influencia del uso del caucho reciclado en la resistencia a la flexión en los adoquines de concreto.
- ❖ Demostrar la influencia del uso del caucho reciclado en la resistencia a la compresión de los adoquines de concreto.

1.4 Hipótesis.

1.4.1 Hipótesis general.

- ❖ El uso del caucho reciclado mejorará la caracterización físico-mecánico del concreto para la elaboración de los adoquines.

1.4.2 Hipótesis específicas.

- ❖ El uso del caucho reciclado mejorará los ensayos de asentamiento, temperatura y peso unitario del concreto en estado fresco.
- ❖ El uso del caucho reciclado mejorará la resistencia a la flexión en los adoquines de concreto.
- ❖ El uso del caucho reciclado mejorará la resistencia a la compresión en los adoquines de concreto.

1.5 Justificación e importancia del estudio.

1.5.1 Justificación teórica.

El agotamiento de las reservas naturales de agregados, y la demanda cada vez mayor de la industria de la construcción fomentan aún más la adopción de este nuevo concepto de tecnología de reciclaje (Bairagi, Ravande, & Pareek, 1993, p. 110).

Por lo tanto, la incorporación de partículas de caucho reciclado es un método innovador que al reemplazar parcialmente al agregado fino sería una alternativa de solución a la problemática del agotamiento de los recursos minerales. Además, contribuirá a reducir la contaminación ambiental que generan los neumáticos al final de su vida útil.

De la incorporación de caucho reciclado en el concreto, Sofi. (2017) en su investigación concluye que los valores de las propiedades mecánicas disminuyen gradualmente con el aumento de las partículas de caucho en el concreto.

Para Lv, Zhou, Du, y Wu. (2015) y Chou, Lu, Chang, y Lee. (2007)., las posibles razones de la reducción en las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido, podrían asignarse a la disminución de material sólido portador de carga e imperfecciones en la hidratación del cemento generados por hidrofobicidad del caucho.

Por otro lado, el avance acelerado en la tecnología ha permitido desarrollar productos químicos y económicos tales como el hidróxido de sodio (NaOH). Existen investigaciones recientes sobre el tratamiento superficial que se le realiza al caucho, obteniendo una mejora en las propiedades del concreto.

Con respecto al pretratamiento del caucho reciclado con NaOH, Ma y Yue. (2013) y Eid, Safan, & Awad. (2017)., demostraron una mejora en las propiedades mecánicas del concreto. Por lo tanto, se espera que el pretratamiento del caucho resuelva los defectos descritos previamente para las características físico-mecánico del concreto para la elaboración de los adoquines.

1.5.2 Justificación metodológica.

Este estudio tiene como finalidad demostrar la influencia del caucho en el concreto para la elaboración de adoquines mediante una metodología establecida en base a la literatura, así como también, adjuntar todos los documentos adquiridos en laboratorio, ya que ello servirá como base para futuras investigaciones relacionados con el área.

1.5.3 Justificación práctica.

Se pretende realizar un tratamiento superficial al caucho reciclado previo a la incorporación del concreto y evaluar sus resultados con la finalidad de obtener conclusiones y difundirlas para su mejora en futuras investigaciones y/o comercialización en la industria del Perú.

1.5.4 Justificación social.

El estudio tendrá un efecto positivo a nivel social, ya que el estudio del concreto reforzado con partículas de caucho para la elaboración de los adoquines, mitigará principalmente el problema de contaminación ambiental que generan los neumáticos al final de su vida útil en el Perú. Así como también, el problema de la producción excesiva e ilegal de los recursos naturales.

1.5.5 Justificación legal.

Cabe destacar que, este estudio se regirá a las exigencias establecidas por los estándares de calidad, tales como las normas de la Asociación Americana de Ensayos de Materiales (ASTM), la Norma Técnica Peruana (NTP) y el Instituto Americano del Concreto (ACI).

1.6 Delimitación del problema.

1.6.1 Delimitación temporal.

El desarrollo de esta investigación se llevó a cabo desde el año 2007 hasta la actualidad. Esto se realiza mediante diversas metodologías aplicadas en el mundo.

1.6.2 Delimitación espacial.

Este estudio se va a desarrollar en el territorio peruano. El caucho de neumáticos fuera de uso se obtendrá por parte de la empresa Reencauchadora Palacios SAC, ubicada en la Provincia Constitucional del Callao. Finalmente, los ensayos se realizarán en el laboratorio de Ingeocontrol SAC, ubicado en el distrito de San Martín de Porres.

1.6.3 Delimitación social.

La investigación se centrará en el sector de la construcción (adoquines para su uso en carga ligera, moderada y/o severa), pero también se estudia el impacto de los neumáticos fuera de uso sobre la población.

1.6.4 Delimitación conceptual.

El estudio no evaluará el ensayo de resistencia al congelamiento y deshielo, así como también el ensayo de absorción de los adoquines con caucho.

De manera general, con la finalidad de obtener resultados innovadores en el pretratamiento del caucho, no se ha considerado el costo de los adoquines de concreto.

1.7 Revisión de literatura.

1.7.1 A nivel internacional.

Thomas y Chandra, (2015). En su artículo científico denominado “Propiedades del concreto de alta resistencia que contiene partículas de caucho de neumático desechado” (traducido del inglés); demostraron que los valores de resistencia a la compresión y a la flexión presentaba una disminución gradual con el aumento de la cantidad de caucho en el concreto.

Mills, Hassanli, y Youssf, (2016). En su artículo científico denominado “Evaluación del rendimiento mecánico del concreto con caucho” (traducido del inglés); concluyeron que el pretratamiento de las partículas de caucho durante 0.5 horas en una solución de NaOH al 10% fue el mejor período en la investigación, ya que, recuperó 15.3% y 17.2% de la resistencia a la compresión perdida al usar caucho no tratado en el concreto a los 7 y 28 días, respectivamente.

Kashani, Ngo, Mendis, Black, y Hajimohammadi, (2017). En su artículo científico denominado “Una aplicación sostenible del caucho de neumáticos reciclados como aislante en el concreto celular liviano” (traducido del inglés); demostraron mediante imágenes SEM, EDS y de micro-CT, que el tratamiento superficial del caucho con solución NaOH mejora la resistencia a la compresión mediante una mejor unión entre el cemento-caucho.

Guo, Dai, Ruizhe, Sun, y Chao, (2017). En su artículo científico denominado “Evaluación de propiedades y rendimiento del concreto modificado con caucho para el reciclaje de neumáticos desechados” (traducido del inglés); expusieron que la resistencia a la compresión de las muestras de concreto preparadas con caucho tratado con hidróxido de sodio (NaOH) y revestidas con cemento más Silicato de Sodio (Na_2SiO_3) fueron superiores a los resultados de otras muestras de concreto con caucho. Dicha resistencia aumentó en un 23.4% en comparación con los resultados de las muestras con el agregado de caucho recibido.

Si, Wang, Guo, Dai, y Han, (2018). En su artículo científico denominado “Evaluación del rendimiento en laboratorio del concreto autocompactante con caucho de neumático reciclado” (traducido del inglés); encontraron que las muestras de concreto con caucho tratado con NaOH presentaban una ligera mejora en la resistencia a la compresión que las mezclas que contenían agregado de caucho sin tratar. Por ello, supusieron que se debía a una unión mejorada entre las partículas de caucho y la pasta de cemento mediante el tratamiento con NaOH.

Sukontasukkul y Chaikaew, (2006). En artículo científico denominado “Propiedades del bloque peatonal de concreto mezclado con caucho” (traducido del inglés); concluyeron que

es posible fabricar bloques de concreto con caucho hasta un 20%. En el caso de las propiedades mecánicas, tanto la resistencia a la compresión como a la flexión disminuyeron con el contenido de caucho. Sin embargo, el bloque de concreto con caucho se desempeñó bastante bien en la resistencia a la abrasión.

Ling y Nor, (2006). En su artículo científico denominado “Neumáticos de desechos granulados en adoquines de concreto” (traducido del inglés); demostraron que la resistencia a la compresión del adoquín presentaba una disminución de manera diferente según el tamaño y contenido de caucho. Por ello, esta investigación recomienda fabricar bloques de concreto incorporando caucho hasta un 30% por volumen de arena utilizando aditivos químicos.

Hainin, Hasan, y Ling, (2009). En su artículo científico denominado “denominado “Propiedades de los bloques de pavimentación de concreto de caucho con látex SBR” (traducido del inglés); demostraron que las propiedades mecánicas de los adoquines con la incorporación parcial de caucho reciclado presentaron una reducción en la densidad y resistencia a la compresión con el aumento del contenido de dichas partículas (0% – 50%).

Lim, Nor, y Ling, (2010) en su artículo científico denominado “Uso de neumáticos reciclados en bloques de concreto” (traducido del inglés); demostraron que la sustitución del 10% de caucho parece viable, ya que, proporcionó una mayor resistencia (porque fue hecha bajo presión extrema y vibración) con respecto al 20% y 30%. Por lo tanto, podría ser una gran ventaja en la aplicación de pavimentos con tráfico.

Tung, (2012). En su artículo científico denominado “Efectos del método de compactación y el contenido de caucho en las propiedades de los bloques de hormigón” (traducido del inglés); informaron que no es factible producir adoquines con más del 10% de incorporación de caucho reciclado en el concreto por el método empleado. Asimismo, evidenciaron que el aspecto superficial con 20% y 30% de caucho en los adoquines fueron ligeramente más oscuros. Además, cuando el adoquín contiene 20% y 30% de caucho, pueden producirse grietas en las muestras frescas.

Ohemeng y Yalley, (2013). En su artículo científico denominado “Modelos para predecir la densidad y resistencia a la compresión en bloques de pavimentos de concreto con caucho” (traducido del inglés); registraron un efecto diferente en la densidad y resistencia a la compresión del bloque de concreto según el contenido de caucho y la relación agua/cemento utilizada. Además, desarrollaron un modelo para predecir la densidad y resistencia del

bloque de concreto con caucho (dicha partícula debe oscilar entre 0% – 60% y la relación w/c deberá tener una proporción entre 0.20 – 0.35).

1.7.2 A nivel nacional.

Cabanillas, (2017). En su tesis de titulación denominado “Comportamiento físico mecánico del concreto hidráulico adicionado con caucho reciclado”; demostró que para un 10% de caucho reciclado la resistencia disminuye en 8.47% respecto del patrón, para un 15% de caucho reciclado disminuye en 38.15% y para el 20% de caucho reciclado presenta una disminución considerable de 46.13% del concreto patrón. El porcentaje óptimo de sustitución de agregado fino por caucho reciclado fue de 10%, ya que, se obtuvo el mayor valor de la resistencia mecánica a la compresión: 191.65 kg/cm².

Suarez y Mujica, (2016). En su tesis de titulación denominado “Bloques de concreto con material reciclable de caucho para obras de edificación”; concluyeron que el concreto incorporado de caucho hasta un 15% mejora el aislamiento acústico y el aislamiento térmico que un bloque convencional. Las resistencias alcanzadas en el ensayo de compresión axial presentaron un decremento mínimo. Además, se encontró que el fraguado de los bloques de concreto con caucho granulado fue más lento en comparación a los bloques fabricados con concretos convencionales. Por todo ello, los autores eligieron usar el 15% de caucho para un diseño óptimo.

Rey, (2018). En su tesis de titulación denominado “Propiedades físico-mecánicas de adoquines con polipropileno y caucho al 10% y 15% de reemplazo del agregado grueso, para su utilización en tránsito liviano en pavimentos articulados”; concluye que los adoquines con polipropileno al 10% son mejores que los adoquines convencionales y adoquines con caucho al 10% y 15%. Asimismo, ha demostrado en la investigación que los adoquines con polipropileno al 10% y 15%, y los adoquines de caucho al 10%, podrían ser utilizados como una buena alternativa para la utilización en pavimentos articulados para tránsito liviano en la ciudad de Cajamarca.

Ledezma y Yauri, (2018) en su tesis de titulación denominado “Diseño de mezcla del concreto para elaboración de adoquines con material reciclado de neumáticos en la provincia de Huancavelica”; demuestran que la incorporación del 25% de polvo de neumático como reemplazo parcial del agregado fino, reduce la resistencia a la compresión de los adoquines. Sin embargo, los autores recomiendan el uso de estos bloques en parques, calles peatonales y en general que no sean afectadas por las cargas vehiculares.

Hasta la actualidad, en el Perú aún no se ha visto evidenciado investigaciones con este tipo de pretratamiento del caucho para su uso en el concreto. Sin embargo, investigadores en todo el mundo se encuentran en constante búsqueda de mejora entre la unión caucho – concreto. Por lo antes expuesto, esta investigación tiene mucho interés en contribuir una mejora en las propiedades del concreto con adición de caucho reciclado.

Marco histórico.

Historia del caucho.

El caucho químicamente es cis – 1.4 – poliisopreno. Varios de estos han sido explotados comercialmente, como el guayule, diente de león y Hevea Brasiliensis (**Figura 03**). Sin embargo, la única planta altamente cultivada a gran escala es el árbol Hevea Brasiliensis (Hall, 1979, p. 295) por su facilidad en forma de látex, el cual lo ha convertido en una planta altamente comerciable (Archer & Audley, 1987, p. 182). En 1988, la producción mundial de caucho natural fue de 5 millones de toneladas, esto representó el 32% del consumo total de caucho en el mundo (Kush, Goyvaerts, Chye, & Chua, 1990, p. 1787). La planta es originaria de América del Sur, de manera específica del valle de Amazonas (Hurley, 2006, p. 1280), siendo cultivado en ese entonces por los nativos.

El incremento de la demanda, especialmente para el uso en neumáticos de vehículos, la implementación de un procesamiento de caucho a base de azufre, denominado vulcanización, se introdujo en 1844 por Charles Goodyear. Posteriormente, se inventó el caucho sintético como una forma de satisfacer la demanda de productos de caucho resistentes (SoftSchools).

En la actualidad, el rápido avance de la tecnología ha permitido adquirir diversos avances con respecto al procesamiento y producción del caucho en todo el mundo para la serviciabilidad en la fabricación de los vehículos, entre otros. Por lo tanto, el uso del caucho sigue siendo un componente necesario, principalmente en la industria de fabricación de vehículos de todo tipo.



Figura 03. Plantaciones de Hevea Brasiliensis para la extracción del caucho natural.

Fuente. Fotografías adquiridas en Mongabay.

Historia de los neumáticos.

Durante el invierno de 1839, Charles Goodyear de manera accidental descubre que la adición de calor y azufre altera la consistencia del caucho, la cual, luego se denominaría el proceso de vulcanización (Goodyear).

Por otro lado, Robert William Thomson tenía solo 23 años cuando en 1845 solicitó la patente que dejaría su marca en el mundo: La patente N°10990. La llanta neumática de goma, o "rueda aérea", como Thomson se refirió a ella, eventualmente transformaría el viaje por carretera de una incómoda sucesión de golpes y sacudidas, a una marcha suave y silenciosa proporcionando un colchón de aire entre la carretera y el vehículo. A pesar de las ventajas demostrables de la llanta neumática, la invención de Robert fue unos cincuenta años más avanzado del tiempo actual, ya que allá por 1845, no solo no había automóviles, sino que las bicicletas apenas comenzaban a aparecer en las calles de la ciudad. Esta falta de demanda junto con los altos costos de producción redujo las llantas neumáticas a una mera curiosidad (Historic UK).

Posteriormente, John Boyd Dunlop perfeccionó el descubrimiento de Thomson, ya que, según lo publicado por la empresa (Continental) en 1888, Dunlop se convirtió en el segundo inventor del neumático. Dunlop afirmó no tener conocimiento de la invención anterior de Thomson. La segunda vez, llamó la atención del público. El momento fue perfecto porque las bicicletas se estaban volviendo extremadamente populares y las llantas más ligeras proporcionaban una conducción mucho mejor.

Actualmente, el mercado de los neumáticos aumenta cada vez más en todo el mundo, debido al crecimiento constante en la fabricación de todo tipo de vehículos. La **Figura 04** muestra el avance actual de las nuevas tecnologías en neumáticos.



Figura 04. Nuevas tecnologías de neumáticos, REPAL S.A.C.

Fuente. Fotografías tomadas en la empresa REPAL S.A.C. – Propia.

El uso del caucho reciclado en la Ingeniería Civil.

En el transcurso del tiempo, el reciclaje del caucho vulcanizado ha generado un gran problema para las empresas. Asimismo, también se ha convertido en un amplio campo de estudio para los investigadores (Gujel, Brandalise, Crespo, & Nunes, 2008, p. 320).

En pavimentos de asfalto, el uso del caucho comenzó hace 170 años, con ensayos experimentales del caucho natural con betún en los años 1840, con la finalidad de compatibilizar las características del caucho en una superficie de pavimentación de mayor duración (Lo Presti, 2013, p. 867).

En pavimentos de concreto, el uso del caucho comenzó en los Estados Unidos en 2003 específicamente en el norte de Arizona (Li, Huang, Wang, & Wang, 2014, p. 1834).

En las últimas dos décadas, muchas investigaciones han estado involucrado en la utilización del caucho reciclado como reemplazo parcial del agregado fino y/o grueso para su uso en el concreto (American Concrete Institute, 2016). Sin embargo, las características físico-mecánicas que presentan hacen que su uso sea limitado. Por lo tanto, frecuentemente se puede observar que son aplicados en estructuras de ligeras solicitaciones, así como también, en elementos no estructurales.

Historia de los pavimentos intertrabados.

Hasta la actualidad, existen numerosos tipos de bloques de concreto, ello depende al tipo de serviciabilidad. Los adoquines de concreto se fabricaron por primera vez en los Países Bajos en 1924. Sin embargo, el uso de los bloques en pavimentos como material de revestimiento no es algo nuevo. El primer registro de pavimentación de piedra es originario desde el año 4000 aC en Arizona (Concrete Manufacturers Association).

En el Perú, la producción de bloques de concreto inició en 1928, cuya finalidad fue, de utilizarla en la construcción del primer barrio obrero del Callao. Fue después de la Segunda Guerra Mundial donde significó el desarrollo de la industria de los bloques de concreto (Civilgeeks).

El uso frecuente de los bloques de concreto llevó a crear gremios de especialistas, estableciéndose escuelas de oficios con una clara jerarquía de maestros, oficiales y aprendices. En esta época, la mayoría de estos gremios se preocupaba solamente de las características superficiales de la vía. Sin embargo, cuando se incrementó el número de vehículos y su peso, empezó a considerarse el comportamiento de la subestructura del firme (Chaluiza, 2012, p. 1).

El caucho.

Definición del caucho.

El término caucho natural o caucho se refiere a un producto coagulado o precipitado obtenido a partir de látex de plantas de caucho (*Hevea Brasiliensis*), estas forman cadenas poliméricas no unidas, pero parcialmente vulcanizables que tienen masas moleculares de aproximadamente 10^6 Da con propiedades elásticas (Rose & Steinbüchel, 2005, p. 2803).

Por otro lado, el caucho sintético está hecho de materia prima derivada del petróleo, carbón, gas natural y acetileno (Ali Shah, Hasan, Shah, Kanwal, & Zeb, 2013, p. 146) y es conocido como elastómeros, se utilizan como sustitutos del caucho natural debido a su excelente resistencia química a los ácidos, aceites minerales, gases y otras sustancias. Son también más estables, a temperaturas elevadas, que el caucho natural (Pontificia Universidad Católica de Chile, 2016).

Propiedades del caucho.

En su estado natural, el caucho contiene cadenas poliméricas largas y flexibles. En este estado tiene poco uso práctico, debido a que: fluye fácilmente bajo carga, ya que, las moléculas se deslizan una sobre la otra y no se recuperan cuando se elimina la carga (Davies, 1986, p. 68). Por ello, es necesario vulcanizar los compuestos de caucho para obtener buenas propiedades mecánicas y de esta manera cumplir con las solicitudes técnicas de los productos (Yepes, Cardona, Velásquez, & Carrascal, 2017, p. 18).

La matriz más utilizada es el caucho estireno butadieno (SBR) (Yugsi, 2018, p. 7), el SBR tiene buenas propiedades mecánicas y no se descompone fácilmente. Particularmente, tiene una mejor resistencia al ozono, resistencia a la intemperie y resistencia a la abrasión que el caucho natural (Noriman, Ismail, & Rashid, 2008, p. 1016). Sin embargo, la propiedad más importante de los elastómeros, de la que deriva su nombre, es su capacidad de sufrir grandes deformaciones elásticas; es decir, estirar y volver a su forma original de forma reversible (Gent, 2013, p. 1).

El neumático.

Características del neumático.

Los neumáticos en general influyen sobre el rendimiento, comportamiento y prestaciones de los vehículos, ya que son los únicos elementos que permanecen en contacto con la superficie del suelo, es por eso, que, en todas las condiciones de rodamiento, la seguridad depende de una superficie de contacto con el suelo, por lo tanto, es esencial mantener permanentemente los neumáticos en buen estado (Paucar & Tacuri, 2014, p. 2).

Según el CONAE de Argentina, las llantas tienen dentro de sus principales funciones: (a) proveer tracción; (b) asegurar el frenado seguro del vehículo; (c) cargar el peso total del vehículo; (d) absorber los impactos del camino (Montalvo, 2016, p. 22).

Materiales típicos de un neumático.

El neumático es un compuesto de formulaciones complejas de elastómero, fibras y cordón de acero/fibra. Están hechos de capas de cables de refuerzo que se extienden transversalmente (Siddique & TR, 2004, p. 563). Se detalla los componentes básicos de un neumático en la **Tabla 02**.

Tabla 02. Materiales típicos utilizados en la fabricación de neumáticos según (Rubber Manufacturer's Association, 2000).

-
1. Caucho sintético.
 2. Caucho natural.
 3. Azufre y compuestos de azufre.
 4. Resina fonólica.
 5. Petróleo.
 - (i) Aromático.
 - (ii) Nafténico.
 - (iii) Parafínico.
 6. Tela.
 - (i) Poliéster.
 - (ii) Nylon.
 7. Ceras de petróleo.
 8. Pigmentos.
 - (i) Óxido de zinc.
 - (ii) Óxido de titanio.
 9. Negro de carbón.
 10. Ácidos grasos.
 11. Materiales inertes.
 12. Alambres de acero.
-

Fuente. Artículo científico de R, Siddique., & TR, Naik., 2004. En Waste Management 24 (6), 563-569.

Neumáticos fuera de uso: Una revisión.

El número de vehículos aumenta cada vez más a nivel mundial, por lo tanto, se observa un aumento de los neumáticos al final de su vida útil (Sebola, Mativenga, & Pretorius, 2018, p. 950). Los neumáticos utilizados en la industria automotriz están fabricados con goma vulcanizada altamente duradera al 70 – 80%, lo cual hace difícil el reciclado de dicho producto (Raffoul, Garcia, Pilakoutas, Guadagnini, & Flores, 2016, p. 391). Por consiguiente, son uno de los desperdicios más perjudiciales desde el punto de vista ambiental,

ya que generan una importante contaminación del suelo y del aire (Coelho, y otros, 2018, p. 446).

De la misma manera, se debe tener en cuenta las características de los neumáticos, ya que, un neumático de automóvil típico pesa 20 lb, mientras que un neumático de camión pesa aproximadamente 100 lb. Por lo tanto, los neumáticos de camión tienen cualidades bastante diferentes, ya que, deben ser más duraderos que los neumáticos de los automóviles y, por lo tanto, su eliminación podría ser incluso más difícil (**Tabla 03**).

Tabla 03. Composición típica de neumáticos fabricados por peso según (Rubber Manufacturer's Association, 2000).

Composición (wt%)	Neumático de automovil	Neumático de camión
Caucho natural	14	27
Caucho sintético	27	14
Negro de carbón	28	28
Acero	14 - 15	14 - 15
Tela, relleno, alrededores y antiozonantes	16 - 17	16 - 17

Fuente: Artículo científico de R, Siddique., & TR, Naik., 2004. En *Waste Management* 24 (6), 563-569.

En el Perú, no se evidencia normativas por parte de las autoridades locales para el manejo de estos residuos peligrosos especiales, ya que, al entrevistar a las autoridades locales no existe información alguna sobre el tratamiento de estos residuos especiales (Piñheiro, 2015, p. 58). Por lo tanto, cada vez es mas frecuente encontrar a los neumáticos fuera de uso en diversas zonas generando consigo un comodo habitat para diversos insectos.

Contaminación ambiental de los neumáticos fuera de uso.

Comúnmente se puede observar que los neumáticos al final de su vida útil son acumulados en: (i) vertederos; (ii) talleres automotrices; (iii) vulcanizadoras, etc.

Sobre la acumulación de neumáticos fuera de uso en vertederos, la vida útil de un neumático en un vertedero oscila entre los 80 y 100 años (Martínez, y otros, 2013, p. 181). Cuando se desechan en un vertedero, los gases más ligeros se liberan durante el proceso de descomposición. Tales gases pueden acumularse dentro del interior del neumático, forzándolo gradualmente a "flotar" hacia la superficie, causando así problemas ambientales del aire (Blanco, Travieso, & Carvalho, 2017, p. 308).

Sobre la contaminación del aire, desde la década de 1970, el aumento en la concentración de partículas de Zn en el medio ambiente está relacionado con la combustión del caucho de los neumáticos (Miandad, y otros, 2018, p. 542).

De igual manera, (Carrasco, Bredin, Gningue, & Heitz, 1998, p. 473) informaron un aumento de 30% en emisiones de dióxido de azufre (SO₂) y un 47% en emisiones de monóxido de carbono (CO) en una planta de cemento que usaba carbón (80%) y desechos de llantas (20%), respectivamente.

En el Perú, frecuentemente los neumáticos fuera de uso son transportados de un lugar a otro con la finalidad de verificar en que condiciones se encuentra, mejorarlo y posteriormente promocionar el producto a las empresas transportistas, etc., para su reutilización. Sin embargo, (Pliego, Velazquez, Eichhorn, & Fraguela, 2018, p. 127) advierten que, el transporte de neumáticos puede crear vínculos entre las zonas rurales con dengue y las zonas urbanas libres de enfermedades.

Valorización de los neumáticos fuera de uso.

Existen diversos métodos de valorización de los neumáticos fuera de uso. Se pueden clasificar en tres familias principales, las cuales son: (i) aplicación directa de los neumáticos; (ii) tratamiento mecánico y; (iii) tratamiento térmico (Tirel, 2017, p. 9).

Aplicación directa de los neumáticos: Sobre la aplicación de los neumáticos enteros, en todo el mundo, podemos observar los diversos usos a la que son sometidos los NFU, tal como menciona (Cano, Cerezo, & Urbina, 2007, p. 40, 41) las siguientes aplicaciones en: (i) barreras acústicas; (ii) pistas provisionales; (iii) macizo de suelo reforzado y; (iv) arrecifes artificiales.

Tratamiento mecánico: Se denomina tratamiento mecánico a un proceso mediante el cual los neumáticos fuera de uso son cortados y/o fragmentados en piezas de geometría irregular. Para (Landi, Marconi, Meo, & Germani, 2018), el estado final del material mediante este tratamiento, varía de acuerdo a los usos previstos, tales como: virutas de goma o gránulos (aproximadamente 70%), fibra de acero (5 – 30%) y fibra textil (hasta 10%).

En ese sentido, pueden ser empleado en: (i) rellenos ligeros; (ii) pistas de atletismo y; (iii) calzado (Cano, Cerezo, & Urbina, 2007, p. 42).

En el Perú, REPAL SAC emplea el tratamiento mecánico durante el proceso de reencauche de los neumáticos obtenido partículas de geometría irregular.

Tratamiento térmico: Desde que surgió la crisis energética, se ha puesto un mayor énfasis en explorar las posibilidades de recuperar energía de tales desechos sólidos como los neumáticos. La combustión, el pirolisis y la gasificación son algunas de las rutas de proceso disponibles para recuperar energía de los neumáticos (Pattabhi, Walawender, & Ventilador, 1981, p. 79).

Con respecto a la combustión.- en este proceso, las llantas de desecho se queman bajo una combustión controlada. En general, la incineración de neumáticos fuera de uso puede definirse como la reducción de desechos a residuos inertes mediante una combustión controlada a alta temperatura. El proceso de combustión es espontáneo por encima de 400 °C, altamente exotérmico (Sharma, Mincarini, Fortuna, Cognini, & Cornacchia, 1998, p. 516).

Con respecto a la pirolisis.- es considerada como un tratamiento atractivo y de mínimos impactos ambientales en comparación con otros tratamientos termoquímicos para abordar esta problemática (Martínez, Betancur, Murillo, García, & Veses, 2015, p. 389).

Con respecto a la gasificación.- es un proceso en el que el aire, el oxígeno o el vapor reacciona con neumáticos en una reacción endotérmica para producir principalmente gas de síntesis (CO y H₂) y otros subproductos como CO₂, hidrocarburos ligeros y carbón. El gas de síntesis se puede usar en turbinas de gas o pilas de combustible (Oboirien & Norte, 2017, p. 2).

Beneficios al reciclar los neumáticos fuera de uso.

El reciclaje de neumáticos fuera de uso se ha convertido en una necesidad debido a que representan una amenaza para el medio ambiente (Roy, Labrecque, & Caumia, 1990, p. 203). Esto exige, a que, los estrategas del reciclaje desarrollen un modelo económico que beneficie mutuamente a los proveedores y usuarios (Owen, 1998, p. 42).

De 2009 a 2018, Ontario Tire Stewardship, (2019). Inspiró a las comunidades y residentes de todo Ontario a reutilizar los neumáticos fuera de uso. La buena práctica de los pobladores hizo posible el reciclaje desde 25 hasta 123 millones de neumáticos en desuso entre 2011 y 2018.

Purcell, (1978, p. 142) reconoce que el reciclaje de caucho tiene beneficios energéticos. Para Bulei, Todor, Heput, y Kiss, (2018, p. 3), el reciclaje de llantas permite: (i) recuperar material precioso sin reducir la calidad; (ii) reducir la cantidad de desperdicio. Edinçliler, Baykal, &

Saygılı, (2010, p. 1073) destacan que, el uso de estos materiales evita: (i) costos de eliminación; (ii) problemas ambientales y otorga a estos residuos un valor ecológico.

Por otro lado, el reciclaje de neumáticos fuera de uso, reduce las emisiones de CO₂ generadas por la producción industrial Torretta, y otros, (2015, p. 155).

Adoquines de concreto.

Geometría y dimensiones de los adoquines.

Geometría.- La geometría de los adoquines depende del uso que se le dará al pavimento (**Figura 05**), así como por la selección estética que se haga de los patrones y colores, según el gusto y la creatividad del pavimento que se vaya a realizar (Salguero, 2013, p. 17). Debe ser tal que permita un acoplamiento seguro y a la vez elástico con los adoquines adyacentes, para obtener una superficie continua (Cusihuallpa, 2015, p. 8).

Por otro lado, la forma del adoquín no influye mucho en el funcionamiento del pavimento; pero, por facilidad para su producción, transporte y colocación, se prefieren adoquines pequeños, que se puedan coger con una sola mano, que no tengan más de 25 cm de longitud, para manejarlos con facilidad y para que no se partan bajo las cargas del tránsito (Buzón, 2010, p. 74).

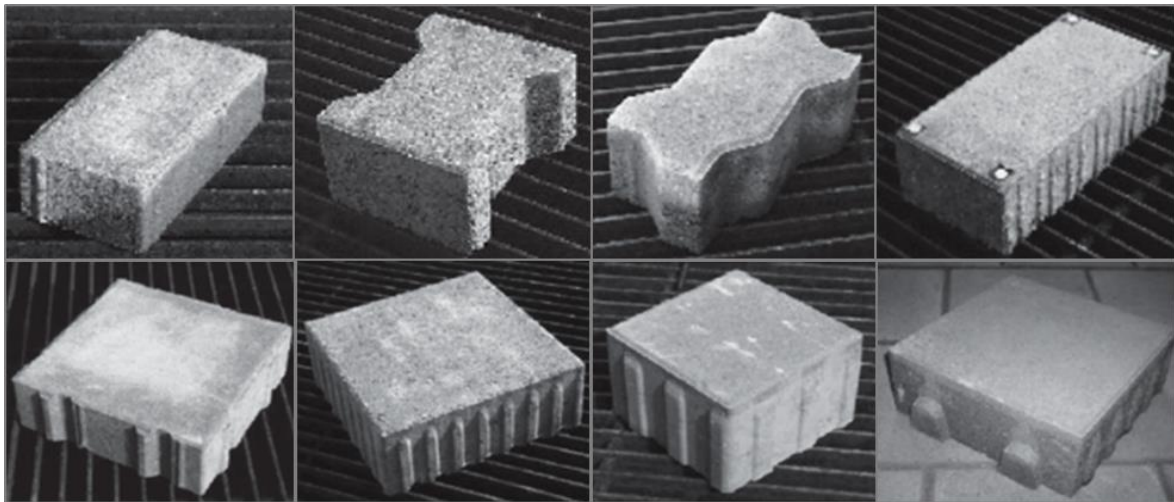


Figura 05. Irregularidades geométricas en adoquines de acuerdo al uso que se le dará a un pavimento semirrígido.

Fuente: Figuras del artículo científico de Füssl, J., y otros., 2015. En Int. Journal of Pavement Engineering 17(6), 478-488.

Dimensiones.- En esta categoría lo más importante es la uniformidad dimensional frente a los diferentes adoquines para que empalmen bien entre sí y en conjunto produzcan una superficie plana (Chaluiza, 2012, p. 10). Debe cuidarse la uniformidad en las dimensiones de los bloques, porque variaciones apreciables, además de perjudicar el aspecto del pavimento, afectan las transferencias de cargas a través de las juntas. En general se aceptan variaciones de +/- 2 mm en el largo y ancho de los adoquines y de +/- 5 mm en el espesor (Ochoa, 2006, p. 11).

Clasificación de los adoquines.

Los adoquines utilizados en la construcción varían de acuerdo a la serviciabilidad del pavimento. Para Ishai, (2003, p. 252), abarca desde aplicaciones de diseño ambiental y estético de paisaje, a través de calles urbanas y estacionamientos, hasta pavimentos de servicio pesado que son capaces de soportar cargas muy pesadas y dinámicas.

En el Perú, los adoquines evaluados con la Norma Técnica Peruana están clasificados de acuerdo a la serviciabilidad de los pavimentos. La **Tabla 04** muestra los requerimientos para las unidades de manera individual.

Tabla 04. Requerimiento estructural de los adoquines de acuerdo al uso.

Conjunto	f'cr (MPa)	Serviciabilidad
Tipo I	31	Peatonal
Tipo II	32	Estacionamiento
Tipo III	50	Industrial

Fuente. Datos de la norma NTP. 339. 611

Ventajas y desventajas de los adoquines.

Según Rey, (2018, p. 42). El uso de adoquines de concreto tiene diversas ventajas y desventajas. Estas características se describen en la **Tabla 05**.

Tabla 05. Ventajas y desventajas de los adoquines de concreto.

Ventajas	Desventajas
Reutilización de los bloques	Inadecuada control de calidad
Mano de obra no especializada	Falta de control en el transporte
Colocación y retiro de manera rápida	Ruido y vibración de automoviles
Larga vida útil	Perdida de sello al someter exceso de agua en las juntas
Economía	

Fuente. Datos de la tesis de titulación de Daniel Rey, 2018.

Definición de términos básicos.

Concreto.- El concreto es un material que se obtiene de una mezcla de componentes: conglomerante (cemento), agregados (arena y piedra), agua y, de manera opcional, aditivos. La pasta, compuesta por cemento portland y agua, une los agregados, normalmente arena y grava (piedra triturada), lo cual crea una masa similar a una roca (Guevara, y otros, 2012, p. 81).

Agregados.- Los agregados son los materiales dominantes que se utilizan en las aplicaciones de construcción (Khatib, 2009, p. 13). Son un componente principal del asfalto y el concreto, y se requiere en calles, autopistas, ferrocarriles, puentes, edificios, aceras, alcantarillas, plantas de energía y represas, entre otros (Langer, 2016, p. 181).

Los agregados para la elaboración del concreto se dividen en dos tipos: (i) agregado fino; (ii) agregado grueso.

Con respecto al agregado fino, es proveniente de la desintegración natural o artificial y pasa el tamiz 9,5 mm (3/8").

Con respecto al agregado grueso, es proveniente de la desintegración natural o mecánica de las rocas y queda retenido en el tamiz 4.75mm (N°4).

Agua.- El agua de mezclado representa entre un 15% y 20% del volumen del concreto fresco (Vargas, 2016, p. 27). Además, el agua utilizada para mezclar y curar concreto o mortero debe estar libre de sustancias químicas nocivas, que puedan ejercer una influencia apreciable sobre las propiedades del hormigón, como el tiempo de fraguado, la trabajabilidad, el desarrollo de la resistencia y la durabilidad (Reddy, Madhusudana, & Venkata, 2018, p. 1314).

Según el Manual de Construcción del ICG, (2019, p. 64), el agua de mezcla en el concreto tiene tres funciones principales: (i) Reaccionar con el cemento para hidratarlo; (ii) actuar como lubricante para contribuir a la trabajabilidad del conjunto; (iii) procurar la estructura de vacíos necesaria en la pasta para que los productos de hidratación tengan espacio para desarrollarse.

Hidróxido de Sodio (NaOH).- Comercialmente se denomina soda caustica o lejía, es una sustancia altamente versátil. Es un coproductor de la producción del cloro (Chemical Safety Facts).

Pavimentos Intertrabados.- Es una capa de rodamiento conformada por elementos uniformes compactos de concreto, denominados adoquines, que se colocan ensamblados y que, debido

a su entrelazado y a la conformación de sus caras laterales, permiten una transferencia de cargas desde el elemento que las recibe hacia varios de sus adyacentes, trabajando sólidamente y sin posibilidad de desmontaje individual (ICCG, p. 7).

Adoquín de Concreto.- Es un elemento compacto de concreto, prefabricado, con la forma de prisma recto, cuyas bases pueden ser polígonos, que permiten conformar superficies completas como componente de un pavimento articulado, estos pueden ser bicapa o monocapa (ICCG, p. 5).

Resistencia a la compresión.- La resistencia a la compresión se define como la medida máxima de la resistencia a carga axial de especímenes de concreto. Expresado en kilogramos por centímetros cuadrados (kg/cm^2), mega pascales (MPa) o en libras por pulgadas cuadradas (lb/pulg^2 o PSI) a una edad de 28 días (Galicia & Velásquez, 2016, p. 39). Se pueden usar otras edades para las pruebas, pero es importante saber la relación entre la resistencia a los 28 días y la resistencia a otras edades. La resistencia a los 7 días normalmente se estima como 75% de la resistencia a los 28 días y las resistencias a los 56 y 90 días son aproximadamente 10% y 15% mayores que la resistencia a los 28 días (Vargas, 2016, p. 22).

CAPITULO II. METODOLOGÍA

2.1 Método de investigación.

El enfoque de esta investigación es cuantitativo, dado que es un método que utiliza la recolección de datos y análisis de los mismos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis previamente formuladas (Ñaupas, Mejía, Novoa, & Villagómez, 2014, p. 97).

2.2 Diseño y alcance de investigación.

El diseño es experimental, a causa de que los experimentos manipulan la variable independiente para observar los efectos sobre la variable dependiente (Hernández, Fernández, & Baptista, 2006, p. 121).

El diseño está conformado por características propias. Por ello, este estudio es cuasi-experimental, dado que es de muestra no probabilística y se seleccionó por conveniencia de acuerdo a la norma NTP 339.611.

Mientras que, el alcance es explicativo, puesto que se estudiaron y explicaron las causas que generan la variación de resultados al manipular la variable independiente.

2.3 Población.

Se denomina población a la totalidad de un fenómeno de estudio, incluye la totalidad de unidades de análisis o entidades de población que integran dicho fenómeno y que debe cuantificarse para un determinado estudio (Tamayo, 2004, p. 176).

Según lo expuesto, para este estudio la población estuvo conformada por todos los adoquines de concreto de control y adoquines elaborados con 5%, 10% y 15% de CR y CRT. El porcentaje adicionado, se estableció en base a las teorías especificadas en la **Tabla 06**.

Tabla 06. Porcentaje optimo determinados en la literatura.

Adición	Referencia	Condición
12.5%	(Blessen & Ramesh, 2015)	Porcentaje (%) óptimo de caucho reciclado para su uso en concreto
10%	(Li, Gui, Cheng & Feng, 2016)	
10%	(Mohammed & Adamu, 2018)	

2.4 Muestra.

La muestra es una parte de la población. Por ende, este estudio se realizó en base la muestra no probabilística cuya selección de las unidades de análisis dependió de las características, criterios personales, etc., del investigador (Avila, 2006, p. 89). La cantidad seleccionada (3 unidades) para cada muestra se estableció en base a lo requerido por la NTP 339.611, en la sección de resistencia a la compresión (unidad/promedio 3 unidades).

Tabla 07. Tipo de muestra y cantidad de adoquines de concreto a ensayar a los 7, 14 y 28 días.

Conjunto	Representación	Compresión			Flexión
		7 días	14 días	28 días	28 días
K1	Control	3	3	3	3
K2	5% de caucho sin tratar	3	3	3	3
K3	10% de caucho sin tratar	3	3	3	3
K4	15% de caucho sin tratar	3	3	3	3
K7	5% de caucho tratado	3	3	3	3
K8	10% de caucho tratado	3	3	3	3
K9	15% de caucho tratado	3	3	3	3

En la **Tabla 07**, se establecieron las denominaciones para cada muestra a ser ensayadas. De igual manera, se contabilizó un total de 84 unidades de adoquines de concreto las cuales fueron ensayadas a las fechas establecidas.

2.5 Materiales, instrumentos y métodos.

En esta investigación, las partículas de caucho fueron adquiridos por parte de la empresa Reencauchadora Palacios S.A.C; empresa dedicada a la importación de neumáticos, bandas de rodadura y reutilización de los neumáticos fuera de uso en Lima, Perú (**Figura 06(1)**).

Los instrumentos empleados, tales como protocolos, herramientas, etc., fueron brindados por parte de la empresa Ingeocontrol S.A.C; empresa dedicada al estudio de suelos, concreto y pavimentos de acuerdo a los estándares de calidad.



Figura 06. Reencauchadora Palacios SAC, (1) adquisición del caucho y, (2) traslado hacia el laboratorio de Ingeocontrol SAC para los estudios correspondientes.

2.6 Procedimientos, técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.

2.6.1 Adquisición del caucho.

Las partículas de caucho reciclado se obtuvieron del proceso mecánico de reencauche realizado en la empresa Reencauchadora Palacios S.A.C (**Figura 07**).



Figura 07. Adquisición del caucho, (1) neumático en desuso, (2) reencauche y adquisición del caucho durante el proceso de raspado y, (3) segunda vida del neumático.

2.6.2 Características del caucho reciclado.

❖ Granulometría, ASTM C136.

Objetivo.

Determinar la granulometría del caucho reciclado como agregado fino de acuerdo al estándar ASTM C136.

Procedimiento de ensayo.

Este ensayo se realizó de acuerdo al procedimiento establecido en la **Figura 13**.



Figura 08. Ensayo granulométrico, se procedió a pesar la muestra representativa para posteriormente ser tamizado por las mallas correspondientes para un agregado fino

Equipos y/o Herramientas.

Tamices, balanza y recipientes.

❖ Gravedad específica, ASTM C127.

Objetivo.

Determinar el peso específico mediante el estándar ASTM para establecer la cantidad de caucho a utilizar.

Procedimiento de ensayo.

Se cuarteo y muestreó 250 g de caucho. Luego, se sumergió la muestra con dos tamices más una contra masa, ello permitió que las partículas fueran sumergidas completamente para luego registrar los pesos correspondientes.



Figura 09. Peso específico del caucho mediante el principio de Arquímedes.

Equipos y/o Herramientas.

Balanza, Tamices y recipientes.

❖ **Peso unitario suelto y compactado, ASTM C29.**

Objetivo.

Determinar el peso unitario suelto y compactado del caucho mediante el estándar ASTM para el agregado fino.

Procedimiento de ensayo.

El procedimiento de este ensayo se realizará de acuerdo a lo establecido en la **Figura 16**.



Figura 10. Peso unitario suelto y compactado del caucho mediante el estándar ASTM.

Equipos y/o Herramientas.

Recipientes, varillas, bandejas y balanza.

2.6.3 Tratamiento químico en solución 1N NaOH.

El pretratamiento en solución NaOH es importante, con este método se buscó una superficie más rugosa/porosa (Sugapriya & Ramkrishnan, 2018, p. 4) mediante la eliminación del estearato de zinc ($C_{36}H_{70}O_4Zn$) que están presente en la superficie del caucho (Segre, Monteiro, & Sposito, 2002, p. 522). Esto puede mejorar la resistencia de cohesión entre las partículas de caucho y el cemento (Tian, Zhang, & Li, 2011, p. 4127).

Para este estudio, se determinó la cantidad de 1N NaOH (40 g/L) mediante la **ecuación (1)**. El proceso comenzó con la adición del caucho en solución 1N NaOH y posterior agitación durante 20 min (**Figura 11(b)**). Luego, el caucho se lavó con agua potable hasta reducir el pH (**Figura 11(c)**) y al finalizar, se secó a temperatura ambiente (Si, Wang, Guo, Dai, & Han, 2018, p. 824). El lavado final es fundamental, puesto que se debe eliminar toda solución de 1N NaOH para evitar efectos negativos en la durabilidad del hormigón (Hassanli, Osama, & Julie, 2016, p. 177).

$$N = \frac{W_{NaOH}}{M_{NaOH} \times V} \quad \dots \quad \text{Ecuación (1)}$$

Dónde: N = normalidad, W_{NaOH} = peso del hidróxido de sodio (g), θ = número de grupos OH, M_{NaOH} = peso atómico (g/mol), V = volumen de agua (L).



Figura 11. Pretratamiento del caucho, (a) visualización de pH inicial (pH=14), (b) agitación de las partículas en solución 1N NaOH y, (c) reducción del pH (pH=7) mediante lavado con agua.

2.6.4 Estudio de los agregados.

❖ Granulometría de los agregados gruesos y finos: ASTM C136.

Objetivo.

Determinar la distribución de los diferentes tamaños de los agregados gruesos y finos mediante una serie de tamices de aberturas normalizadas.

Procedimiento de ensayo.

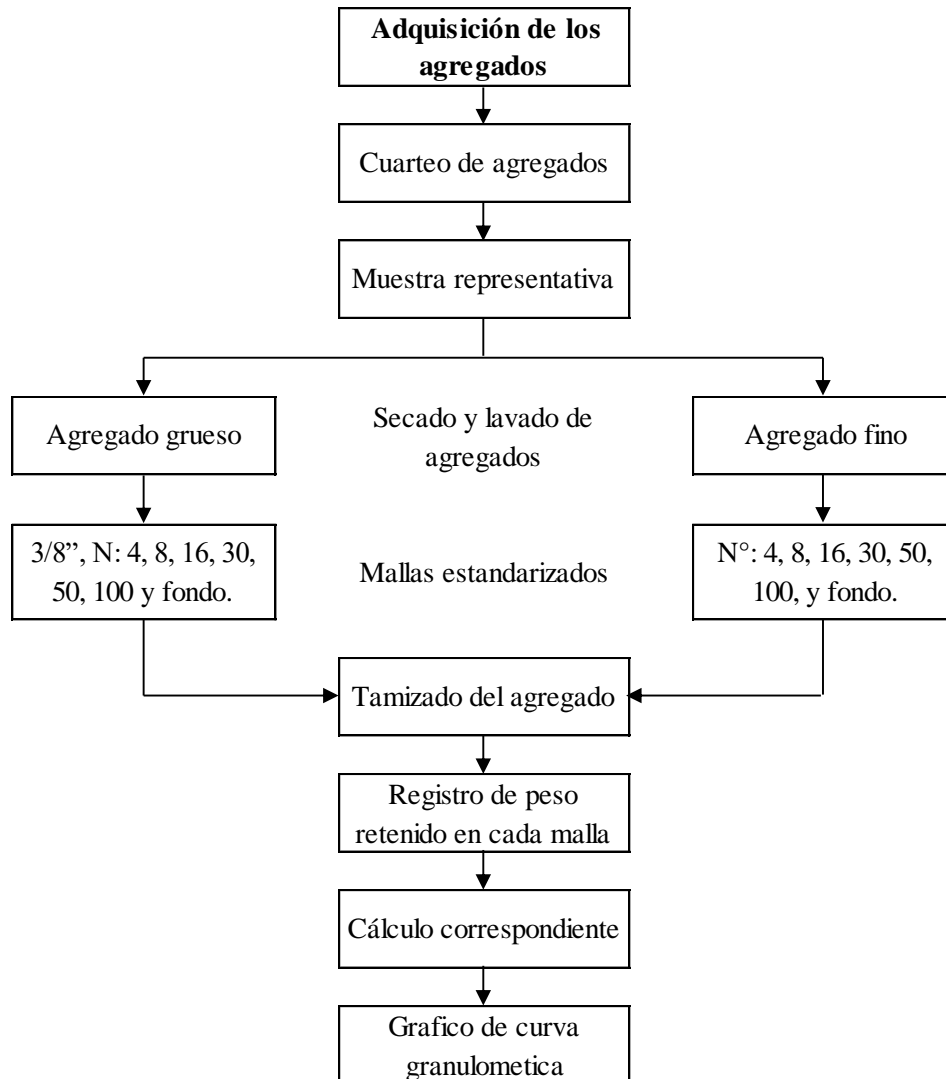


Figura 12. Procedimiento de ensayo granulométrico para los agregados gruesos y finos.

Equipos y/o herramientas.

Tamices, balanzas, horno y recipientes.



Figura 13. Ensayo de granulometría, (a) cuarteo, (b) muestra representativa y, (c-d) tamizado de los agregados gruesos y finos.

❖ **Material fino que pasa por el tamiz N° 200, ASTM C117.**

Objetivo.

Determinar la cantidad de agregados finos pasante la malla N° 200 (75 µm) de acuerdo a los estándares de calidad.

Procedimiento de ensayo.

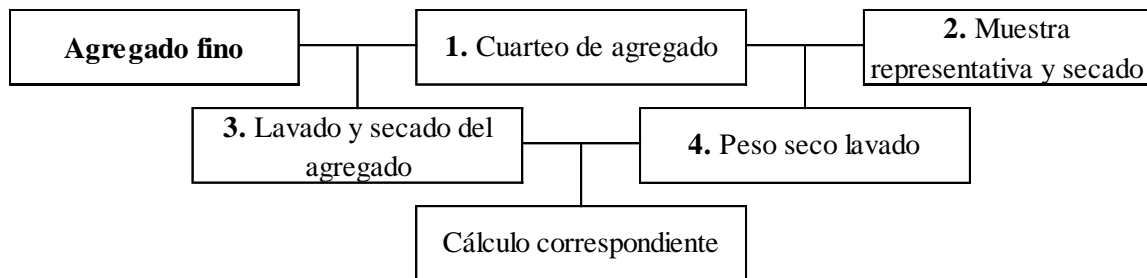


Figura 14. Procedimiento de ensayo de pasante la malla N° 200 para el agregado fino.



Figura 15. Material fino pasante la malla N° 200, (a) cuarteo y, (b) muestra representativa para el procedimiento correspondiente.

Equipos y/o herramientas.

Balanza, horno, tamices y recipientes.

❖ **Peso unitario suelto y compactado de los agregados gruesos y finos, ASTM C29.**

Objetivo.

Determinar el peso unitario suelto y compactado de los agregados gruesos y finos de acuerdo a la norma ASTM C29.

Procedimiento de ensayo.

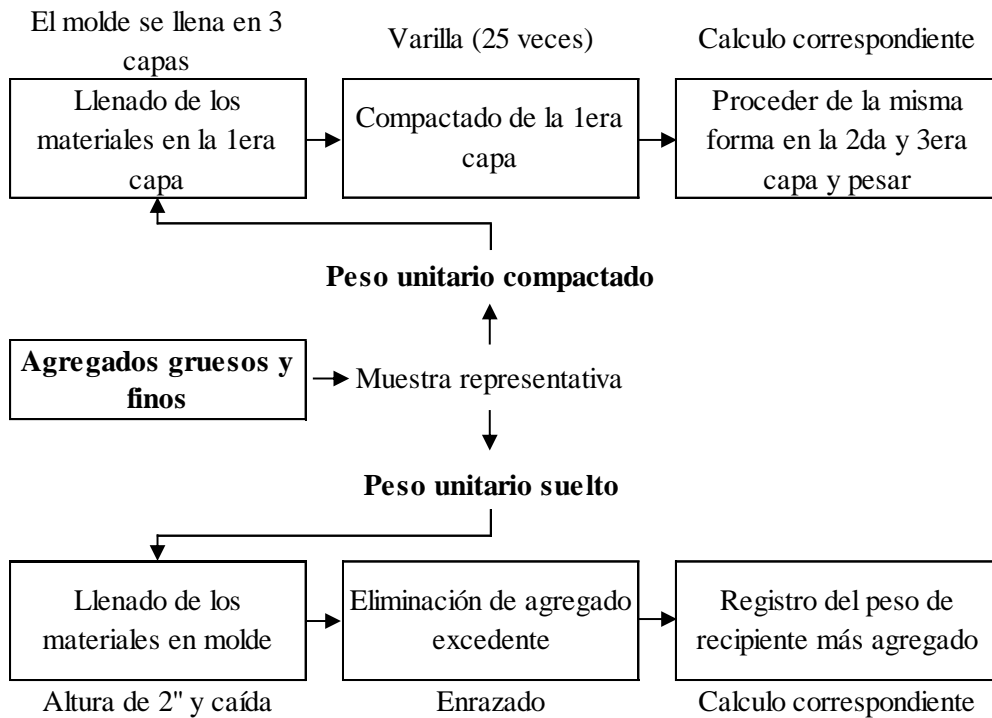


Figura 17. Procedimiento del peso unitario suelto y compactado de los agregados gruesos y finos.



Figura 16. Ensayo de peso unitario, (a) para el agregado fino y, (b) agregado grueso.

Equipos y/o herramientas.

Balanza, recipientes y varilla.

❖ **Contenido de humedad total de los agregados gruesos y finos, ASTM C566.**

Objetivo.

Determinar el porcentaje de contenido de humedad de los agregados gruesos y finos de acuerdo a la ASTM C566.

Procedimiento de ensayo.

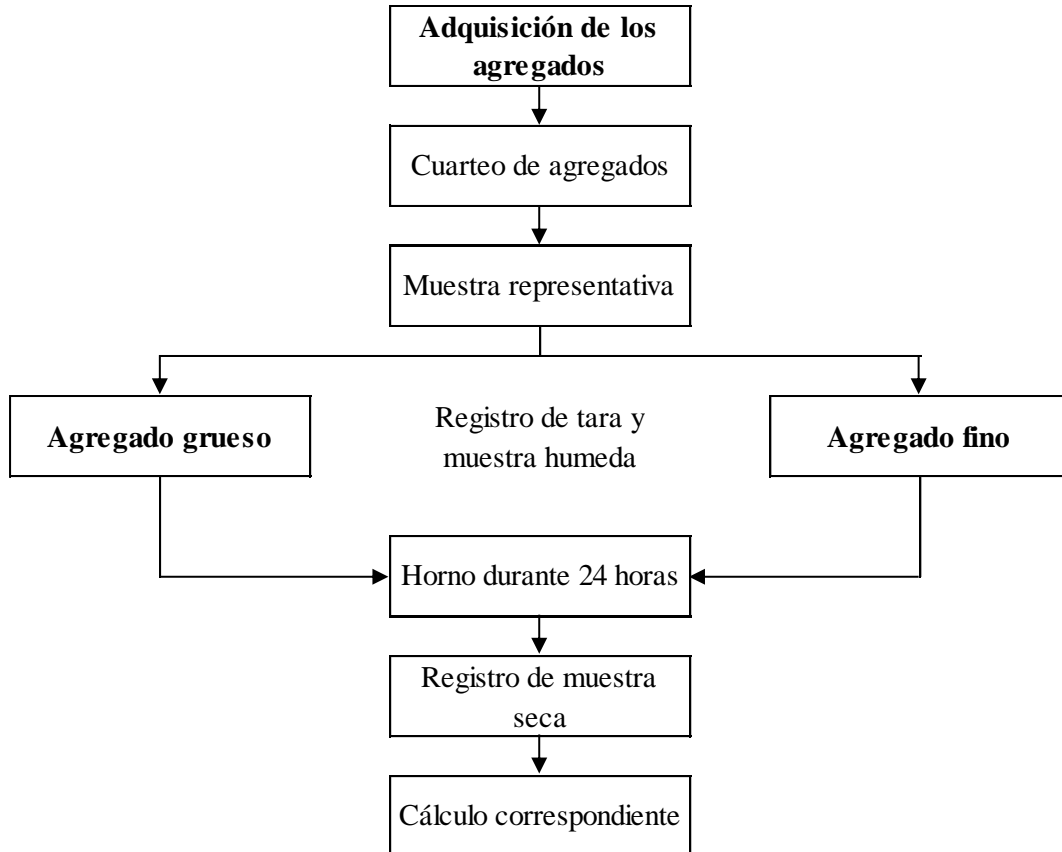


Figura 18. Tipo de muestra y cantidad de adoquines de concreto a ensayar a los 7, 14 y 28 días.



Figura 19. Muestra representativa y lectura de pesos para el contenido de humedad.

Equipos y/o herramientas.

Balanza, recipientes y horno.

❖ **Gravedad específica y absorción de los agregados finos, ASTM C128.**

Objetivo.

Determinar el peso específico de masa, peso con superficie parcialmente seco (SSS) y la absorción de acuerdo a la ASTM C128.

Procedimiento de ensayo.

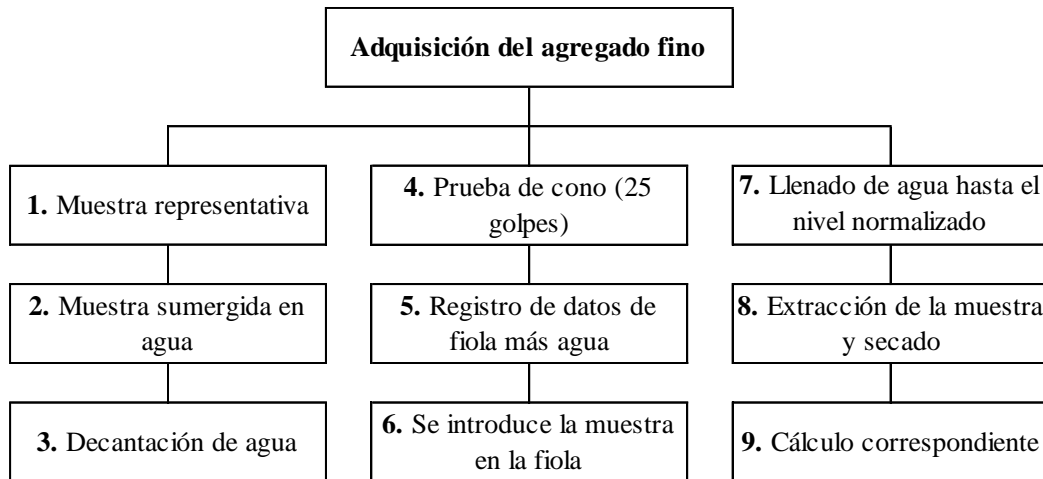


Figura 20. Tipo de muestra y cantidad de adoquines de concreto a ensayar a los 7, 14 y 28 días.



Figura 21. Procedimiento de ensayo de peso unitario del agregado fino.

Equipos y/o herramientas.

Fiola, recipiente, piseta, balanza y horno.

❖ **Gravedad específica y absorción de los agregados gruesos, ASTM C127.**

Objetivo.

Determinar el peso específico aparente y normal. Asimismo, la absorción después de 24 horas sumergido en agua de acuerdo a la ASTM C127.

Procedimiento de ensayo.

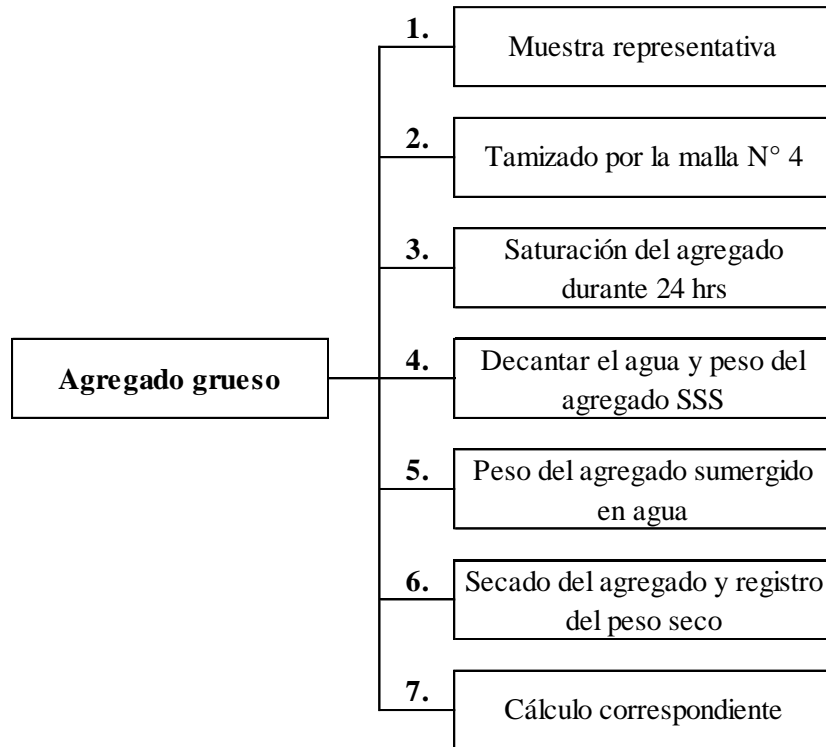


Figura 22. Tipo de muestra y cantidad de adoquines de concreto a ensayar a los 7, 14 y 28 días.



Figura 23. Procedimiento de ensayo de peso específico para el agregado grueso.

Equipos y/o herramientas.

Canastilla, horno y bandeja.

2.6.5 Diseño y elaboración de los adoquines de concreto.

El método de diseño se rigió en base al procedimiento establecido por el American Concrete Institute (ACI).

La proporción de la mezcla de control y con adición de caucho se estableció en la **Tabla 08**. Se elaboró 84 unidades de adoquines con características geométricas de 20 cm de longitud, 10 cm de ancho y 8 cm de altura. El proceso de elaboración comienza en dosificar los componentes para una tanda. Se inició colocando la grava, la arena gruesa, el caucho reciclado y la mitad del volumen total del agua en el mixer y se mezcló durante 2 min. Luego, se incorporó el cemento y el restante del agua para después mezclar durante 3 min. Se llevó a la mesa vibradora, se colocó en molde y se vibró durante 45 s (**Figura(24(a))**). Se enrasó y se desmoldó después de 24 horas. Los adoquines de hormigón fueron curados en saco yute para su evaluación correspondiente (**Figura 24(b)**). Se establecieron las siguientes denominaciones, K1: adoquín de control; K2, K3, K4: adoquín con 5%, 10% y 15% de CR y K7, K8, K9: adoquín con 5%, 10% y 15% de CRT.

Tabla 08. Proporciones de la mezcla de control y mezclas con adición de caucho CR y CRT.

Conjunto	C.R (%)	Pretratamiento 1N NaOH	Proporciones (kg/m ³)					
			Agua	Cemento	A.G	A.F	Caucho	a/c
K1	0	N.A	245	645	814	556	0	0.38
K2	5	N.A	245	645	814	486	17	0.38
K3	10	N.A	245	645	814	417	33	0.38
K4	15	N.A	245	645	814	347	50	0.38
K7	5	1N NaOH (20 min)	245	645	814	486	17	0.38
K8	10	1N NaOH (20 min)	245	645	814	417	33	0.38
K9	15	1N NaOH (20 min)	245	645	814	347	50	0.38

*N.A: No aplica. **A.G: Agregado grueso. ***A.F: Agregado fino. ****C.R: Caucho reciclado.

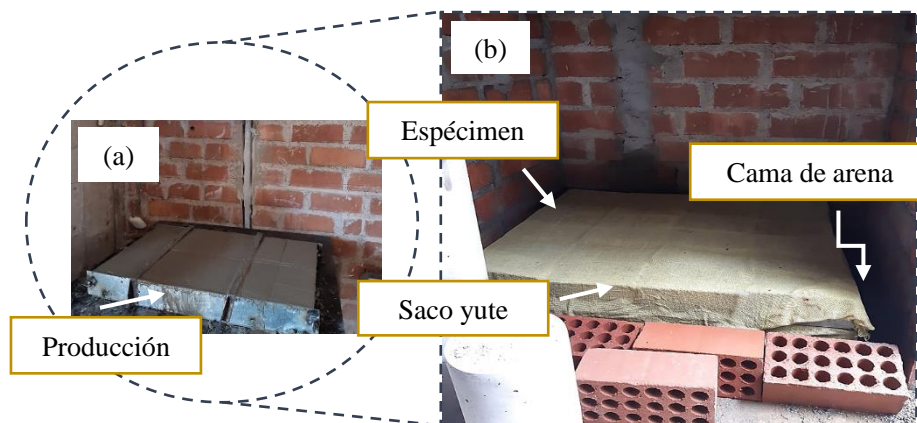


Figura 24. Producción de la mezcla, (a) elaboración y, (b) curado de los adoquines en saco yute.

▪ **Análisis económico (S/).**

En la **Tabla 08.1** y **Tabla 08.2**, se muestran los análisis de precios unitarios por fabricación de m³ de concreto para las muestras de tipo con CR y CRT.

Tabla 08.1. Análisis de precios unitarios por m³ de las mezclas con remplazo parcial de 0%, 5%, 10% y 15% de CR.

1 m ³		DESCRIPCION	AGUA	CEMENTO	ARENA	GRAVA	CAUCHO	TOTAL	
UND			Lt	Kg	Kg	Kg	Kg		
P.U (S/.)			S/ 0.06	S/ 0.48	S/ 0.03	S/ 0.03	S/ 0.05		
CAUCHO RECICLADO	0%	PESO DISEÑO	245	645	556	814	0	S/ 365.4	
		PARCIAL	S/ 14.70	S/ 309.60	S/ 16.68	S/ 24.42	S/ 0.00		
	5%	PESO DISEÑO	245	645	486	814	17	S/ 364.2	0.3%
		PARCIAL	S/ 14.70	S/ 309.60	S/ 14.58	S/ 24.42	S/ 0.85		
	10%	PESO DISEÑO	245	645	417	814	33	S/ 362.9	0.5%
		PARCIAL	S/ 14.70	S/ 309.60	S/ 12.51	S/ 24.42	S/ 1.65		
	15%	PESO DISEÑO	245	645	347	814	50	S/ 361.6	0.8%
		PARCIAL	S/ 14.70	S/ 309.60	S/ 10.41	S/ 24.42	S/ 2.50		

Tabla 08.2. Análisis de precios unitarios por m³ de las mezclas con remplazo parcial de 0%, 5%, 10% y 15% de CRT.

1 m ³		DESCRIPCION	AGUA	CEMENTO	ARENA	GRAVA	CAUCHO	NaOH	TOTAL	
UND			Lt	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg		
P.U (S/.)			S/ 0.06	S/ 0.48	S/ 0.03	S/ 0.03	S/ 0.05	S/ 3.30		
CAUCHO RECICLADO	0%	PESO DISEÑO	245	645	556	814	0	0	S/ 365.4	
		PARCIAL	S/ 14.70	S/ 309.60	S/ 16.68	S/ 24.42	S/ 0.00	S/ 0.00		
	5%	PESO DISEÑO	245	645	486	814	17	9.8	S/ 396.5	8.5%
		PARCIAL	S/ 14.70	S/ 309.60	S/ 14.58	S/ 24.42	S/ 0.85	S/ 32.34		
	10%	PESO DISEÑO	245	645	417	814	33	9.8	S/ 395.2	8.2%
		PARCIAL	S/ 14.70	S/ 309.60	S/ 12.51	S/ 24.42	S/ 1.65	S/ 32.34		
	15%	PESO DISEÑO	245	645	347	814	50	9.8	S/ 394.0	7.8%
		PARCIAL	S/ 14.70	S/ 309.60	S/ 10.41	S/ 24.42	S/ 2.50	S/ 32.34		

De los resultados obtenidos, el concreto con la 0%, 5%, 10% y 15% con adición de CR disminuye el costo hasta el 0.8%. Esto debido al menor costo en la adquisición de las partículas (por parte de las empresas Reencauchadoras) que el agregado fino natural. Sin embargo, el concreto con la aplicación de NaOH, presenta un ligero aumento en el costo, dado que el componente químico presenta un costo adicional, aunque, este aumento se presentó hasta el 5% de reemplazo, después empezó a disminuir ligeramente. Esto debido a que el costo y cantidad de NaOH se mantiene constante para 1 m³ de concreto (indiferente a la cantidad de caucho a utilizar).

De manera general, el uso del caucho como agregado en el concreto, es eco-amigable y económico para su serviciabilidad en estructuras portantes y no portantes.

2.7 Análisis estadístico.

Este estudio, realizó el análisis de la muestra mediante la agrupación de datos, ello nos permitió evaluar las medidas de tendencia para probar las hipótesis planteadas mediante la estadística inferencial.

Para ello, se plantearon las siguientes hipótesis:

- El uso del caucho reciclado mejorará la caracterización físico-mecánico del concreto para la elaboración de adoquines.

Para validar esta situación, se determinó si la resistencia a la compresión y flexión del concreto endurecido, mejora con la adición de CR y CRT, en proporciones de 5%, 10% y 15% de reemplazo parcial por agregado fino con respecto a la mezcla de control.

2.7.1 Validación de datos para el ensayo de resistencia a la compresión.

Para el análisis y validación del ensayo de compresión, los cálculos estadísticos se realizaron mediante la agrupación de datos (**Anexo 01**). Para tal caso, se tiene el siguiente resumen de los resultados de las roturas de adoquines a los 7, 14 y 28 días para mezclas con CR y CRT.

Tabla 09. Resistencia a la compresión de adoquines con CR a los 7 días.

Testigo	K1	K2	K3	K4
01	376.8	348.2	323.4	296.5
02	378.0	359.1	320.1	295.1
03	370.7	355.2	327.7	276.5

Tabla 010. Resistencia a la compresión de adoquines con CR a los 14 días.

Testigo	K1	K2	K3	K4
01	410.3	398.5	366.7	294.5
02	414.4	395.4	377.7	309.4
03	414.0	390.7	365.3	308.9

Tabla 11. Resistencia a la compresión de adoquines con CR a los 28 días.

Testigo	K1	K2	K3	K4
01	458.3	429.2	377.7	321.6
02	460.2	424.3	395.7	321.1
03	464.1	420.2	378.9	315.1

Tabla 12. Resultado promedio de resistencia a la compresión de adoquines con CR.

Conjunto	EDAD		
	7 días	14 días	28 días
K1	375.2	412.9	460.9
K2	354.2	394.9	424.6
K3	323.7	369.9	384.1
K4	289.4	304.3	319.3

Tabla 13. Resistencia a la compresión de adoquines con CRT a los 7 días.

Testigo	K1	K7	K8	K9
01	376.8	361.6	331.9	299.4
02	378.0	371.6	321.3	286.6
03	370.7	361.8	324.0	276.4

Tabla 14. Resistencia a la compresión de adoquines con CRT a los 14 días.

Testigo	K1	K7	K8	K9
01	410.3	386.5	380.7	299.3
02	414.4	396.5	361.5	275.8
03	414.0	393.0	375.3	314.7

Tabla 15. Resistencia a la compresión de adoquines con CRT a los 28 días.

Testigo	K1	K7	K8	K9
01	458.3	444.1	382.2	329.9
02	460.2	447.3	390.2	322.8
03	464.1	436.1	392.1	326.0

Tabla 16. Resultado promedio de resistencia a la compresión de adoquines con CRT.

Conjunto	EDAD		
	7 días	14 días	28 días
K1	375.2	412.9	460.9
K7	365.0	392.0	442.5
K8	325.7	372.5	388.2
K9	287.5	296.6	326.2

2.7.2 Validación de datos para el ensayo de resistencia a la flexión.

Para la validación de datos para los resultados de la resistencia a la flexión, se aplicó el mismo procedimiento realizado para la resistencia a la compresión (**Anexo 02**).

Tabla 17. Resistencia a la flexión de adoquines con CR a los 28 días.

Testigo	K1	K2	K3	K4
01	70.0	72.0	56.5	58.2
02	72.9	60.4	64.7	67.4
03	77.9	61.4	65.8	56.4

Tabla 18. Resultado promedio de resistencia a la flexión de adoquines con CR.

Conjunto	Promedio a los 28 días
K1	73.6
K2	64.6
K3	62.3
K4	60.7

Tabla 19. Resistencia a la flexión de adoquines con CRT a los 28 días.

Testigo	K1	K7	K8	K9
01	70.0	77.7	65.2	58.1
02	72.9	67.4	59.8	57.0
03	77.9	62.4	67.0	61.7

Tabla 20. Resultado promedio de resistencia a la compresión de adoquines con CRT.

Conjunto	Promedio a los 28 días
K1	73.6
K7	69.2
K8	64.0
K9	58.9

2.7.3 Prueba de hipótesis para el ensayo de resistencia a la compresión.

Para la prueba de hipótesis del ensayo de la resistencia a la compresión se ha considerado el análisis mediante el estadístico de la prueba “t-student”. El análisis de datos se realizó para una sola cola o prueba unilateral.

Para la validación de la hipótesis, se planteó lo siguiente:

- (u_1) son las muestras de concreto de control.
- (u_2) son las muestras de concreto con adición de 5%, 10%, 15% de CR y CRT como reemplazo parcial de agregado fino.

Para ello, se analizó si la resistencia a la compresión incrementa con la adición de CR y CRT con respecto a la mezcla de control.

Se consideró las siguientes hipótesis:

Hipótesis nula (H_0): $u_1 = u_2$.

La adición del CR y CRT como reemplazo parcial del agregado fino en peso (5%, 10% y 15%) no influye significativamente con respecto a la resistencia de compresión del concreto de control.

Hipótesis alternativa (H_1): $u_1 < u_2$.

La adición del CR y CRT como reemplazo parcial del agregado fino en peso (5%, 10% y 15%) influye significativamente con respecto a la resistencia de compresión del concreto de control.

Para el desarrollo de la prueba se utilizó el estadístico t-student y se aplicó la **ecuación (2)**.

$$t_0 = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\sigma_p^2 \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} \quad \dots \quad \text{Ecuación (2).}$$

A continuación, se obtiene un cuadro de resumen de la prueba de hipótesis de la resistencia a la compresión con las diferentes mezclas a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 21. Resumen de la prueba de hipótesis de la resistencia a la compresión con CR a los 7 días.

DESCRIPCIÓN		K1	K2	K3	K4
NÚMERO DE MUESTRA:	N	3	3	3	3
MEDIA ARITMÉTICA:	u	375.2	354.2	323.7	289.4
VARIANZA:	σ^2	12	16	9	85
"t" CRÍTICO (TABLA):	t_c		-2.131	-2.131	-2.131
NIVEL DE SIGNIFICANCIA:	α		0.05	0.05	0.05
GRADOS DE LIBERTAD:	n_1+n_2-2		4	4	4
"t" CALCULADO:	t_o		6.874	19.44	15.089
DECISIÓN:			SE ACEPTA H_0	SE ACEPTA H_0	SE ACEPTA H_0

Tabla 22. Resumen de la prueba de hipótesis de la resistencia a la compresión con CR a los 14 días.

DESCRIPCIÓN		K1	K2	K3	K4
NÚMERO DE MUESTRA:	N	3	3	3	3
MEDIA ARITMÉTICA:	u	412.9	394.9	369.9	304.3
VARIANZA:	σ^2	5	9	33	48
"t" CRÍTICO (TABLA):	t_c		-2.131	-2.131	-2.131
NIVEL DE SIGNIFICANCIA:	α		0.05	0.05	0.05
GRADOS DE LIBERTAD:	n_1+n_2-2		4	4	4
"t" CALCULADO:	t_o		8.348	12.082	25.846
DECISIÓN:			SE ACEPTA H_0	SE ACEPTA H_0	SE ACEPTA H_0

Tabla 23. Resumen de la prueba de hipótesis de la resistencia a la compresión con CR a los 28 días.

DESCRIPCIÓN		K1	K2	K3	K4
NÚMERO DE MUESTRA:	N	3	3	3	3
MEDIA ARITMÉTICA:	u	460.9	424.6	384.1	319.3
VARIANZA:	σ^2	5	9	65	12
"t" CRÍTICO (TABLA):	t_c		-2.131	-2.131	-2.131
NIVEL DE SIGNIFICANCIA:	α		0.05	0.05	0.05
GRADOS DE LIBERTAD:	n_1+n_2-2		4	4	4
"t" CALCULADO:	t_o		16.804	15.892	59.484
DECISIÓN:			SE ACEPTA H_0	SE ACEPTA H_0	SE ACEPTA H_0

Tabla 24. Resumen de la prueba de hipótesis de la resistencia a la compresión con CRT a los 7 días.

DESCRIPCIÓN		K1	K7	K8	K9
NÚMERO DE MUESTRA:	N	3	3	3	3
MEDIA ARITMÉTICA:	u	375.2	365.0	325.7	287.5
VARIANZA:	σ^2	12	16	21	81
"t" CRÍTICO (TABLA):	t_c		-2.131	-2.131	-2.131
NIVEL DE SIGNIFICANCIA:	α		0.05	0.05	0.05
GRADOS DE LIBERTAD:	n_1+n_2-2		4	4	4
"t" CALCULADO:	t_o		3.328	14.905	15.751
DECISIÓN:			SE ACEPTA H_0	SE ACEPTA H_0	SE ACEPTA H_0

Tabla 25. Resumen de la prueba de hipótesis de la resistencia a la compresión con CRT a los 14 días.

DESCRIPCIÓN		K1	K7	K8	K9
NÚMERO DE MUESTRA:	N	3	3	3	3
MEDIA ARITMÉTICA:	u	412.9	392.0	372.5	296.6
VARIANZA:	σ^2	5	16	49	225
"t" CRÍTICO (TABLA):	t_c		-2.131	-2.131	-2.131
NIVEL DE SIGNIFICANCIA:	α		0.05	0.05	0.05
GRADOS DE LIBERTAD:	n_1+n_2-2		4	4	4
"t" CALCULADO:	t_o		7.899	9.522	13.282
DECISIÓN:			SE ACEPTA H_0	SE ACEPTA H_0	SE ACEPTA H_0

Tabla 26. Resumen de la prueba de hipótesis de la resistencia a la compresión con CRT a los 28 días.

DESCRIPCIÓN		K1	K7	K8	K9
NÚMERO DE MUESTRA:	N	3	3	3	3
MEDIA ARITMÉTICA:	u	460.9	442.5	388.2	326.2
VARIANZA:	σ^2	5	21	21	9
"t" CRÍTICO (TABLA):	t_c		-2.131	-2.131	-2.131
NIVEL DE SIGNIFICANCIA:	α		0.05	0.05	0.05
GRADOS DE LIBERTAD:	n_1+n_2-2		4	4	4
"t" CALCULADO:	t_o		6.239	24.695	62.323
DECISIÓN:			SE ACEPTA H_0	SE ACEPTA H_0	SE ACEPTA H_0

Cabe resaltar que, los cálculos para la prueba de hipótesis se encuentran en el **Anexo 03**.

De los resultados obtenidos, se concluye que la adición del CR y CRT como reemplazo parcial del agregado fino en peso (5%, 10% y 15%) no influye significativamente con respecto a la resistencia de compresión del concreto de control.

Con el interés de evaluar la influencia del método de pretratamiento del caucho, se aplicó la prueba de hipótesis para los resultados de resistencia a la compresión de las diferentes mezclas con CR y CRT.

Para ello, se analizó si la resistencia a la compresión de la mezcla con CRT aumenta con respecto a la mezcla con CR.

Para la validación de hipótesis, se planteó lo siguiente:

- (u_1) son las muestras de concreto con CR.
- (u_2) son las muestras de concreto con CRT.

Se consideró las siguientes hipótesis:

Hipótesis nula (H_0): $u_1 = u_2$.

La adición de CRT como reemplazo parcial por agregado fino, no influye significativamente en la resistencia a la compresión con respecto a la mezcla con CR.

Hipótesis alternativa (H_1): $u_1 < u_2$.

La adición de CRT como reemplazo parcial por agregado fino, influye significativamente en la resistencia a la compresión con respecto a la mezcla con CR.

Tabla 27. Prueba de hipótesis de compresión al 5% de CRT con respecto a CR a los 7 días.

DESCRIPCIÓN		K2	K7
NÚMERO DE MUESTRA:	N	3	3
MEDIA ARITMÉTICA:	u	354.2	365.0
VARIANZA:	σ^2	16	16
"t" CRÍTICO (TABLA):	t_c		-2.131
NIVEL DE SIGNIFICANCIA:	α		0.05
GRADOS DE LIBERTAD:	n_1+n_2-2		4
"t" CALCULADO:	t_o		-3.317
DECISIÓN:		SE ACEPTA H_1	

Tabla 28. Prueba de hipótesis de compresión al 5% de CRT con respecto a CR a los 14 días.

DESCRIPCIÓN		K2	K7
NÚMERO DE MUESTRA:	N	3	3
MEDIA ARITMÉTICA:	u	394.9	392.0
VARIANZA:	σ^2	9	16
"t" CRÍTICO (TABLA):	t_c		-2.131
NIVEL DE SIGNIFICANCIA:	α		0.05
GRADOS DE LIBERTAD:	n_1+n_2-2		4
"t" CALCULADO:	t_o		0.993
DECISIÓN:		SE ACEPTA H_0	

Tabla 29. Prueba de hipótesis de compresión al 5% de CRT con respecto a CR a los 28 días.

DESCRIPCIÓN		K2	K7
NÚMERO DE MUESTRA:	N	3	3
MEDIA ARITMÉTICA:	u	424.6	442.5
VARIANZA:	σ^2	9	21
"t" CRÍTICO (TABLA):	t_c		-2.131
NIVEL DE SIGNIFICANCIA:	α		0.05
GRADOS DE LIBERTAD:	n_1+n_2-2		4
"t" CALCULADO:	t_o		-5.671
DECISIÓN:		SE ACEPTA H_1	

Tabla 30. Prueba de hipótesis de compresión al 10% de CRT con respecto a CR a los 7 días.

DESCRIPCIÓN		K3	K8
NÚMERO DE MUESTRA:	N	3	3
MEDIA ARITMÉTICA:	u	323.7	325.7
VARIANZA:	σ^2	9	21
"t" CRÍTICO (TABLA):	t_c		-2.131
NIVEL DE SIGNIFICANCIA:	α		0.05
GRADOS DE LIBERTAD:	n_1+n_2-2		4
"t" CALCULADO:	t_o		-0.632
DECISIÓN:		SE ACEPTA H_0	

Tabla 31. Prueba de hipótesis de compresión al 10% de CRT con respecto a CR a los 14 días.

DESCRIPCIÓN		K3	K8
NÚMERO DE MUESTRA:	N	3	3
MEDIA ARITMÉTICA:	u	369.9	372.5
VARIANZA:	σ^2	33	49
"t" CRÍTICO (TABLA):	t_c		-2.131
NIVEL DE SIGNIFICANCIA:	α		0.05
GRADOS DE LIBERTAD:	n_1+n_2-2		4
"t" CALCULADO:	t_o		-0.497
DECISIÓN:		SE ACEPTA H_0	

Tabla 32. Prueba de hipótesis de compresión al 10% de CRT con respecto a CR a los 28 días.

DESCRIPCIÓN		K3	K8
NÚMERO DE MUESTRA:	N	3	3
MEDIA ARITMÉTICA:	u	384.1	388.2
VARIANZA:	σ^2	65	21
"t" CRÍTICO (TABLA):	t_c		-2.131
NIVEL DE SIGNIFICANCIA:	α		0.05
GRADOS DE LIBERTAD:	n_1+n_2-2		4
"t" CALCULADO:	t_o		-0.760
DECISIÓN:		SE ACEPTA H_0	

Tabla 33. Prueba de hipótesis de compresión al 15% de CRT con respecto a CR a los 7 días.

DESCRIPCIÓN		K4	K9
NÚMERO DE MUESTRA:	N	3	3
MEDIA ARITMÉTICA:	u	289.4	287.5
VARIANZA:	σ^2	85	81
"t" CRÍTICO (TABLA):	t_c		-2.131
NIVEL DE SIGNIFICANCIA:	α		0.05
GRADOS DE LIBERTAD:	n_1+n_2-2		4
"t" CALCULADO:	t_o		0.255
DECISIÓN:		SE ACEPTA H_0	

Tabla 34. Prueba de hipótesis de compresión al 15% de CRT con respecto a CR a los 14 días.

DESCRIPCIÓN		K4	K9
NÚMERO DE MUESTRA:	N	3	3
MEDIA ARITMÉTICA:	u	304.3	296.6
VARIANZA:	σ^2	48	225
"t" CRÍTICO (TABLA):	t_c		-2.131
NIVEL DE SIGNIFICANCIA:	α		0.05
GRADOS DE LIBERTAD:	n_1+n_2-2		4
"t" CALCULADO:	t_o		0.804
DECISIÓN:		SE ACEPTA H_0	

Tabla 35. Prueba de hipótesis de compresión al 15% de CRT con respecto a CR a los 28 días.

DESCRIPCIÓN		K4	K9
NÚMERO DE MUESTRA:	N	3	3
MEDIA ARITMÉTICA:	u	319.3	326.2
VARIANZA:	σ^2	12	9
"t" CRÍTICO (TABLA):	t_c		-2.131
NIVEL DE SIGNIFICANCIA:	α		0.05
GRADOS DE LIBERTAD:	n_1+n_2-2		4
"t" CALCULADO:	t_o		-2.633
DECISIÓN:		SE ACEPTA H_1	

Cabe resaltar que, los cálculos para la prueba de hipótesis se encuentran en el **Anexo 04**.

De los resultados obtenidos, se concluye que la mezcla con CRT muestra una ligera mejora sobre la mezcla con CR. Esto podría atribuirse a la mejor unión entre el concreto y el caucho tratado con solución 1N NaOH.

2.7.4 Prueba de hipótesis para el ensayo de resistencia a la flexión.

Para la validación de la hipótesis para la resistencia a la flexión, se planteó lo siguiente:

- (u1) son las muestras de concreto de control.
- (u2) son las muestras de concreto con adición de 5%, 10%, 15% de CR y CRT como reemplazo parcial de agregado fino.

Para ello, se analizó si la resistencia a la flexión incrementa con la adición de CR y CRT con respecto a la mezcla de control.

Se consideró las siguientes hipótesis:

Hipótesis nula (H_0): $u_1 = u_2$.

La adición del CR y CRT como reemplazo parcial del agregado fino en peso (5%, 10% y 15%) no influye significativamente con respecto a la resistencia de flexión del concreto de control.

Hipótesis alternativa (H_1): $u_1 < u_2$.

La adición del CR y CRT como reemplazo parcial del agregado fino en peso (5%, 10% y 15%) influye significativamente con respecto a la resistencia de flexión del concreto de control.

A continuación, se obtiene un cuadro de resumen de la prueba de hipótesis de la resistencia a la flexión con las diferentes mezclas a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 36. Resumen de prueba de hipótesis de la resistencia a la flexión con CR a los 28 días.

DESCRIPCIÓN		K1	K2	K3	K4
NÚMERO DE MUESTRA:	N	3	3	3	3
MEDIA ARITMÉTICA:	u	73.6	64.6	62.3	60.7
VARIANZA:	σ^2	12	21	16	21
"t" CRÍTICO (TABLA):	t_c		-2.131	-2.131	-2.131
NIVEL DE SIGNIFICANCIA:	α		0.05	0.05	0.05
GRADOS DE LIBERTAD:	n_1+n_2-2		4	4	4
"t" CALCULADO:	t_o		2.714	3.688	3.900
DECISIÓN:			SE ACEPTA H_o	SE ACEPTA H_o	SE ACEPTA H_o

Tabla 37. Resumen de prueba de hipótesis de la resistencia a la flexión con CRT a los 28 días.

DESCRIPCIÓN		K1	K7	K8	K9
NÚMERO DE MUESTRA:	N	3	3	3	3
MEDIA ARITMÉTICA:	u	73.6	69.2	64.0	58.9
VARIANZA:	σ^2	12	48	9	5
"t" CRÍTICO (TABLA):	t_c		-2.131	-2.131	-2.131
NIVEL DE SIGNIFICANCIA:	α		0.05	0.05	0.05
GRADOS DE LIBERTAD:	n_1+n_2-2		4	4	4
"t" CALCULADO:	t_o		0.991	3.628	6.161
DECISIÓN:			SE ACEPTA H_o	SE ACEPTA H_o	SE ACEPTA H_o

Cabe resaltar que, los cálculos para la prueba de hipótesis se encuentran en el **Anexo 05**.

De los resultados obtenidos, se concluye que la adición del CR y CRT como reemplazo parcial del agregado fino en peso (5%, 10% y 15%) no influye significativamente con respecto a la resistencia de flexión del concreto de control.

De igual manera, se aplicó la prueba de hipótesis para los resultados de resistencia a la flexión de las diferentes mezclas con CR y CRT.

Para la validación de hipótesis, se planteó lo siguiente:

- (u_1) son las muestras de concreto con CR.
- (u_2) son las muestras de concreto con CRT.

Se consideró las siguientes hipótesis:

Hipótesis nula (H_o): $u_1 = u_2$.

La adición de CRT como reemplazo parcial por agregado fino, no influye significativamente en la resistencia a la flexión con respecto a la mezcla con CR.

Hipótesis alternativa (H_1): $u_1 < u_2$.

La adición de CRT como reemplazo parcial por agregado fino, influye significativamente en la resistencia a la flexión con respecto a la mezcla con CR.

Tabla 38. Prueba de hipótesis de flexión al 5% de CRT con respecto a CR a los 28 días.

DESCRIPCIÓN		K2	K7
NÚMERO DE MUESTRA:	N	3	3
MEDIA ARITMÉTICA:	u	64.6	69.2
VARIANZA:	σ^2	21	48
"t" CRÍTICO (TABLA):	t_c		-2.131
NIVEL DE SIGNIFICANCIA:	α		0.05
GRADOS DE LIBERTAD:	n_1+n_2-2		4
"t" CALCULADO:	t_o		-0.952
DECISIÓN:		SE ACEPTA H_0	

Tabla 39. Prueba de hipótesis de flexión al 10% de CRT con respecto a CR a los 28 días.

DESCRIPCIÓN		K3	K8
NÚMERO DE MUESTRA:	N	3	3
MEDIA ARITMÉTICA:	u	62.3	64
VARIANZA:	σ^2	21	9
"t" CRÍTICO (TABLA):	t_c		-2.131
NIVEL DE SIGNIFICANCIA:	α		0.05
GRADOS DE LIBERTAD:	n_1+n_2-2		4
"t" CALCULADO:	t_o		-0.527
DECISIÓN:		SE ACEPTA H_0	

Tabla 40. Prueba de hipótesis de flexión al 15% de CRT con respecto a CR a los 28 días.

DESCRIPCIÓN		K4	K9
NÚMERO DE MUESTRA:	N	3	3
MEDIA ARITMÉTICA:	u	60.7	58.9
VARIANZA:	σ^2	21	5
"t" CRÍTICO (TABLA):	t_c		-2.131
NIVEL DE SIGNIFICANCIA:	α		0.05
GRADOS DE LIBERTAD:	n_1+n_2-2		4
"t" CALCULADO:	t_o		0.589
DECISIÓN:		SE ACEPTA H_0	

Cabe resaltar que, los cálculos para la prueba de hipótesis se encuentran en el **Anexo 06**.

De acuerdo a los resultados estadísticos, se pudo observar que el método del pretratamiento con solución 1N NaOH no influye significativamente en la resistencia a la flexión con respecto a la mezcla con CR.

CAPITULO III. RESULTADOS

3.1 Asentamiento.

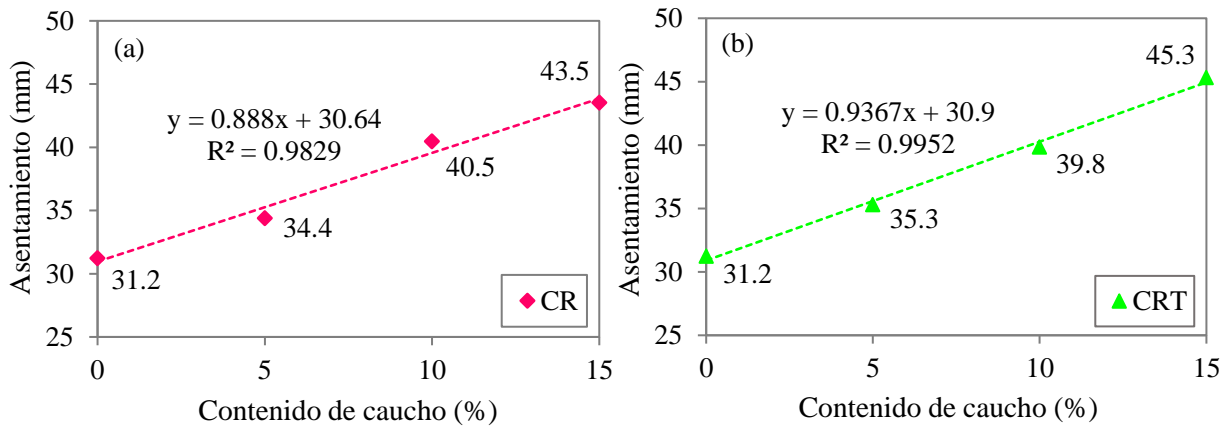


Figura 25. Resultado del asentamiento de la mezcla de control, (a) mezcla con el uso de CR y, (b) mezcla con la aplicación de CRT

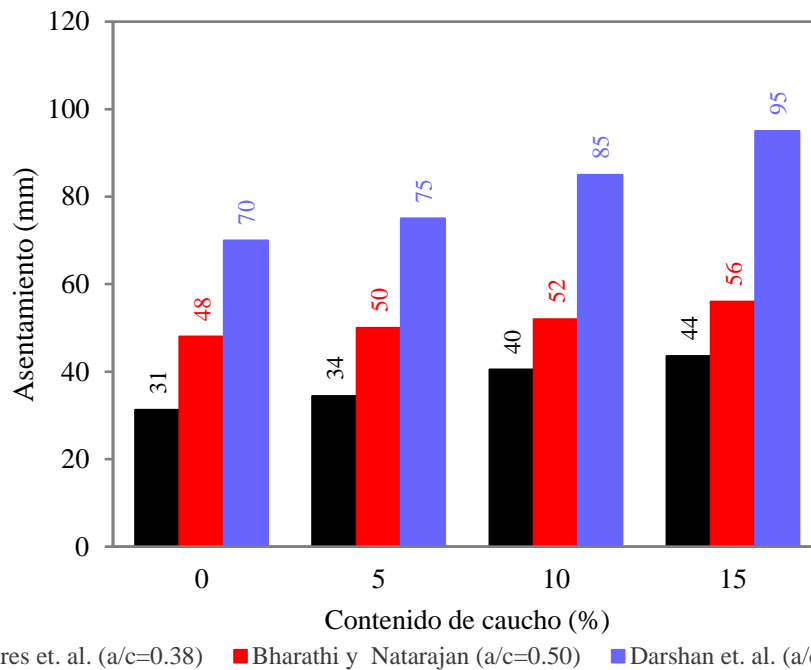


Figura 26. Efectos del contenido de CR y relación agua – cemento en el asentamiento de la mezcla de hormigón.

3.2 Peso unitario.

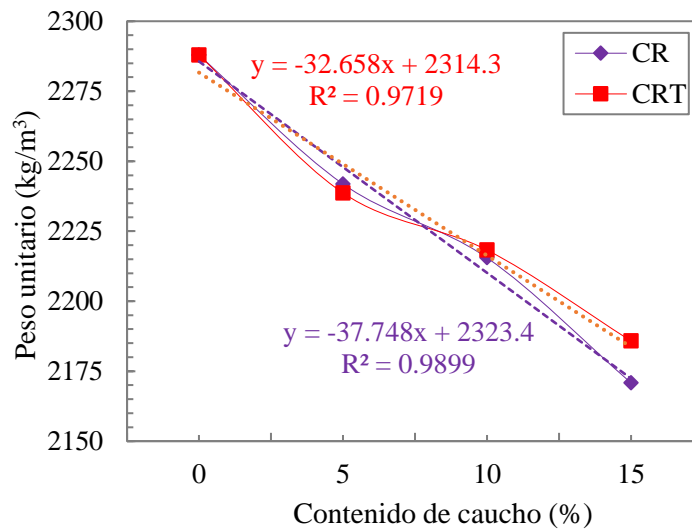


Figura 27. Efecto del caucho reciclado en el ensayo de peso unitario del hormigón.

3.3 Temperatura.

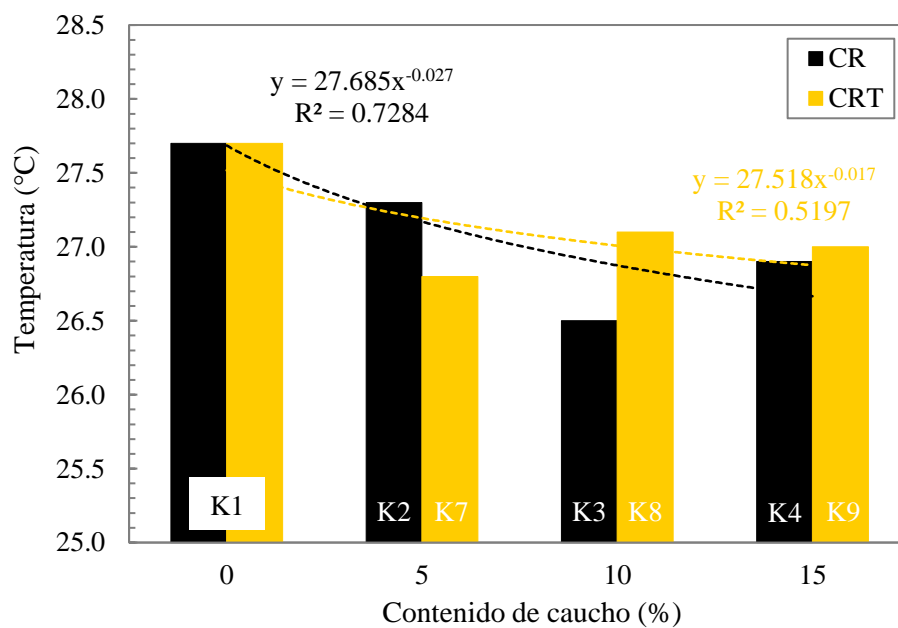


Figura 28. Efecto del caucho reciclado en el ensayo de temperatura del hormigón con CR y CRT.

3.4 Resistencia a la compresión.

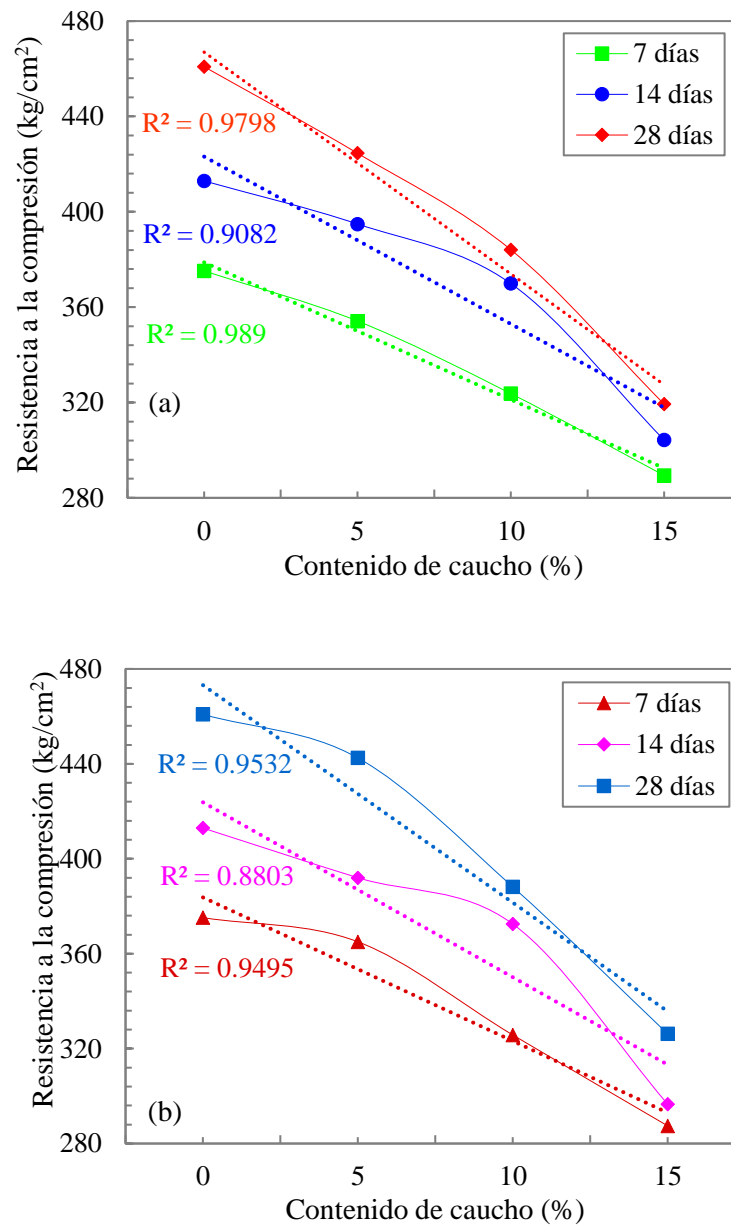
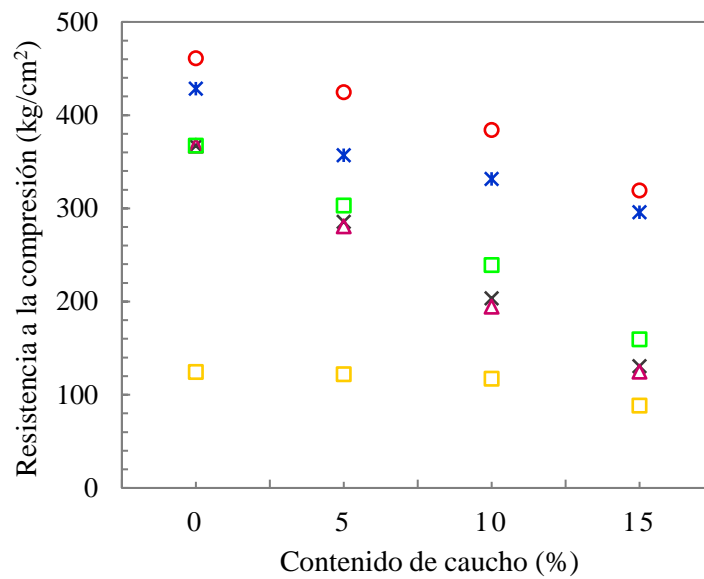


Figura 29. Resistencia a la compresión de los adoquines de control, con adición de (a) CR y, (b) CRT.



○ Flores et. al. (MF=3.88) × Sukontasukkul et. al. (MF=4.98) △ Sukontasukkul et. al. (MF=2.62)
 □ Sukontasukkul et. al. (MF=3.77) × Ling, et. al. (a/c=0.55) □ Ling Tung (MF=4.74)

Figura 30. Efectos del contenido de CR en la resistencia a la compresión de los adoquines a los 28 días.

3.5 Resistencia a la flexión.

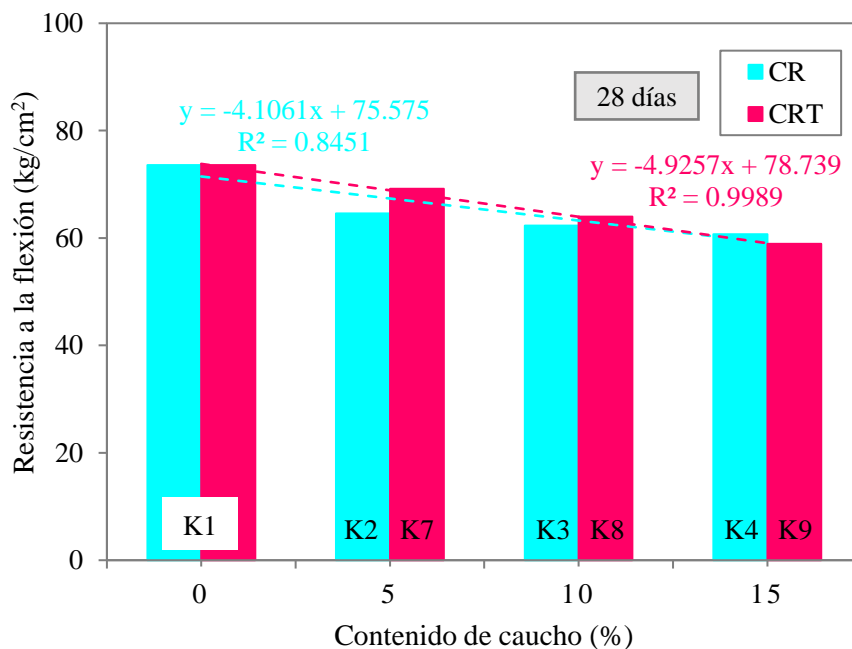


Figura 31. Resistencia a la flexión de los adoquines con la incorporación de CR y CRT.

3.6 Validación de datos para el ensayo de resistencia a la compresión.

CONCRETO DE CONTROL A LOS 7 DÍAS

1. DATOS.

Muestra	f'c
K1	376.8
K1	378.0
K1	370.7

2. CÁLCULOS.

Número de muestras:	N: 3	
	Xmax: 378.0	
	Xmin: 370.7	$Rx = Xmax - Xmin$
Rango de datos:	Rx: 7.3	$K = 1 + 3.322 \text{ Log } (n)$
Número de intervalos de clase:	K: 2.585 = 3	$C = Rx/K$
Ancho de clase (Amplitud):	C: 2.824 = 3	$Rx' = K.C$
Rango de datos (Corregido):	Rx': 9	$Li = Xmin$
Alcance de datos:	Li: 370.7	$Ls = Li + Rx'$
	Ls: 379.7	

3. TABLA DE FRECUENCIAS.

Intervalo	Xi	fi	Fi	Xi.fi	Xi-u	(Xi-u)^2	fi.(Xi-u)^2
[370.7 - 373.7 >	372.2	1	1	372.2	-4.0	16	16
[373.7 - 376.7 >	375.2	0	1	0	-1.0	1	0
[376.7 - 379.7 >	378.2	2	3	756	2.0	4	8
		3		1128.6		21	24

4. MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL.

MEDIA:		u: 376.2
MEDIANA (Me):	$Me = L_i + \frac{\frac{N}{2} - F_{i-1}}{f_i} \cdot C_i$	L _i : 376.7
		C _i : 3
		f _i : 2
		F _{i-1} : 1
		Me: 377.5
MODA (Mo):	$Mo = L_i + \frac{f_i - f_{i-1}}{(f_i - f_{i-1}) + (f_i - f_{i+1})} \cdot t_i$	L _i : 376.7
		t _i : 3
		f _i : 2
		f _{i-1} : 0
		f _{i+1} : 0
	Mo: 378.2	
VARIANZA:		σ ² : 12
DESVIACIÓN ESTANDAR:	$\sigma^2 = \frac{\sum (X_i - \mu)^2 \cdot f_i}{N - 1}$	σ: 3.5
COEFICIENTE DE VARIACIÓN:		CV: 0.92%

CONCRETO DE CONTROL A LOS 14 DÍAS

1. DATOS.

Muestra	f'c
K1	410.3
K1	414.4
K1	414.0

2. CÁLCULOS.

Número de muestras:	N: 3	
	Xmax: 414.4	
	Xmin: 410.3	$Rx = Xmax - Xmin$
Rango de datos:	Rx: 4.1	$K = 1 + 3.322 \text{ Log } (n)$
Número de intervalos de clase:	K: 2.585 = 3	$C = Rx/K$
Ancho de clase (Amplitud):	C: 1.586 = 2	$Rx' = K.C$
Rango de datos (Corregido):	Rx': 6	$Li = Xmin$
Alcance de datos:	Li: 410.3	$Ls = Li + Rx'$
	Ls: 416.3	

3. TABLA DE FRECUENCIAS.

Intervalo	Xi	fi	Fi	Xi.fi	Xi-u	(Xi-u)^2	fi.(Xi-u)^2
[410.3 - 412.3 >	411.3	1	1	411.3	-2.7	7	7
[412.3 - 414.3 >	413.3	0	1	0	-0.7	0	0
[414.3 - 416.3 >	415.3	2	3	831	1.3	2	4
	3			1241.9		9	11

4. MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL.

MEDIA:		u: 413.97
MEDIANA (Me):		L _i : 414.3
		C _i : 2
		f _i : 2
		F _{i-1} : 1
		Me: 414.8
MODA (Mo):		L _i : 414.3
		t _i : 2
		f _i : 2
		f _{i-1} : 0
		f _{i+1} : 0
		Mo: 415.3
VARIANZA:		σ^2 : 5
DESVIACIÓN ESTANDAR:	$\sigma^2 = \frac{\sum (X_i - \mu)^2 \cdot f_i}{N - 1}$	σ : 2.3
COEFICIENTE DE VARIACIÓN:		CV: 0.56%

CONCRETO DE CONTROL A LOS 28 DÍAS

1. DATOS.

Muestra	f'c
K1	458.3
K1	460.2
K1	464.1

2. CÁLCULOS.

Número de muestras:	N: 3	
	Xmax: 464.1	
	Xmin: 458.3	$Rx = Xmax - Xmin$
Rango de datos:	Rx: 5.8	$K = 1 + 3.322 \text{ Log } (n)$
Número de intervalos de clase:	K: 2.585 = 3	$C = Rx/K$
Ancho de clase (Amplitud):	C: 2.244 = 2	$Rx' = K.C$
Rango de datos (Corregido):	Rx': 6	$Li = Xmin$
Alcance de datos:	Li: 458.3	$Ls = Li + Rx'$
	Ls: 464.3	

3. TABLA DE FRECUENCIAS.

Intervalo	Xi	fi	Fi	Xi.fi	Xi-u	(Xi-u)^2	fi.(Xi-u)^2
[458.3 - 460.3 >	459.3	2	2	918.6	-1.3	2	4
[460.3 - 462.3 >	461.3	0	2	0	0.7	0	0
[462.3 - 464.3 >	463.3	1	3	463.3	2.7	7	7
		3		1381.9		9	11

4. MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL.

MEDIA:		u: 460.6
MEDIANA (Me):		Li: 460.3
		Ci: 2
		fi: 0
		Fi-1: 2
		Me: 460.3
	$Me = L_i + \frac{\frac{N}{2} - F_{i-1}}{f_i} \cdot C_i$	
MODA (Mo):		Li: 458.3
		ti: 2
		fi: 2
		fi-1: 0
		fi+1: 0
		Mo: 459.3
	$Mo = L_i + \frac{f_i - f_{i-1}}{(f_i - f_{i-1}) + (f_i - f_{i+1})} \cdot t_i$	
VARIANZA:		σ^2 : 5
DESVIACIÓN ESTANDAR:		σ : 2.3
COEFICIENTE DE VARIACIÓN:		CV: 0.50%
	$\sigma^2 = \frac{\sum (X_i - \mu)^2 \cdot f_i}{N - 1}$	

CONCRETO CON ADICIÓN DEL 5% DE PARTÍCULAS DE CR A LOS 7 DÍAS

1. DATOS.

Muestra	f _c
K2	348.2
K2	359.1
K2	355.2

2. CÁLCULOS.

Número de muestras:	N: 3	
	X _{max} : 359.1	
	X _{min} : 348.2	$Rx = X_{max} - X_{min}$
Rango de datos:	Rx: 10.9	$K = 1 + 3.322 \text{ Log } (n)$
Número de intervalos de clase:	K: 2.585 = 3	$C = Rx/K$
Ancho de clase (Amplitud):	C: 4.217 = 4	$Rx' = K \cdot C$
Rango de datos (Corregido):	Rx': 12	$Li = X_{min}$
Alcance de datos:	Li: 348.2	$Ls = Li + Rx'$
	Ls: 360.2	

3. TABLA DE FRECUENCIAS.

Intervalo	Xi	fi	Fi	Xi.fi	Xi-u	(Xi-u) ²	fi.(Xi-u) ²
[348.2 - 352.2 >	350.2	1	1	350.2	-4.0	16	16
[352.2 - 356.2 >	354.2	1	2	354.2	0.0	0	0
[356.2 - 360.2 >	358.2	1	3	358	4.0	16	16
	3			1062.6		32	32

4. MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL.

MEDIA:		u:	354.2
MEDIANA (Me):	$Me = L_i + \frac{\frac{N}{2} - F_{i-1}}{f_i} \cdot C_i$	L _i :	352.2
		C _i :	4
		f _i :	1
		F _{i-1} :	1
		Me:	354.2
MODA (Mo):	$Mo = L_i + \frac{f_i - f_{i-1}}{(f_i - f_{i-1}) + (f_i - f_{i+1})} \cdot t_i$	L _i :	356.2
		t _i :	4
		f _i :	1
		f _{i-1} :	1
		f _{i+1} :	0
	Mo:	356.2	
VARIANZA:		σ ² :	16
DESVIACIÓN ESTANDAR:	$\sigma^2 = \frac{\sum (X_i - \mu)^2 \cdot f_i}{N - 1}$	σ:	4.0
COEFICIENTE DE VARIACIÓN:		CV:	1.13%

CONCRETO CON ADICIÓN DEL 5% DE PARTÍCULAS DE CR A LOS 14 DÍAS

1. DATOS.

Muestra	f'c
K2	398.5
K2	395.4
K2	390.7

2. CÁLCULOS.

Número de muestras:	N: 3	
	Xmax: 398.5	
	Xmin: 390.7	$Rx = Xmax - Xmin$
Rango de datos:	Rx: 7.8	$K = 1 + 3.322 \text{ Log } (n)$
Número de intervalos de clase:	K: 2.585 = 3	$C = Rx/K$
Ancho de clase (Amplitud):	C: 3.017 = 3	$Rx' = K.C$
Rango de datos (Corregido):	Rx': 9	$Li = Xmin$
Alcance de datos:	Li: 390.7	$Ls = Li + Rx'$
	Ls: 399.7	

3. TABLA DE FRECUENCIAS.

Intervalo	Xi	fi	Fi	Xi.fi	Xi-u	(Xi-u) ²	fi.(Xi-u) ²
[390.7 - 393.7 >	392.2	1	1	392.2	-3.0	9	9
[393.7 - 396.7 >	395.2	1	2	395.2	0.0	0	0
[396.7 - 399.7 >	398.2	1	3	398	3.0	9	9
		3		1185.6		18	18

4. MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL.

MEDIA:		u: 395.2
MEDIANA (Me):	$Me = L_i + \frac{\frac{N}{2} - F_{i-1}}{f_i} \cdot C_i$	L _i : 393.7
		C _i : 3
		f _i : 1
		F _{i-1} : 1
		Me: 395.2
MODA (Mo):	$Mo = L_i + \frac{f_i - f_{i-1}}{(f_i - f_{i-1}) + (f_i - f_{i+1})} \cdot t_i$	L _i : 396.7
		t _i : 3
		f _i : 1
		f _{i-1} : 1
		f _{i+1} : 0
	Mo: 396.7	
VARIANZA:		σ ² : 9
DESVIACIÓN ESTANDAR:	$\sigma^2 = \frac{\sum (X_i - \mu)^2 \cdot f_i}{N - 1}$	σ: 3.0
COEFICIENTE DE VARIACIÓN:		CV: 0.76%

CONCRETO CON ADICIÓN DEL 5% DE PARTÍCULAS DE CR A LOS 28 DÍAS

1. DATOS.

Muestra	f _c
K2	429.2
K2	424.3
K2	420.2

2. CÁLCULOS.

Número de muestras:	N: 3		
	X _{max} : 429.2		
	X _{min} : 420.2		$Rx = X_{max} - X_{min}$
Rango de datos:	Rx: 9.0		$K = 1 + 3.322 \text{ Log } (n)$
Número de intervalos de clase:	K: 2.585 = 3		$C = Rx/K$
Ancho de clase (Amplitud):	C: 3.482 = 3		$Rx' = K.C$
Rango de datos (Corregido):	Rx': 9		$Li = X_{min}$
Alcance de datos:	Li: 420.2		$Ls = Li + Rx'$
	Ls: 429.2		

3. TABLA DE FRECUENCIAS.

Intervalo	X _i	f _i	F _i	X _i .f _i	X _i -u	(X _i -u) ²	f _i .(X _i -u) ²
[420.2 - 423.2 >	421.7	1	1	421.7	-3.0	9	9
[423.2 - 426.2 >	424.7	1	2	424.7	0.0	0	0
[426.2 - 429.2 >	427.7	1	3	428	3.0	9	9
		3		1274.1		18	18

4. MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL.

MEDIA:	u: 424.7
MEDIANA (Me):	L _i : 423.2
	C _i : 3
	f _i : 1
	F _{i-1} : 1
	Me: 424.7
MODA (M _o):	L _i : 426.2
	t _i : 3
	f _i : 1
	f _{i-1} : 1
	f _{i+1} : 0
	M _o : 426.2
VARIANZA:	σ ² : 9
DESVIACIÓN ESTANDAR:	σ: 3.0
COEFICIENTE DE VARIACIÓN:	CV: 0.71%

CONCRETO CON ADICIÓN DEL 10% DE PARTÍCULAS DE CR A LOS 7 DÍAS

1. DATOS.

Muestra	f _c
K3	323.4
K3	320.1
K3	327.7

2. CÁLCULOS.

Número de muestras:	N: 3		
	X _{max} : 327.7		
	X _{min} : 320.1		$R_x = X_{max} - X_{min}$
Rango de datos:	R _x : 7.6		$K = 1 + 3.322 \text{ Log } (n)$
Número de intervalos de clase:	K: 2.585 = 3		$C = R_x / K$
Ancho de clase (Amplitud):	C: 2.940 = 3		$R_x' = K \cdot C$
Rango de datos (Corregido):	R _{x'} : 9		$L_i = X_{min}$
Alcance de datos:	L _i : 320.1		$L_s = L_i + R_x'$
	L _s : 329.1		

3. TABLA DE FRECUENCIAS.

Intervalo	X _i	f _i	F _i	X _i .f _i	X _i -u	(X _i -u) ²	f _i .(X _i -u) ²
[320.1 - 323.1 >	321.6	1	1	321.6	-3.0	9	9
[323.1 - 326.1 >	324.6	1	2	324.6	0.0	0	0
[326.1 - 329.1 >	327.6	1	3	328	3.0	9	9
		3		973.8		18	18

4. MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL.

MEDIA:	u: 324.6
MEDIANA (Me):	L _i : 323.1
	C _i : 3
	f _i : 1
	F _{i-1} : 1
	Me: 324.6
MODA (M _o):	L _i : 326.1
	t _i : 3
	f _i : 1
	f _{i-1} : 1
	f _{i+1} : 0
	M _o : 326.1
VARIANZA:	σ ² : 9
DESVIACIÓN ESTANDAR:	σ: 3.0
COEFICIENTE DE VARIACIÓN:	CV: 0.92%

CONCRETO CON ADICIÓN DEL 10% DE PARTÍCULAS DE CR A LOS 14 DÍAS

1. DATOS.

Muestra	f _c
K3	366.7
K3	377.7
K3	365.3

2. CÁLCULOS.

Número de muestras:	N: 3		
	X _{max} : 377.7		
	X _{min} : 365.3		$R_x = X_{max} - X_{min}$
Rango de datos:	R _x : 12.4		$K = 1 + 3.322 \text{ Log } (n)$
Número de intervalos de clase:	K: 2.585 = 3		$C = R_x / K$
Ancho de clase (Amplitud):	C: 4.797 = 5		$R_x' = K \cdot C$
Rango de datos (Corregido):	R _{x'} : 15		$L_i = X_{min}$
Alcance de datos:	L _i : 365.3		$L_s = L_i + R_x'$
	L _s : 380.3		

3. TABLA DE FRECUENCIAS.

Intervalo	X _i	f _i	F _i	X _i ·f _i	X _i -u	(X _i -u) ²	f _i ·(X _i -u) ²
[365.3 - 370.3 >	367.8	2	2	735.6	-3.3	11	22
[370.3 - 375.3 >	372.8	0	2	0	1.7	3	0
[375.3 - 380.3 >	377.8	1	3	378	6.7	44	44
	3			1113.4		58	67

4. MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL.

MEDIA:	u: 371.1
MEDIANA (Me):	L _i : 370.3
$Me = L_i + \frac{\frac{N}{2} - F_{i-1}}{f_i} \cdot C_i$	C _i : 5
	f _i : 0
	F _{i-1} : 2
	Me: 370.3
	MODA (Mo):
$Mo = L_i + \frac{f_i - f_{i-1}}{(f_i - f_{i-1}) + (f_i - f_{i+1})} \cdot t_i$	t _i : 5
	f _i : 2
	f _{i-1} : 0
	f _{i+1} : 0
	Mo: 367.8
	σ ² : 33
VARIANZA:	
$\sigma^2 = \frac{\sum (X_i - \mu)^2 \cdot f_i}{N - 1}$	σ: 5.8
DESVIACIÓN ESTANDAR:	CV: 1.56%
COEFICIENTE DE VARIACIÓN:	

CONCRETO CON ADICIÓN DEL 10% DE PARTÍCULAS DE CR A LOS 28 DÍAS

1. DATOS.

Muestra	f'c
K3	377.7
K3	395.7
K3	378.9

2. CÁLCULOS.

Número de muestras:	N: 3		
	Xmax: 395.7		
	Xmin: 377.7		$Rx = Xmax - Xmin$
Rango de datos:	Rx: 18.0		$K = 1 + 3.322 \text{ Log } (n)$
Número de intervalos de clase:	K: 2.585 = 3		$C = Rx/K$
Ancho de clase (Amplitud):	C: 6.963 = 7		$Rx' = K.C$
Rango de datos (Corregido):	Rx': 21		$Li = Xmin$
Alcance de datos:	Li: 377.7		$Ls = Li + Rx'$
	Ls: 398.7		

3. TABLA DE FRECUENCIAS.

Intervalo	Xi	fi	Fi	Xi.fi	Xi-u	(Xi-u) ²	fi.(Xi-u) ²
[377.7 - 384.7 >	381.2	2	2	762.4	-4.7	22	44
[384.7 - 391.7 >	388.2	0	2	0	2.3	5	0
[391.7 - 398.7 >	395.2	1	3	395	9.3	87	87
		3		1157.6		114	131

4. MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL.

MEDIA:	u: 385.9
MEDIANA (Me):	L _i : 384.7
	C _i : 7
	f _i : 0
	F _{i-1} : 2
	Me: 384.7
	$Me = L_i + \frac{\frac{N}{2} - F_{i-1}}{f_i} \cdot C_i$
MODA (Mo):	L _i : 377.7
	t _i : 7
	f _i : 2
	f _{i-1} : 0
	f _{i+1} : 0
	Mo: 381.2
	$Mo = L_i + \frac{f_i - f_{i-1}}{(f_i - f_{i-1}) + (f_i - f_{i+1})} \cdot t_i$
VARIANZA:	σ ² : 65
DESVIACIÓN ESTANDAR:	σ: 8.1
COEFICIENTE DE VARIACIÓN:	CV: 2.09%
	$\sigma^2 = \frac{\sum (X_i - \mu)^2 \cdot f_i}{N - 1}$

CONCRETO CON ADICIÓN DEL 15% DE PARTÍCULAS DE CR A LOS 7 DÍAS

1. DATOS.

Muestra	f'c
K4	296.5
K4	295.1
K4	276.5

2. CÁLCULOS.

Número de muestras:	N: 3		
	Xmax: 296.5		
	Xmin: 276.5		$Rx = Xmax - Xmin$
Rango de datos:	Rx: 20.0		$K = 1 + 3.322 \text{ Log } (n)$
Número de intervalos de clase:	K: 2.585 = 3		$C = Rx/K$
Ancho de clase (Amplitud):	C: 7.737 = 8		$Rx' = K.C$
Rango de datos (Corregido):	Rx': 24		$Li = Xmin$
Alcance de datos:	Li: 276.5		$Ls = Li + Rx'$
	Ls: 300.5		

3. TABLA DE FRECUENCIAS.

Intervalo	Xi	fi	Fi	Xi.fi	Xi-u	(Xi-u) ²	fi.(Xi-u) ²
[276.5 - 284.5 >	280.5	1	1	280.5	-10.7	114	114
[284.5 - 292.5 >	288.5	0	1	0	-2.7	7	0
[292.5 - 300.5 >	296.5	2	3	593	5.3	28	57
		3		873.5		149	171

4. MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL.

MEDIA:	u: 291.2
MEDIANA (Me):	L _i : 292.5
	C _i : 8
	f _i : 2
	F _{i-1} : 1
	Me: 294.5
	$Me = L_i + \frac{\frac{N}{2} - F_{i-1}}{f_i} \cdot C_i$
MODA (Mo):	L _i : 292.5
	t _i : 8
	f _i : 2
	f _{i-1} : 0
	f _{i+1} : 0
	Mo: 296.5
	$Mo = L_i + \frac{f_i - f_{i-1}}{(f_i - f_{i-1}) + (f_i - f_{i+1})} \cdot t_i$
VARIANZA:	σ ² : 85
DESVIACIÓN ESTANDAR:	σ: 9.2
COEFICIENTE DE VARIACIÓN:	CV: 3.17%
	$\sigma^2 = \frac{\sum (X_i - \mu)^2 \cdot f_i}{N - 1}$

CONCRETO CON ADICIÓN DEL 15% DE PARTÍCULAS DE CR A LOS 14 DÍAS

1. DATOS.

Muestra	f _c
K4	294.5
K4	309.4
K4	308.9

2. CÁLCULOS.

Número de muestras:	N: 3		
	X _{max} : 309.4		
	X _{min} : 294.5		$R_x = X_{max} - X_{min}$
Rango de datos:	R _x : 14.9		$K = 1 + 3.322 \text{ Log } (n)$
Número de intervalos de clase:	K: 2.585 = 3		$C = R_x / K$
Ancho de clase (Amplitud):	C: 5.764 = 6		$R_x' = K \cdot C$
Rango de datos (Corregido):	R _{x'} : 18		$L_i = X_{min}$
Alcance de datos:	L _i : 294.5		$L_s = L_i + R_x'$
	L _s : 312.5		

3. TABLA DE FRECUENCIAS.

Intervalo	X _i	f _i	F _i	X _i ·f _i	X _i -u	(X _i -u) ²	f _i ·(X _i -u) ²
[294.5 - 300.5 >	297.5	1	1	297.5	-8.0	64	64
[300.5 - 306.5 >	303.5	0	1	0	-2.0	4	0
[306.5 - 312.5 >	309.5	2	3	619	4.0	16	32
		3		916.5		84	96

4. MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL.

MEDIA:	u: 305.5
MEDIANA (Me):	L _i : 306.5
	C _i : 6
	f _i : 2
	F _{i-1} : 1
	Me: 308.0
	$Me = L_i + \frac{\frac{N}{2} - F_{i-1}}{f_i} \cdot C_i$
MODA (Mo):	L _i : 306.5
	t _i : 6
	f _i : 2
	f _{i-1} : 0
	f _{i+1} : 0
	Mo: 309.5
	$Mo = L_i + \frac{f_i - f_{i-1}}{(f_i - f_{i-1}) + (f_i - f_{i+1})} \cdot t_i$
VARIANZA:	σ ² : 48
DESVIACIÓN ESTANDAR:	σ: 6.9
COEFICIENTE DE VARIACIÓN:	CV: 2.27%
	$\sigma^2 = \frac{\sum (X_i - \mu)^2 \cdot f_i}{N - 1}$

CONCRETO CON ADICIÓN DEL 15% DE PARTÍCULAS DE CR A LOS 28 DÍAS

1. DATOS.

Muestra	f'c
K4	321.6
K4	321.1
K4	315.1

2. CÁLCULOS.

Número de muestras:	N: 3		
	Xmax: 321.6		
	Xmin: 315.1		$Rx = Xmax - Xmin$
Rango de datos:	Rx: 6.5		$K = 1 + 3.322 \text{ Log } (n)$
Número de intervalos de clase:	K: 2.585 = 3		$C = Rx/K$
Ancho de clase (Amplitud):	C: 2.515 = 3		$Rx' = K.C$
Rango de datos (Corregido):	Rx': 9		$Li = Xmin$
Alcance de datos:	Li: 315.1		$Ls = Li + Rx'$
	Ls: 324.1		

3. TABLA DE FRECUENCIAS.

Intervalo	Xi	fi	Fi	Xi.fi	Xi-u	(Xi-u) ²	fi.(Xi-u) ²
[315.1 - 318.1 >	316.6	1	1	316.6	-4.0	16	16
[318.1 - 321.1 >	319.6	0	1	0	-1.0	1	0
[321.1 - 324.1 >	322.6	2	3	645	2.0	4	8
		3		961.8		21	24

4. MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL.

MEDIA:	u: 320.6
MEDIANA (Me):	L _i : 321.1
	C _i : 3
	f _i : 2
	F _{i-1} : 1
	Me: 321.9
	$Me = L_i + \frac{\frac{N}{2} - F_{i-1}}{f_i} \cdot C_i$
MODA (Mo):	L _i : 321.1
	t _i : 3
	f _i : 2
	f _{i-1} : 0
	f _{i+1} : 0
	Mo: 322.6
	$Mo = L_i + \frac{f_i - f_{i-1}}{(f_i - f_{i-1}) + (f_i - f_{i+1})} \cdot t_i$
VARIANZA:	σ ² : 12
DESVIACIÓN ESTANDAR:	σ: 3.5
COEFICIENTE DE VARIACIÓN:	CV: 1.08%
	$\sigma^2 = \frac{\sum (X_i - \mu)^2 \cdot f_i}{N - 1}$

CONCRETO CON ADICIÓN DEL 5% DE PARTÍCULAS DE CRT A LOS 7 DÍAS

1. DATOS.

Muestra	f'c
K7	361.6
K7	371.6
K7	361.8

2. CÁLCULOS.

Número de muestras:	N: 3	
	Xmax: 371.6	
	Xmin: 361.6	$Rx = Xmax - Xmin$
Rango de datos:	Rx: 10.0	$K = 1 + 3.322 \text{ Log } (n)$
Número de intervalos de clase:	K: 2.585 = 3	$C = Rx/K$
Ancho de clase (Amplitud):	C: 3.868 = 4	$Rx' = K.C$
Rango de datos (Corregido):	Rx': 12	$Li = Xmin$
Alcance de datos:	Li: 361.6	$Ls = Li + Rx'$
	Ls: 373.6	

3. TABLA DE FRECUENCIAS.

Intervalo	Xi	fi	Fi	Xi.fi	Xi-u	(Xi-u) ²	fi.(Xi-u) ²
[361.6 - 365.6 >	363.6	1	1	363.6	-4.0	16	16
[365.6 - 369.6 >	367.6	1	2	367.6	0.0	0	0
[369.6 - 373.6 >	371.6	1	3	372	4.0	16	16
		3		1102.8		32	32

4. MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL.

MEDIA:		u:	367.6
MEDIANA (Me):		Li:	365.6
		Ci:	4
		fi:	2
		Fi-1:	1
		Me:	366.6
	$Me = L_i + \frac{\frac{N}{2} - F_{i-1}}{f_i} \cdot C_i$		
MODA (Mo):		Li:	369.6
		ti:	4
		fi:	1
		fi-1:	1
		fi+1:	0
		Mo:	369.6
	$Mo = L_i + \frac{f_i - f_{i-1}}{(f_i - f_{i-1}) + (f_i - f_{i+1})} \cdot t_i$		
VARIANZA:		σ^2 :	16
DESVIACIÓN ESTANDAR:		σ :	4.0
COEFICIENTE DE VARIACIÓN:		CV:	1.09%
	$\sigma^2 = \frac{\sum (X_i - \mu)^2 \cdot f_i}{N - 1}$		

CONCRETO CON ADICIÓN DEL 5% DE PARTÍCULAS DE CRT A LOS 14 DÍAS

1. DATOS.

Muestra	f'c
K7	386.5
K7	396.5
K7	393.0

2. CÁLCULOS.

Número de muestras:	N: 3	
	Xmax: 396.5	
	Xmin: 386.5	$Rx = Xmax - Xmin$
Rango de datos:	Rx: 10.0	$K = 1 + 3.322 \text{ Log } (n)$
Número de intervalos de clase:	K: 2.585 = 3	$C = Rx/K$
Ancho de clase (Amplitud):	C: 3.868 = 4	$Rx' = K.C$
Rango de datos (Corregido):	Rx': 12	$Li = Xmin$
Alcance de datos:	Li: 386.5	$Ls = Li + Rx'$
	Ls: 398.5	

3. TABLA DE FRECUENCIAS.

Intervalo	Xi	fi	Fi	Xi.fi	Xi-u	(Xi-u)^2	fi.(Xi-u)^2
[386.5 - 390.5 >	388.5	1	1	388.5	-4.0	16	16
[390.5 - 394.5 >	392.5	1	2	392.5	0.0	0	0
[394.5 - 398.5 >	396.5	1	3	397	4.0	16	16
	3			1177.5		32	32

4. MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL.

MEDIA:		u: 392.5
MEDIANA (Me):	$Me = L_i + \frac{\frac{N}{2} - F_{i-1}}{f_i} \cdot C_i$	Li: 390.5
		Ci: 4
		fi: 1
		Fi-1: 1
		Me: 392.5
MODA (Mo):	$Mo = L_i + \frac{f_i - f_{i-1}}{(f_i - f_{i-1}) + (f_i - f_{i+1})} \cdot t_i$	Li: 394.5
		ti: 4
		fi: 1
		fi-1: 1
		fi+1: 0
	Mo: 394.5	
VARIANZA:		σ^2 : 16
DESVIACIÓN ESTANDAR:	$\sigma^2 = \frac{\sum (X_i - \mu)^2 \cdot f_i}{N - 1}$	σ : 4.0
COEFICIENTE DE VARIACIÓN:		CV: 1.02%

CONCRETO CON ADICIÓN DEL 5% DE PARTÍCULAS DE CRT A LOS 28 DÍAS

1. DATOS.

Muestra	f'c
K7	444.1
K7	447.3
K7	436.1

2. CÁLCULOS.

Número de muestras:	N: 3		
	Xmax: 447.3		$Rx = Xmax - Xmin$
	Xmin: 436.1		$K = 1 + 3.322 \text{ Log } (n)$
Rango de datos:	Rx: 11.2		$C = Rx/K$
Número de intervalos de clase:	K: 2.585 = 3		$Rx' = K.C$
Ancho de clase (Amplitud):	C: 4.333 = 4		$Li = Xmin$
Rango de datos (Corregido):	Rx': 12		$Ls = Li + Rx'$
Alcance de datos:	Li: 436.1		
	Ls: 448.1		

3. TABLA DE FRECUENCIAS.

Intervalo	Xi	fi	Fi	Xi.fi	Xi-u	(Xi-u)^2	fi.(Xi-u)^2
[436.1 - 440.1 >	438.1	1	1	438.1	-5.3	28	28
[440.1 - 444.1 >	442.1	0	1	0	-1.3	2	0
[444.1 - 448.1 >	446.1	2	3	892	2.7	7	14
		3		1330.3		37	43

4. MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL.

MEDIA:	u: 443.4
MEDIANA (Me):	Li: 444.1
	Ci: 4
	fi: 2
	Fi-1: 1
	Me: 445.1
MODA (Mo):	Li: 444.1
	ti: 4
	fi: 2
	fi-1: 0
	fi+1: 0
	Mo: 446.1
VARIANZA:	σ^2 : 21
DESVIACIÓN ESTANDAR:	σ : 4.6
COEFICIENTE DE VARIACIÓN:	CV: 1.04%

CONCRETO CON ADICIÓN DEL 10% DE PARTÍCULAS DE CRT A LOS 7 DÍAS

1. DATOS.

Muestra	f _c
K8	331.9
K8	321.3
K8	324.0

2. CÁLCULOS.

Número de muestras:	N: 3	
	X _{max} : 331.9	
	X _{min} : 321.3	$R_x = X_{max} - X_{min}$
Rango de datos:	R _x : 10.6	$K = 1 + 3.322 \text{ Log } (n)$
Número de intervalos de clase:	K: 2.585 = 3	$C = R_x / K$
Ancho de clase (Amplitud):	C: 4.101 = 4	$R_x' = K \cdot C$
Rango de datos (Corregido):	R _{x'} : 12	$L_i = X_{min}$
Alcance de datos:	L _i : 321.3	$L_s = L_i + R_x'$
	L _s : 333.3	

3. TABLA DE FRECUENCIAS.

Intervalo	X _i	f _i	F _i	X _i .f _i	X _i -u	(X _i -u) ²	f _i .(X _i -u) ²
[321.3 - 325.3 >	323.3	2	2	646.6	-2.7	7	14
[325.3 - 329.3 >	327.3	0	2	0	1.3	2	0
[329.3 - 333.3 >	331.3	1	3	331	5.3	28	28
		3		977.9		37	43

4. MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL.

MEDIA:		u: 326.0
MEDIANA (Me):	$Me = L_i + \frac{\frac{N}{2} - F_{i-1}}{f_i} \cdot C_i$	L _i : 325.3
		C _i : 4
		f _i : 0
		F _{i-1} : 2
		Me: 325.3
MODA (Mo):	$Mo = L_i + \frac{f_i - f_{i-1}}{(f_i - f_{i-1}) + (f_i - f_{i+1})} \cdot t_i$	L _i : 321.3
		t _i : 4
		f _i : 2
		f _{i-1} : 0
		f _{i+1} : 0
	Mo: 323.3	
VARIANZA:		σ ² : 21
DESVIACIÓN ESTANDAR:	$\sigma^2 = \frac{\sum (X_i - \mu)^2 \cdot f_i}{N - 1}$	σ: 4.6
COEFICIENTE DE VARIACIÓN:		CV: 1.42%

CONCRETO CON ADICIÓN DEL 10% DE PARTÍCULAS DE CRT A LOS 14 DÍAS

1. DATOS.

Muestra	f'c
K8	380.7
K8	361.5
K8	375.3

2. CÁLCULOS.

Número de muestras:	N: 3	
	Xmax: 380.7	
	Xmin: 361.5	$Rx = Xmax - Xmin$
Rango de datos:	Rx: 19.2	$K = 1 + 3.322 \text{ Log } (n)$
Número de intervalos de clase:	K: 2.585 = 3	$C = Rx/K$
Ancho de clase (Amplitud):	C: 7.427 = 7	$Rx' = K.C$
Rango de datos (Corregido):	Rx': 21	$Li = Xmin$
Alcance de datos:	Li: 361.5	$Ls = Li + Rx'$
	Ls: 382.5	

3. TABLA DE FRECUENCIAS.

Intervalo	Xi	fi	Fi	Xi.fi	Xi-u	(Xi-u) ²	fi.(Xi-u) ²
[361.5 - 368.5 >	365.0	1	1	365	-7.0	49	49
[368.5 - 375.5 >	372.0	1	2	372	0.0	0	0
[375.5 - 382.5 >	379.0	1	3	379	7.0	49	49
		3		1116		98	98

4. MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL.

MEDIA:		u: 372.0
MEDIANA (Me):		L _i : 368.5
		C _i : 7
		f _i : 1
		F _{i-1} : 1
		Me: 372.0
MODA (Mo):		L _i : 375.5
		t _i : 7
		f _i : 1
		f _{i-1} : 1
		f _{i+1} : 0
		Mo: 375.5
VARIANZA:		σ ² : 49
DESVIACIÓN ESTANDAR:	$\sigma^2 = \frac{\sum(X_i - \mu)^2 \cdot f_i}{N - 1}$	σ: 7.0
COEFICIENTE DE VARIACIÓN:		CV: 1.88%

CONCRETO CON ADICIÓN DEL 10% DE PARTÍCULAS DE CRT A LOS 28 DÍAS

1. DATOS.

Muestra	f _c
K8	382.2
K8	390.2
K8	392.1

2. CÁLCULOS.

Número de muestras:	N: 3	
	X _{max} : 392.1	
	X _{min} : 382.2	$R_x = X_{max} - X_{min}$
Rango de datos:	R _x : 9.9	$K = 1 + 3.322 \log(n)$
Número de intervalos de clase:	K: 2.585 = 3	$C = R_x / K$
Ancho de clase (Amplitud):	C: 3.830 = 4	$R_x' = K \cdot C$
Rango de datos (Corregido):	R _{x'} : 12	$L_i = X_{min}$
Alcance de datos:	L _i : 382.2	$L_s = L_i + R_x'$
	L _s : 394.2	

3. TABLA DE FRECUENCIAS.

Intervalo	X _i	f _i	F _i	X _i ·f _i	X _i -u	(X _i -u) ²	f _i ·(X _i -u) ²
[382.2 - 386.2 >	384.2	1	1	384.2	-5.3	28	28
[386.2 - 390.2 >	388.2	0	1	0	-1.3	2	0
[390.2 - 394.2 >	392.2	2	3	784	2.7	7	14
		3		1168.6		37	43

4. MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL.

MEDIA:		u: 389.5
MEDIANA (Me):	$Me = L_i + \frac{\frac{N}{2} - F_{i-1}}{f_i} \cdot C_i$	L _i : 390.2
		C _i : 4
		f _i : 2
		F _{i-1} : 1
		Me: 391.2
MODA (M _o):	$M_o = L_i + \frac{f_i - f_{i-1}}{(f_i - f_{i-1}) + (f_i - f_{i+1})} \cdot t_i$	L _i : 390.2
		t _i : 4
		f _i : 2
		f _{i-1} : 0
		f _{i+1} : 0
	M _o : 392.2	
VARIANZA:		σ ² : 21
DESVIACIÓN ESTANDAR:	$\sigma^2 = \frac{\sum (X_i - \mu)^2 \cdot f_i}{N - 1}$	σ: 4.6
COEFICIENTE DE VARIACIÓN:		CV: 1.19%

CONCRETO CON ADICIÓN DEL 15% DE PARTÍCULAS DE CRT A LOS 7 DÍAS

1. DATOS.

Muestra	f'c
K9	299.4
K9	286.6
K9	276.4

2. CÁLCULOS.

Número de muestras:	N: 3	
	Xmax: 299.4	
	Xmin: 276.4	$Rx = Xmax - Xmin$
Rango de datos:	Rx: 23.0	$K = 1 + 3.322 \text{ Log } (n)$
Número de intervalos de clase:	K: 2.585 = 3	$C = Rx/K$
Ancho de clase (Amplitud):	C: 8.897 = 9	$Rx' = K.C$
Rango de datos (Corregido):	Rx': 27	$Li = Xmin$
Alcance de datos:	Li: 276.4	$Ls = Li + Rx'$
	Ls: 303.4	

3. TABLA DE FRECUENCIAS.

Intervalo	Xi	fi	Fi	Xi.fi	Xi-u	(Xi-u)^2	fi.(Xi-u)^2
[276.4 - 285.4 >	280.9	1	1	280.9	-9.0	81	81
[285.4 - 294.4 >	289.9	1	2	289.9	0.0	0	0
[294.4 - 303.4 >	298.9	1	3	299	9.0	81	81
		3		869.7		162	162

4. MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL.

MEDIA:		u:	289.9
MEDIANA (Me):		L_i :	385.4
		C_i :	9
	$Me = L_i + \frac{\frac{N}{2} - F_{i-1}}{f_i} \cdot C_i$	f_i :	1
		F_{i-1} :	1
		Me:	389.9
MODA (Mo):		L_i :	294.4
		t_i :	9
		f_i :	1
	$Mo = L_i + \frac{f_i - f_{i-1}}{(f_i - f_{i-1}) + (f_i - f_{i+1})} \cdot t_i$	f_{i-1} :	1
		f_{i+1} :	0
		Mo:	294.4
VARIANZA:		σ^2 :	81
DESVIACIÓN ESTANDAR:	$\sigma^2 = \frac{\sum(X_i - \mu)^2 \cdot f_i}{N - 1}$	σ :	9.0
COEFICIENTE DE VARIACIÓN:		CV:	3.10%

CONCRETO CON ADICIÓN DEL 15% DE PARTÍCULAS DE CRT A LOS 14 DÍAS

1. DATOS.

Muestra	f _c
K9	299.3
K9	275.8
K9	314.7

2. CÁLCULOS.

Número de muestras:	N: 3	
	X _{max} : 314.7	
	X _{min} : 275.8	$Rx = X_{max} - X_{min}$
Rango de datos:	Rx: 38.9	$K = 1 + 3.322 \log(n)$
Número de intervalos de clase:	K: 2.585 = 3	$C = Rx/K$
Ancho de clase (Amplitud):	C: 15.048 = 15	$Rx' = K.C$
Rango de datos (Corregido):	Rx': 45	$Li = X_{min}$
Alcance de datos:	Li: 275.8	$Ls = Li + Rx'$
	Ls: 320.8	

3. TABLA DE FRECUENCIAS.

Intervalo	Xi	fi	Fi	Xi.fi	Xi-u	(Xi-u) ²	fi.(Xi-u) ²
[275.8 - 290.8 >	283.3	1	1	283.3	-15.0	225	225
[290.8 - 305.8 >	298.3	1	2	298.3	0.0	0	0
[305.8 - 320.8 >	313.3	1	3	313	15.0	225	225
		3		894.9		450	450

4. MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL.

MEDIA:		u:	298.3
MEDIANA (Me):	$Me = L_i + \frac{\frac{N}{2} - F_{i-1}}{f_i} \cdot C_i$	L _i :	290.8
		C _i :	15
		f _i :	1
		F _{i-1} :	1
		Me:	298.3
MODA (Mo):	$Mo = L_i + \frac{f_i - f_{i-1}}{(f_i - f_{i-1}) + (f_i - f_{i+1})} \cdot t_i$	L _i :	305.8
		t _i :	15
		f _i :	1
		f _{i-1} :	1
		f _{i+1} :	0
		Mo:	305.8
VARIANZA:		σ ² :	225
DESVIACIÓN ESTANDAR:	$\sigma^2 = \frac{\sum (X_i - \mu)^2 \cdot f_i}{N - 1}$	σ:	15.0
COEFICIENTE DE VARIACIÓN:		CV:	5.03%

CONCRETO CON ADICIÓN DEL 15% DE PARTÍCULAS DE CRT A LOS 28 DÍAS

1. DATOS.

Muestra	f'c
K9	329.9
K9	322.8
K9	326.0

2. CÁLCULOS.

Número de muestras:	N: 3	
	Xmax: 329.9	
	Xmin: 322.8	$Rx = Xmax - Xmin$
Rango de datos:	Rx: 7.1	$K = 1 + 3.322 \text{ Log } (n)$
Número de intervalos de clase:	K: 2.585 = 3	$C = Rx/K$
Ancho de clase (Amplitud):	C: 2.747 = 3	$Rx' = K.C$
Rango de datos (Corregido):	Rx': 9	$Li = Xmin$
Alcance de datos:	Li: 322.8	$Ls = Li + Rx'$
	Ls: 331.8	

3. TABLA DE FRECUENCIAS.

Intervalo	Xi	fi	Fi	Xi.fi	Xi-u	(Xi-u)^2	fi.(Xi-u)^2
[322.8 - 325.8 >	324.3	1	1	324.3	-3.0	9	9
[325.8 - 328.8 >	327.3	1	2	327.3	0.0	0	0
[328.8 - 331.8 >	330.3	1	3	330	3.0	9	9
	3			981.9		18	18

4. MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL.

MEDIA:	u: 327.3
MEDIANA (Me):	Li: 325.8
	Ci: 3
	fi: 1
	Fi-1: 1
	Me: 327.3
MODA (Mo):	Li: 328.8
	ti: 3
	fi: 1
	fi-1: 1
	fi+1: 0
	Mo: 328.8
VARIANZA:	σ^2 : 9
DESVIACIÓN ESTANDAR:	σ : 3.0
COEFICIENTE DE VARIACIÓN:	CV: 0.92%

3.7 Validación de datos para el ensayo de resistencia a la flexión.

CONCRETO DE CONTROL A LOS 28 DÍAS

1. DATOS.

Muestra	f _c
K1	70.0
K1	72.9
K1	77.9

2. CÁLCULOS.

Número de muestras:	N: 3	
	Xmax: 77.9	
	Xmin: 70	$Rx = Xmax - Xmin$
Rango de datos:	Rx: 7.9	$K = 1 + 3.322 \text{ Log } (n)$
Número de intervalos de clase:	K: 2.585 = 3	$C = Rx/K$
Ancho de clase (Amplitud):	C: 3.056 = 3	$Rx' = K \cdot C$
Rango de datos (Corregido):	Rx': 9	$Li = Xmin$
Alcance de datos:	Li: 70	$Ls = Li + Rx'$
	Ls: 79.0	

3. TABLA DE FRECUENCIAS.

Intervalo	Xi	fi	Fi	Xi.fi	Xi-u	(Xi-u) ²	fi.(Xi-u) ²
[70.0 - 73.0 >	71.5	2	2	143	-2.0	4	8
[73.0 - 76.0 >	74.5	0	2	0	1.0	1	0
[76.0 - 79.0 >	77.5	1	3	77.5	4.0	16	16
		3		220.5		21	24

4. MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL.

MEDIA:		u:	73.5
MEDIANA (Me):		L _i :	73.0
		C _i :	3
		f _i :	0
		F _{i-1} :	2
		Me:	73.0
	$Me = L_i + \frac{\frac{N}{2} - F_{i-1}}{f_i} \cdot C_i$		
MODA (Mo):		L _i :	70
		t _i :	3
		f _i :	2
		f _{i-1} :	0
		f _{i+1} :	0
		Mo:	71.5
	$Mo = L_i + \frac{f_i - f_{i-1}}{(f_i - f_{i-1}) + (f_i - f_{i+1})} \cdot t_i$		
VARIANZA:		σ ² :	12
DESVIACIÓN ESTANDAR:		σ:	3.5
COEFICIENTE DE VARIACIÓN:		CV:	4.71%
	$\sigma^2 = \frac{\sum (X_i - \mu)^2 \cdot f_i}{N - 1}$		

CONCRETO CON ADICIÓN DEL 5% DE PARTÍCULAS DE CR A LOS 28 DÍAS

1. DATOS.

Muestra	f _c
K2	72.0
K2	60.4
K2	61.4

2. CÁLCULOS.

Número de muestras:	N: 3		
	Xmax: 72.0		
	Xmin: 60.4		$Rx = Xmax - Xmin$
Rango de datos:	Rx: 11.6		$K = 1 + 3.322 \text{ Log } (n)$
Número de intervalos de clase:	K: 2.585 = 3		$C = Rx/K$
Ancho de clase (Amplitud):	C: 4.487 = 4		$Rx' = K.C$
Rango de datos (Corregido):	Rx': 12		$Li = Xmin$
Alcance de datos:	Li: 60.4		$Ls = Li + Rx'$
	Ls: 72.4		

3. TABLA DE FRECUENCIAS.

Intervalo	Xi	fi	Fi	Xi.fi	Xi-u	(Xi-u) ²	fi.(Xi-u) ²
[60.4 - 64.4 >	62.4	2	2	124.8	-2.7	7	14
[64.4 - 68.4 >	66.4	0	2	0	1.3	2	0
[68.4 - 72.4 >	70.4	1	3	70	5.3	28	28
		3		195.2		37	43

4. MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL.

MEDIA:		u:	65.1
MEDIANA (Me):		L _i :	64.4
		C _i :	4
	$Me = L_i + \frac{\frac{N}{2} - F_{i-1}}{f_i} \cdot C_i$	f _i :	0
		F _{i-1} :	2
		Me:	64.4
MODA (Mo):		L _i :	60.4
		t _i :	4
	$Mo = L_i + \frac{f_i - f_{i-1}}{(f_i - f_{i-1}) + (f_i - f_{i+1})} \cdot t_i$	f _i :	2
		f _{i-1} :	0
		f _{i+1} :	0
		Mo:	62.4
VARIANZA:		σ ² :	21
DESVIACIÓN ESTANDAR:	$\sigma^2 = \frac{\sum (X_i - \mu)^2 \cdot f_i}{N - 1}$	σ:	4.6
COEFICIENTE DE VARIACIÓN:		CV:	7.10%

CONCRETO CON ADICIÓN DEL 10% DE PARTÍCULAS DE CR A LOS 28 DÍAS

1. DATOS.

Muestra	f'c
K3	56.5
K3	64.7
K3	65.8

2. CÁLCULOS.

Número de muestras:	N: 3		
	Xmax: 65.8		
	Xmin: 56.5		$Rx = Xmax - Xmin$
Rango de datos:	Rx: 9.3		$K = 1 + 3.322 \text{ Log } (n)$
Número de intervalos de clase:	K: 2.585 = 3		$C = Rx/K$
Ancho de clase (Amplitud):	C: 3.598 = 4		$Rx' = K.C$
Rango de datos (Corregido):	Rx': 12		$Li = Xmin$
Alcance de datos:	Li: 56.5		$Ls = Li + Rx'$
	Ls: 68.5		

3. TABLA DE FRECUENCIAS.

Intervalo	Xi	fi	Fi	Xi.fi	Xi-u	(Xi-u)^2	fi.(Xi-u)^2
[56.5 - 60.5 >	58.5	1	1	58.5	-5.3	28	28
[60.5 - 64.5 >	62.5	0	1	0	-1.3	2	0
[64.5 - 68.5 >	66.5	2	3	133	2.7	7	14
		3		191.5		37	43

4. MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL.

MEDIA:		u:	63.8
MEDIANA (Me):		L _i :	64.5
		C _i :	4
		f _i :	2
		F _{i-1} :	1
		Me:	65.5
	$Me = L_i + \frac{\frac{N}{2} - F_{i-1}}{f_i} \cdot C_i$		
MODA (Mo):		L _i :	64.5
		t _i :	4
		f _i :	2
		f _{i-1} :	0
		f _{i+1} :	0
		Mo:	66.5
	$Mo = L_i + \frac{f_i - f_{i-1}}{(f_i - f_{i-1}) + (f_i - f_{i+1})} \cdot t_i$		
VARIANZA:		σ ² :	21
DESVIACIÓN ESTANDAR:		σ:	4.6
COEFICIENTE DE VARIACIÓN:		CV:	7.24%
	$\sigma^2 = \frac{\sum (X_i - \mu)^2 \cdot f_i}{N - 1}$		

CONCRETO CON ADICIÓN DEL 15% DE PARTÍCULAS DE CR A LOS 28 DÍAS

1. DATOS.

Muestra	f _c
K4	58.2
K4	67.4
K4	56.4

2. CÁLCULOS.

Número de muestras:	N: 3	
	Xmax: 67.4	
	Xmin: 56.4	$Rx = Xmax - Xmin$
Rango de datos:	Rx: 11.0	$K = 1 + 3.322 \text{ Log } (n)$
Número de intervalos de clase:	K: 2.585 = 3	$C = Rx/K$
Ancho de clase (Amplitud):	C: 4.255 = 4	$Rx' = K.C$
Rango de datos (Corregido):	Rx': 12	$Li = Xmin$
Alcance de datos:	Li: 56.4	$Ls = Li + Rx'$
	Ls: 68.4	

3. TABLA DE FRECUENCIAS.

Intervalo	Xi	fi	Fi	Xi.fi	Xi-u	(Xi-u) ²	fi.(Xi-u) ²
[56.4 - 60.4 >	58.4	2	2	116.8	-2.7	7	14
[60.4 - 64.4 >	62.4	0	2	0	1.3	2	0
[64.4 - 68.4 >	66.4	1	3	66	5.3	28	28
		3		183.2		37	43

4. MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL.

MEDIA:		u:	61.1
MEDIANA (Me):	$Me = L_i + \frac{\frac{N}{2} - F_{i-1}}{f_i} \cdot C_i$	L _i :	60.4
		C _i :	4
		f _i :	0
		F _{i-1} :	2
		Me:	60.4
MODA (Mo):	$Mo = L_i + \frac{f_i - f_{i-1}}{(f_i - f_{i-1}) + (f_i - f_{i+1})} \cdot t_i$	L _i :	56.4
		t _i :	4
		f _i :	2
		f _{i-1} :	0
		f _{i+1} :	0
	Mo:	58.4	
VARIANZA:		σ ² :	21
DESVIACIÓN ESTANDAR:	$\sigma^2 = \frac{\sum (X_i - \mu)^2 \cdot f_i}{N - 1}$	σ:	4.6
COEFICIENTE DE VARIACIÓN:		CV:	7.56%

CONCRETO CON ADICIÓN DEL 5% DE PARTÍCULAS DE CRT A LOS 28 DÍAS

1. DATOS.

Muestra	f'c
K7	77.7
K7	67.4
K7	62.4

2. CÁLCULOS.

Número de muestras:	N: 3	
	Xmax: 77.7	
	Xmin: 62.4	$Rx = Xmax - Xmin$
Rango de datos:	Rx: 15.3	$K = 1 + 3.322 \text{ Log } (n)$
Número de intervalos de clase:	K: 2.585 = 3	$C = Rx/K$
Ancho de clase (Amplitud):	C: 5.919 = 6	$Rx' = K.C$
Rango de datos (Corregido):	Rx': 18	$Li = Xmin$
Alcance de datos:	Li: 62.4	$Ls = Li + Rx'$
	Ls: 80.4	

3. TABLA DE FRECUENCIAS.

Intervalo	Xi	fi	Fi	Xi.fi	Xi-u	(Xi-u) ²	fi.(Xi-u) ²
[62.4 - 68.4 >	65.4	2	2	130.8	-4.0	16	32
[68.4 - 74.4 >	71.4	0	2	0	2.0	4	0
[74.4 - 80.4 >	77.4	1	3	77	8.0	64	64
		3		208.2		84	96

4. MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL.

MEDIA:		u:	69.4
MEDIANA (Me):		Li:	68.4
		Ci:	6
		fi:	0
		Fi-1:	2
		Me:	68.4
	$Me = Li + \frac{\frac{N}{2} - Fi-1}{fi} \cdot Ci$		
MODA (Mo):		Li:	62.4
		ti:	6
		fi:	2
		fi-1:	0
		fi+1:	0
		Mo:	65.4
	$Mo = Li + \frac{fi - fi-1}{(fi - fi-1) + (fi - fi+1)} \cdot ti$		
VARIANZA:		σ^2 :	48
DESVIACIÓN ESTANDAR:		σ :	6.9
COEFICIENTE DE VARIACIÓN:		CV:	9.98%
	$\sigma^2 = \frac{\sum (Xi - \mu)^2 \cdot fi}{N - 1}$		

CONCRETO CON ADICIÓN DEL 10% DE PARTÍCULAS DE CRT A LOS 28 DÍAS

1. DATOS.

Muestra	f _c
K8	65.2
K8	59.8
K8	67.0

2. CÁLCULOS.

Número de muestras:	N: 3	
	X _{max} : 67.0	
	X _{min} : 59.8	$Rx = X_{max} - X_{min}$
Rango de datos:	Rx: 7.2	$K = 1 + 3.322 \text{ Log } (n)$
Número de intervalos de clase:	K: 2.585 = 3	$C = Rx/K$
Ancho de clase (Amplitud):	C: 2.785 = 3	$Rx' = K.C$
Rango de datos (Corregido):	Rx': 9	$Li = X_{min}$
Alcance de datos:	Li: 59.8	$Ls = Li + Rx'$
	Ls: 68.8	

3. TABLA DE FRECUENCIAS.

Intervalo	X _i	f _i	F _i	X _i .f _i	X _i -u	(X _i -u) ²	f _i .(X _i -u) ²
[59.8 - 62.8 >	61.3	1	1	61.3	-3.0	9	9
[62.8 - 65.8 >	64.3	1	2	64.3	0.0	0	0
[65.8 - 68.8 >	67.3	1	3	67	3.0	9	9
		3		192.9		18	18

4. MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL.

MEDIA:		u: 64.3
MEDIANA (Me):	$Me = L_i + \frac{\frac{N}{2} - F_{i-1}}{f_i} \cdot C_i$	L _i : 62.8
		C _i : 3
		f _i : 1
		F _{i-1} : 1
		Me: 64.3
MODA (Mo):	$Mo = L_i + \frac{f_i - f_{i-1}}{(f_i - f_{i-1}) + (f_i - f_{i+1})} \cdot t_i$	L _i : 65.8
		t _i : 3
		f _i : 1
		f _{i-1} : 1
		f _{i+1} : 0
	Mo: 65.8	
VARIANZA:		σ ² : 9
DESVIACIÓN ESTANDAR:	$\sigma^2 = \frac{\sum (X_i - \mu)^2 \cdot f_i}{N - 1}$	σ: 3.0
COEFICIENTE DE VARIACIÓN:		CV: 4.67%

CONCRETO CON ADICIÓN DEL 15% DE PARTÍCULAS DE CRT A LOS 28 DÍAS

1. DATOS.

Muestra	f'c
K9	58.1
K9	57.0
K9	61.7

2. CÁLCULOS.

Número de muestras:	N: 3	
	Xmax: 61.7	
	Xmin: 57.0	$Rx = Xmax - Xmin$
Rango de datos:	Rx: 4.7	$K = 1 + 3.322 \text{ Log } (n)$
Número de intervalos de clase:	K: 2.585 = 3	$C = Rx/K$
Ancho de clase (Amplitud):	C: 1.818 = 2	$Rx' = K.C$
Rango de datos (Corregido):	Rx': 6	$Li = Xmin$
Alcance de datos:	Li: 57	$Ls = Li + Rx'$
	Ls: 63.0	

3. TABLA DE FRECUENCIAS.

Intervalo	Xi	fi	Fi	Xi.fi	Xi-u	(Xi-u) ²	fi.(Xi-u) ²
[57.0 - 59.0 >	58.0	2	2	116	-1.3	2	4
[59.0 - 61.0 >	60.0	0	2	0	0.7	0	0
[61.0 - 63.0 >	62.0	1	3	62	2.7	7	7
		3		178		9	11

4. MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL.

MEDIA:		u:	59.3
MEDIANA (Me):	$Me = L_i + \frac{\frac{N}{2} - F_{i-1}}{f_i} \cdot C_i$	L _i :	59.0
		C _i :	2
		f _i :	0
		F _{i-1} :	2
		Me:	59.0
MODA (Mo):	$Mo = L_i + \frac{f_i - f_{i-1}}{(f_i - f_{i-1}) + (f_i - f_{i+1})} \cdot t_i$	L _i :	57
		t _i :	2
		f _i :	2
		f _{i-1} :	0
		f _{i+1} :	0
		Mo:	58
VARIANZA:		σ ² :	5
DESVIACIÓN ESTANDAR:	$\sigma^2 = \frac{\sum (X_i - \mu)^2 \cdot f_i}{N - 1}$	σ:	2.3
COEFICIENTE DE VARIACIÓN:		CV:	3.89%

3.8 Prueba de hipótesis para el ensayo de resistencia a la compresión.

PRUEBA DE HIPÓTESIS CON EL ESTADÍSTICO T-STUDENT A LOS 7 DÍAS (K1 VS K2)

1. DATOS

K1	K2		K1	K2
376.8	348.2	Número de muestra (N):	3	3
378.0	359.1	Media aritmética (u):	375.2	354.2
370.7	355.2	Varianza (σ^2):	12	16

2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.

u_1 : media aritmética del grupo 1

u_2 : media aritmética del grupo 2

HIPÓTESIS NULA.

$$H_0: u_1 \geq u_2$$

La adición de CR en 5% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 7 días.

HIPÓTESIS ALTERNATIVA.

$$H_1: u_1 < u_2$$

La adición de CR en 5% de reemplazo parcial por agregado fino influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 7 días.

3. NIVEL DE SIGNIFICANCIA.

$$\alpha: 0.05$$

4. GRADOS DE LIBERTAD.

$$g.l: 4$$

$$g.l = n_1 + n_2 - 2$$

5. VALOR DE "t" EN TABLAS.

$$t_c: -2.131$$

6. PRUEBA ESTADÍSTICA "t".

u_1 :	375.2	n_1 :	3
u_2 :	354.2	n_2 :	3
σ_p^2 :	14		
t_o :	6.874		

$$t_o = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\sigma_p^2 \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

$$t_o = 6.874 > t_c = -2.131$$

7. CONCLUSIÓN.

Se rechaza: H_1 por tanto Se acepta: H_0

La adición de CR en 5% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 7 días.

PRUEBA DE HIPÓTESIS CON EL ESTADÍSTICO T-STUDENT A LOS 14 DÍAS (K1 VS K2)

1. DATOS

K1	K2		K1	K2
410.3	398.5		Número de muestra (N):	3
414.4	395.4		Media aritmética (u):	412.9
414.0	390.7		Varianza (σ^2):	5

2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.

u_1 : media aritmética del grupo 1

u_2 : media aritmética del grupo 2

HIPÓTESIS NULA.

$$H_0: u_1 \geq u_2$$

La adición de CR en 5% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 14 días.

HIPÓTESIS ALTERNATIVA.

$$H_1: u_1 < u_2$$

La adición de CR en 5% de reemplazo parcial por agregado fino influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 14 días.

3. NIVEL DE SIGNIFICANCIA.

$$\alpha: 0.05$$

4. GRADOS DE LIBERTAD.

$$g.l: 4$$

$$g.l = n_1 + n_2 - 2$$

5. VALOR DE "t" EN TABLAS.

$$t_c: -2.131$$

6. PRUEBA ESTADÍSTICA "t".

$$\begin{aligned} u_1: & 412.9 \\ u_2: & 394.9 \\ \sigma_p^2: & 7 \\ t_o: & 8.348 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_1: & 3 \\ n_2: & 3 \end{aligned}$$

$$t_o = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\sigma_p^2 \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

$$t_o = 8.348 > t_c = -2.131$$

7. CONCLUSIÓN.

Se rechaza: H_1 por tanto Se acepta: H_0

La adición de CR en 5% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 14 días.

PRUEBA DE HIPÓTESIS CON EL ESTADÍSTICO T-STUDENT A LOS 28 DÍAS (K1 VS K2)

1. DATOS

K1	K2		K1	K2
458.3	429.2	Número de muestra (N):	3	3
460.2	424.3	Media aritmética (u):	460.9	424.6
464.1	420.2	Varianza (σ^2):	5	9

2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.

u_1 : media aritmética del grupo 1

u_2 : media aritmética del grupo 2

HIPÓTESIS NULA.

$$H_0: u_1 \geq u_2$$

La adición de CR en 5% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 28 días.

HIPÓTESIS ALTERNATIVA.

$$H_1: u_1 < u_2$$

La adición de CR en 5% de reemplazo parcial por agregado fino influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 28 días.

3. NIVEL DE SIGNIFICANCIA.

$$\alpha: 0.05$$

4. GRADOS DE LIBERTAD.

$$g.l: 4$$

$$g.l = n_1 + n_2 - 2$$

5. VALOR DE "t" EN TABLAS.

$$t_c: -2.131$$

6. PRUEBA ESTADÍSTICA "t".

$$\begin{aligned} u_1: & 460.9 \\ u_2: & 424.6 \\ \sigma_p^2: & 7 \\ t_o: & 16.804 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_1: & 3 \\ n_2: & 3 \end{aligned}$$

$$t_o = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\sigma_p^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

$$t_o = 16.804 > t_c = -2.131$$

7. CONCLUSIÓN.

Se rechaza: H_1 por tanto Se acepta: H_0

La adición de CR en 5% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 28 días.

PRUEBA DE HIPÓTESIS CON EL ESTADÍSTICO T-STUDENT A LOS 7 DÍAS (K1 VS K3)

1. DATOS

K1	K3		K1	K3
376.8	323.4			
378.0	320.1	Número de muestra (N):	3	3
370.7	327.7	Media aritmética (u):	375.2	323.7
		Varianza (σ^2):	12	9

2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.

u_1 : media aritmética del grupo 1

u_2 : media aritmética del grupo 2

HIPÓTESIS NULA.

$$H_0: u_1 \geq u_2$$

La adición de CR en 10% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 7 días.

HIPÓTESIS ALTERNATIVA.

$$H_1: u_1 < u_2$$

La adición de CR en 10% de reemplazo parcial por agregado fino influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 7 días.

3. NIVEL DE SIGNIFICANCIA.

$$\alpha: 0.05$$

4. GRADOS DE LIBERTAD.

$$g.l: 4$$

$$g.l = n_1 + n_2 - 2$$

5. VALOR DE "t" EN TABLAS.

$$t_c: -2.131$$

6. PRUEBA ESTADÍSTICA "t".

$$\begin{array}{ll} u_1: & 375.2 \\ u_2: & 323.7 \\ \sigma_p^2: & 11 \\ t_o: & 19.440 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} n_1: & 3 \\ n_2: & 3 \end{array}$$

$$t_o = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\sigma_p^2 \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

$$t_o = 19.440 > t_c = -2.131$$

7. CONCLUSIÓN.

Se rechaza: H_1 por tanto Se acepta: H_0

La adición de CR en 10% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 7 días.

PRUEBA DE HIPÓTESIS CON EL ESTADÍSTICO T-STUDENT A LOS 14 DÍAS (K1 VS K3)

1. DATOS

K1	K3		K1	K3
410.3	366.7			
414.4	377.7	Número de muestra (N):	3	3
414.0	365.3	Media aritmética (u):	412.9	369.9
		Varianza (σ^2):	5	33

2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.

u_1 : media aritmética del grupo 1

u_2 : media aritmética del grupo 2

HIPÓTESIS NULA.

$$H_0: u_1 \geq u_2$$

La adición de CR en 10% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 14 días.

HIPÓTESIS ALTERNATIVA.

$$H_1: u_1 < u_2$$

La adición de CR en 10% de reemplazo parcial por agregado fino influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 14 días.

3. NIVEL DE SIGNIFICANCIA.

$$\alpha: 0.05$$

4. GRADOS DE LIBERTAD.

$$g.l: 4$$

$$g.l = n_1 + n_2 - 2$$

5. VALOR DE "t" EN TABLAS.

$$t_c: -2.131$$

6. PRUEBA ESTADÍSTICA "t".

$$\begin{aligned} u_1: & 412.9 \\ u_2: & 369.9 \\ \sigma_p^2: & 19 \\ t_o: & 12.082 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_1: & 3 \\ n_2: & 3 \end{aligned}$$

$$t_o = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\sigma_p^2 \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

$$t_o = 12.082 > t_c = -2.131$$

7. CONCLUSIÓN.

Se rechaza: H_1 por tanto Se acepta: H_0

La adición de CR en 10% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 14 días.

PRUEBA DE HIPÓTESIS CON EL ESTADÍSTICO T-STUDENT A LOS 28 DÍAS (K1 VS K3)

1. DATOS

K1	K3		K1	K3
458.3	377.7	Número de muestra (N):	3	3
460.2	395.7	Media aritmética (u):	460.9	384.1
464.1	378.9	Varianza (σ^2):	5	65

2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.

u_1 : media aritmética del grupo 1

u_2 : media aritmética del grupo 2

HIPÓTESIS NULA.

$$H_0: u_1 \geq u_2$$

La adición de CR en 10% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 28 días.

HIPÓTESIS ALTERNATIVA.

$$H_1: u_1 < u_2$$

La adición de CR en 10% de reemplazo parcial por agregado fino influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 28 días.

3. NIVEL DE SIGNIFICANCIA.

$$\alpha: 0.05$$

4. GRADOS DE LIBERTAD.

$$g.l: 4$$

$$g.l = n_1 + n_2 - 2$$

5. VALOR DE "t" EN TABLAS.

$$t_c: -2.131$$

6. PRUEBA ESTADÍSTICA "t".

u_1 :	460.9	n_1 :	3
u_2 :	384.1	n_2 :	3
σ_p^2 :	35		
t_o :	15.892		

$$t_o = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\sigma_p^2 \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

$$t_o = 15.892 > t_c = -2.131$$

7. CONCLUSIÓN.

Se rechaza: H_1 por tanto Se acepta: H_0

La adición de CR en 10% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 28 días.

PRUEBA DE HIPÓTESIS CON EL ESTADÍSTICO T-STUDENT A LOS 7 DÍAS (K1 VS K4)

1. DATOS

K1	K4		K1	K4
376.8	296.5			
378.0	295.1	Número de muestra (N):	3	3
370.7	276.5	Media aritmética (u):	375.2	289.4
		Varianza (σ^2):	12	85

2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.

u_1 : media aritmética del grupo 1

u_2 : media aritmética del grupo 2

HIPÓTESIS NULA.

$H_0: u_1 \geq u_2$

La adición de CR en 15% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 7 días.

HIPÓTESIS ALTERNATIVA.

$H_1: u_1 < u_2$

La adición de CR en 15% de reemplazo parcial por agregado fino influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 7 días.

3. NIVEL DE SIGNIFICANCIA.

α : 0.05

4. GRADOS DE LIBERTAD.

g.l: 4

$$g.l = n_1 + n_2 - 2$$

5. VALOR DE "t" EN TABLAS.

t_c : -2.131

6. PRUEBA ESTADÍSTICA "t".

u_1 : 375.2
 u_2 : 289.4
 σ_p^2 : 49
 t_o : 15.089

n_1 : 3
 n_2 : 3

$$t_o = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\sigma_p^2 \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

$$t_o = 15.089 > t_c = -2.131$$

7. CONCLUSIÓN.

Se rechaza: H_1 por tanto Se acepta: H_0

La adición de CR en 15% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 7 días.

PRUEBA DE HIPÓTESIS CON EL ESTADÍSTICO T-STUDENT A LOS 14 DÍAS (K1 VS K4)

1. DATOS

K1	K4
410.3	294.5
414.4	309.4
414.0	308.9

	K1	K4
Número de muestra (N):	3	3
Media aritmética (u):	412.9	304.3
Varianza (σ^2):	5	48

2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.

u_1 : media aritmética del grupo 1

u_2 : media aritmética del grupo 2

HIPÓTESIS NULA.

$$H_0: u_1 \geq u_2$$

La adición de CR en 15% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 14 días.

HIPÓTESIS ALTERNATIVA.

$$H_1: u_1 < u_2$$

La adición de CR en 15% de reemplazo parcial por agregado fino influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 14 días.

3. NIVEL DE SIGNIFICANCIA.

$$\alpha: 0.05$$

4. GRADOS DE LIBERTAD.

$$g.l: 4$$

$$g.l = n_1 + n_2 - 2$$

5. VALOR DE "t" EN TABLAS.

$$t_c: -2.131$$

6. PRUEBA ESTADÍSTICA "t".

$u_1:$	412.9	$n_1:$	3
$u_2:$	304.3	$n_2:$	3
$\sigma_p^2:$	27		
$t_o:$	25.846		

$$t_o = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\sigma_p^2 \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

$$t_o = 25.846 > t_c = -2.131$$

7. CONCLUSIÓN.

Se rechaza: H_1 por tanto Se acepta: H_0

La adición de CR en 15% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 14 días.

PRUEBA DE HIPÓTESIS CON EL ESTADÍSTICO T-STUDENT A LOS 28 DÍAS (K1 VS K4)

1. DATOS

K1	K4		K1	K4
458.3	321.6	Número de muestra (N):	3	3
460.2	321.1	Media aritmética (u):	460.9	319.3
464.1	315.1	Varianza (σ^2):	5	12

2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.

u_1 : media aritmética del grupo 1

u_2 : media aritmética del grupo 2

HIPÓTESIS NULA.

$$H_0: u_1 \geq u_2$$

La adición de CR en 15% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 28 días.

HIPÓTESIS ALTERNATIVA.

$$H_1: u_1 < u_2$$

La adición de CR en 15% de reemplazo parcial por agregado fino influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 28 días.

3. NIVEL DE SIGNIFICANCIA.

$$\alpha: 0.05$$

4. GRADOS DE LIBERTAD.

$$g.l: 4$$

$$g.l = n_1 + n_2 - 2$$

5. VALOR DE "t" EN TABLAS.

$$t_c: -2.131$$

6. PRUEBA ESTADÍSTICA "t".

$$u_1: 460.9$$

$$n_1: 3$$

$$u_2: 319.3$$

$$n_2: 3$$

$$\sigma_p^2: 9$$

$$t_o: 59.484$$

$$t_o = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\sigma_p^2 \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

$$t_o = 59.484 > t_c = -2.131$$

7. CONCLUSIÓN.

Se rechaza: H_1 por tanto Se acepta: H_0

La adición de CR en 15% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 28 días.

PRUEBA DE HIPÓTESIS CON EL ESTADÍSTICO T-STUDENT A LOS 7 DÍAS (K1 VS K7)

1. DATOS

K1	K7
376.8	361.6
378.0	371.6
370.7	361.8

	K1	K7
Número de muestra (N):	3	3
Media aritmética (u):	375.2	365.0
Varianza (σ^2):	12	16

2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.

u_1 : media aritmética del grupo 1

u_2 : media aritmética del grupo 2

HIPÓTESIS NULA.

$$H_0: u_1 \geq u_2$$

La adición de CRT en 5% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 7 días.

HIPÓTESIS ALTERNATIVA.

$$H_1: u_1 < u_2$$

La adición de CRT en 5% de reemplazo parcial por agregado fino influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 7 días.

3. NIVEL DE SIGNIFICANCIA.

$$\alpha: 0.05$$

4. GRADOS DE LIBERTAD.

$$g.l: 4$$

$$g.l = n_1 + n_2 - 2$$

5. VALOR DE "t" EN TABLAS.

$$t_c: -2.131$$

6. PRUEBA ESTADÍSTICA "t".

$u_1:$	375.2	$n_1:$	3
$u_2:$	365.0	$n_2:$	3
$\sigma_p^2:$	14		
$t_o:$	3.328		

$$t_o = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\sigma_p^2 \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

$$t_o = 3.328 > t_c = -2.131$$

7. CONCLUSIÓN.

Se rechaza: H_1 por tanto Se acepta: H_0

La adición de CRT en 5% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 7 días.

PRUEBA DE HIPÓTESIS CON EL ESTADÍSTICO T-STUDENT A LOS 14 DÍAS (K1 VS K7)

1. DATOS

K1	K7
410.3	386.5
414.4	396.5
414.0	393.0

	K1	K7
Número de muestra (N):	3	3
Media aritmética (u):	412.9	392.0
Varianza (σ^2):	5	16

2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.

u_1 : media aritmética del grupo 1

u_2 : media aritmética del grupo 2

HIPÓTESIS NULA.

$$H_0: u_1 \geq u_2$$

La adición de CRT en 5% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 14 días.

HIPÓTESIS ALTERNATIVA.

$$H_1: u_1 < u_2$$

La adición de CRT en 5% de reemplazo parcial por agregado fino influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 14 días.

3. NIVEL DE SIGNIFICANCIA.

$$\alpha: 0.05$$

4. GRADOS DE LIBERTAD.

$$g.l: 4$$

$$g.l = n_1 + n_2 - 2$$

5. VALOR DE "t" EN TABLAS.

$$t_c: -2.131$$

6. PRUEBA ESTADÍSTICA "t".

$u_1:$	412.9	$n_1:$	3
$u_2:$	392.0	$n_2:$	3
$\sigma_p^2:$	11		
$t_o:$	7.899		

$$t_o = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\sigma_p^2 \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

$$t_o = 7.899 > t_c = -2.131$$

7. CONCLUSIÓN.

Se rechaza: H_1 por tanto Se acepta: H_0

La adición de CRT en 5% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 14 días.

PRUEBA DE HIPÓTESIS CON EL ESTADÍSTICO T-STUDENT A LOS 28 DÍAS (K1 VS K7)

1. DATOS

K1	K7		K1	K7
458.3	444.1	Número de muestra (N):	3	3
460.2	447.3	Media aritmética (u):	460.9	442.5
464.1	436.1	Varianza (σ^2):	5	21

2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.

u_1 : media aritmética del grupo 1

u_2 : media aritmética del grupo 2

HIPÓTESIS NULA.

$$H_0: u_1 \geq u_2$$

La adición de CRT en 5% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 28 días.

HIPÓTESIS ALTERNATIVA.

$$H_1: u_1 < u_2$$

La adición de CRT en 5% de reemplazo parcial por agregado fino influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 28 días.

3. NIVEL DE SIGNIFICANCIA.

$$\alpha: 0.05$$

4. GRADOS DE LIBERTAD.

$$g.l: 4$$

$$g.l = n_1 + n_2 - 2$$

5. VALOR DE "t" EN TABLAS.

$$t_c: -2.131$$

6. PRUEBA ESTADÍSTICA "t".

$$u_1: 460.9$$

$$n_1: 3$$

$$u_2: 442.5$$

$$n_2: 3$$

$$\sigma_p^2: 13$$

$$t_o: 6.239$$

$$t_o = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\sigma_p^2 \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

$$t_o = 6.239 > t_c = -2.131$$

7. CONCLUSIÓN.

Se rechaza: H_1 por tanto Se acepta: H_0

La adición de CRT en 5% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 28 días.

PRUEBA DE HIPÓTESIS CON EL ESTADÍSTICO T-STUDENT A LOS 7 DÍAS (K1 VS K8)

1. DATOS

K1	K8
376.8	331.9
378.0	321.3
370.7	324.0

	K1	K8
Número de muestra (N):	3	3
Media aritmética (u):	375.2	325.7
Varianza (σ^2):	12	21

2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.

u_1 : media aritmética del grupo 1

u_2 : media aritmética del grupo 2

HIPÓTESIS NULA.

$$H_0: u_1 \geq u_2$$

La adición de CRT en 10% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 7 días.

HIPÓTESIS ALTERNATIVA.

$$H_1: u_1 < u_2$$

La adición de CRT en 10% de reemplazo parcial por agregado fino influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 7 días.

3. NIVEL DE SIGNIFICANCIA.

$$\alpha: 0.05$$

4. GRADOS DE LIBERTAD.

$$g.l: 4$$

$$g.l = n_1 + n_2 - 2$$

5. VALOR DE "t" EN TABLAS.

$$t_c: -2.131$$

6. PRUEBA ESTADÍSTICA "t".

$$\begin{aligned} u_1: & 375.2 \\ u_2: & 325.7 \\ \sigma_p^2: & 17 \\ t_o: & 14.905 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_1: & 3 \\ n_2: & 3 \end{aligned}$$

$$t_o = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\sigma_p^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

$$t_o = 14.905 > t_c = -2.131$$

7. CONCLUSIÓN.

Se rechaza: H_1 por tanto Se acepta: H_0

La adición de CRT en 10% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 7 días.

PRUEBA DE HIPÓTESIS CON EL ESTADÍSTICO T-STUDENT A LOS 14 DÍAS (K1 VS K8)

1. DATOS

K1	K8		K1	K8
410.3	380.7			
414.4	361.5			
414.0	375.3			
			Número de muestra (N):	3 3
			Media aritmética (u):	412.9 372.5
			Varianza (σ^2):	5 49

2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.

u_1 : media aritmética del grupo 1

u_2 : media aritmética del grupo 2

HIPÓTESIS NULA.

$$H_0: u_1 \geq u_2$$

La adición de CRT en 10% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 14 días.

HIPÓTESIS ALTERNATIVA.

$$H_1: u_1 < u_2$$

La adición de CRT en 10% de reemplazo parcial por agregado fino influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 14 días.

3. NIVEL DE SIGNIFICANCIA.

$$\alpha: 0.05$$

4. GRADOS DE LIBERTAD.

$$g.l: 4$$

$$g.l = n_1 + n_2 - 2$$

5. VALOR DE "t" EN TABLAS.

$$t_c: -2.131$$

6. PRUEBA ESTADÍSTICA "t".

$$\begin{aligned} u_1: & 412.9 \\ u_2: & 372.5 \\ \sigma_p^2: & 27 \\ t_o: & 9.522 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_1: & 3 \\ n_2: & 3 \end{aligned}$$

$$t_o = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\sigma_p^2 \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

$$t_o = 9.522 > t_c = -2.131$$

7. CONCLUSIÓN.

Se rechaza: H_1 por tanto Se acepta: H_0

La adición de CRT en 10% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 14 días.

PRUEBA DE HIPÓTESIS CON EL ESTADÍSTICO T-STUDENT A LOS 28 DÍAS (K1 VS K8)

1. DATOS

K1	K8		K1	K8
458.3	382.2	Número de muestra (N):	3	3
460.2	390.2	Media aritmética (u):	460.9	388.2
464.1	392.1	Varianza (σ^2):	5	21

2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.

u_1 : media aritmética del grupo 1

u_2 : media aritmética del grupo 2

HIPÓTESIS NULA.

$H_0: u_1 \geq u_2$

La adición de CRT en 10% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 28 días.

HIPÓTESIS ALTERNATIVA.

$H_1: u_1 < u_2$

La adición de CRT en 10% de reemplazo parcial por agregado fino influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 28 días.

3. NIVEL DE SIGNIFICANCIA.

α : 0.05

4. GRADOS DE LIBERTAD.

g.l: 4

$$g.l = n_1 + n_2 - 2$$

5. VALOR DE "t" EN TABLAS.

t_c : -2.131

6. PRUEBA ESTADÍSTICA "t".

u_1 : 460.9
 u_2 : 388.2
 σ_p^2 : 13
 t_o : 24.695

n_1 : 3
 n_2 : 3

$$t_o = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\sigma_p^2 \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

$$t_o = 24.695 > t_c = -2.131$$

7. CONCLUSIÓN.

Se rechaza: H_1 por tanto Se acepta: H_0

La adición de CRT en 10% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 28 días.

PRUEBA DE HIPÓTESIS CON EL ESTADÍSTICO T-STUDENT A LOS 7 DÍAS (K1 VS K9)

1. DATOS

K1	K9		K1	K9
376.8	299.4			
378.0	286.6	Número de muestra (N):	3	3
370.7	276.4	Media aritmética (u):	375.2	287.5
		Varianza (σ^2):	12	81

2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.

u_1 : media aritmética del grupo 1

u_2 : media aritmética del grupo 2

HIPÓTESIS NULA.

$$H_0: u_1 \geq u_2$$

La adición de CRT en 15% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 7 días.

HIPÓTESIS ALTERNATIVA.

$$H_1: u_1 < u_2$$

La adición de CRT en 15% de reemplazo parcial por agregado fino influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 7 días.

3. NIVEL DE SIGNIFICANCIA.

$$\alpha: 0.05$$

4. GRADOS DE LIBERTAD.

$$g.l: 4$$

$$g.l = n_1 + n_2 - 2$$

5. VALOR DE "t" EN TABLAS.

$$t_c: -2.131$$

6. PRUEBA ESTADÍSTICA "t".

$u_1:$	375.2	$n_1:$	3
$u_2:$	287.5	$n_2:$	3
$\sigma_p^2:$	47		
$t_o:$	15.751		

$$t_o = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\sigma_p^2 \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

$$t_o = 15.751 > t_c = -2.131$$

7. CONCLUSIÓN.

Se rechaza: H_1 por tanto Se acepta: H_0

La adición de CRT en 15% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 7 días.

PRUEBA DE HIPÓTESIS CON EL ESTADÍSTICO T-STUDENT A LOS 14 DÍAS (K1 VS K9)

1. DATOS

K1	K9		K1	K9
410.3	299.3	Número de muestra (N):	3	3
414.4	275.8	Media aritmética (u):	412.9	296.6
414.0	314.7	Varianza (σ^2):	5	225

2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.

u_1 : media aritmética del grupo 1

u_2 : media aritmética del grupo 2

HIPÓTESIS NULA.

$$H_0: u_1 \geq u_2$$

La adición de CRT en 15% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 14 días.

HIPÓTESIS ALTERNATIVA.

$$H_1: u_1 < u_2$$

La adición de CRT en 15% de reemplazo parcial por agregado fino influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 14 días.

3. NIVEL DE SIGNIFICANCIA.

$$\alpha: 0.05$$

4. GRADOS DE LIBERTAD.

$$g.l: 4$$

$$g.l = n_1 + n_2 - 2$$

5. VALOR DE "t" EN TABLAS.

$$t_c: -2.131$$

6. PRUEBA ESTADÍSTICA "t".

$$\begin{aligned} u_1: & 412.9 \\ u_2: & 296.6 \\ \sigma_p^2: & 115 \\ t_o: & 13.282 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_1: & 3 \\ n_2: & 3 \end{aligned}$$

$$t_o = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\sigma_p^2 \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

$$t_o = 13.282 > t_c = -2.131$$

7. CONCLUSIÓN.

Se rechaza: H_1 por tanto Se acepta: H_0

La adición de CRT en 15% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 14 días.

PRUEBA DE HIPÓTESIS CON EL ESTADÍSTICO T-STUDENT A LOS 28 DÍAS (K1 VS K9)

1. DATOS

K1	K9
458.3	329.9
460.2	322.8
464.1	326.0

	K1	K9
Número de muestra (N):	3	3
Media aritmética (u):	460.9	326.2
Varianza (σ^2):	5	9

2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.

u_1 : media aritmética del grupo 1

u_2 : media aritmética del grupo 2

HIPÓTESIS NULA.

$$H_0: u_1 \geq u_2$$

La adición de CRT en 15% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 28 días.

HIPÓTESIS ALTERNATIVA.

$$H_1: u_1 < u_2$$

La adición de CRT en 15% de reemplazo parcial por agregado fino influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 28 días.

3. NIVEL DE SIGNIFICANCIA.

$$\alpha: 0.05$$

4. GRADOS DE LIBERTAD.

$$g.l: 4$$

$$g.l = n_1 + n_2 - 2$$

5. VALOR DE "t" EN TABLAS.

$$t_c: -2.131$$

6. PRUEBA ESTADÍSTICA "t".

$$\begin{aligned} u_1: & 460.9 \\ u_2: & 326.2 \\ \sigma_p^2: & 7 \\ t_o: & 62.323 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_1: & 3 \\ n_2: & 3 \end{aligned}$$

$$t_o = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\sigma_p^2 \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

$$t_o = 62.323 > t_c = -2.131$$

7. CONCLUSIÓN.

Se rechaza: H_1 por tanto Se acepta: H_0

La adición de CRT en 15% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de control a los 28 días.

3.9 Prueba de hipótesis para el ensayo de resistencia a la compresión con mezclas de CR y CRT.

PRUEBA DE HIPÓTESIS CON EL ESTADÍSTICO T-STUDENT A LOS 7 DÍAS (K2 VS K7)

1. DATOS

K2	K7		K2	K7
348.2	361.6	Número de muestra (N):	3	3
359.1	371.6	Media aritmética (u):	354.2	365.0
355.2	361.8	Varianza (σ^2):	16	16

2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.

u_1 : media aritmética del grupo 1

u_2 : media aritmética del grupo 2

HIPÓTESIS NULA.

$$H_0: u_1 \geq u_2$$

La adición de CRT en 5% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión con respecto a la mezcla con CR a los 7 días.

HIPÓTESIS ALTERNATIVA.

$$H_1: u_1 < u_2$$

La adición de CRT en 5% de reemplazo parcial por agregado fino influye significativamente en la resistencia a la compresión con respecto a la mezcla con CR a los 7 días.

3. NIVEL DE SIGNIFICANCIA.

$$\alpha: 0.05$$

4. GRADOS DE LIBERTAD.

$$g.l: 4$$

$$g.l = n_1 + n_2 - 2$$

5. VALOR DE "t" EN TABLAS.

$$t_c: -2.131$$

6. PRUEBA ESTADÍSTICA "t".

$$u_1: 354.2$$

$$n_1: 3$$

$$u_2: 365.0$$

$$n_2: 3$$

$$\sigma_p^2: 16$$

$$t_o: -3.317$$

$$t_o = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\sigma_p^2 \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

$$t_o = -3.317 < t_c = -2.131$$

7. CONCLUSIÓN.

Se rechaza: H_0 por tanto Se acepta: H_1

La adición de CRT en 5% de reemplazo parcial por agregado fino influye significativamente en la resistencia a la compresión con respecto a la mezcla con CR a los 7 días.

PRUEBA DE HIPÓTESIS CON EL ESTADÍSTICO T-STUDENT A LOS 14 DÍAS (K2 VS K7)

1. DATOS

K2	K7		K2	K7
398.5	386.5	Número de muestra (N):	3	3
395.4	396.5	Media aritmética (u):	394.9	392.0
390.7	393.0	Varianza (σ^2):	9	16

2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.

u_1 : media aritmética del grupo 1

u_2 : media aritmética del grupo 2

HIPÓTESIS NULA.

$$H_0: u_1 \geq u_2$$

La adición de CRT en 5% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión con respecto a la mezcla con CR a los 14 días.

HIPÓTESIS ALTERNATIVA.

$$H_1: u_1 < u_2$$

La adición de CRT en 5% de reemplazo parcial por agregado fino influye significativamente en la resistencia a la compresión con respecto a la mezcla con CR a los 14 días.

3. NIVEL DE SIGNIFICANCIA.

$$\alpha: 0.05$$

4. GRADOS DE LIBERTAD.

$$g.l: 4$$

$$g.l = n_1 + n_2 - 2$$

5. VALOR DE "t" EN TABLAS.

$$t_c: -2.131$$

6. PRUEBA ESTADÍSTICA "t".

$$u_1: 394.9$$

$$n_1: 3$$

$$u_2: 392.0$$

$$n_2: 3$$

$$\sigma_p^2: 13$$

$$t_o: 0.993$$

$$t_o = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\sigma_p^2 \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

$$t_o = 0.993 > t_c = -2.131$$

7. CONCLUSIÓN.

Se rechaza: H_1 por tanto Se acepta: H_0

La adición de CRT en 5% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión con respecto a la mezcla con CR a los 14 días.

PRUEBA DE HIPÓTESIS CON EL ESTADÍSTICO T-STUDENT A LOS 28 DÍAS (K2 VS K7)

1. DATOS

K2	K7		K2	K7
429.2	444.1			
424.3	447.3	Número de muestra (N):	3	3
420.2	436.1	Media aritmética (u):	424.6	442.5
		Varianza (σ^2):	9	21

2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.

u_1 : media aritmética del grupo 1

u_2 : media aritmética del grupo 2

HIPÓTESIS NULA.

$$H_0: u_1 \geq u_2$$

La adición de CRT en 5% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión con respecto a la mezcla con CR a los 28 días.

HIPÓTESIS ALTERNATIVA.

$$H_1: u_1 < u_2$$

La adición de CRT en 5% de reemplazo parcial por agregado fino influye significativamente en la resistencia a la compresión con respecto a la mezcla con CR a los 28 días.

3. NIVEL DE SIGNIFICANCIA.

$$\alpha: 0.05$$

4. GRADOS DE LIBERTAD.

$$g.l: 4$$

$$g.l = n_1 + n_2 - 2$$

5. VALOR DE "t" EN TABLAS.

$$t_c: -2.131$$

6. PRUEBA ESTADÍSTICA "t".

$$u_1: 424.6$$

$$n_1: 3$$

$$u_2: 442.5$$

$$n_2: 3$$

$$\sigma_p^2: 15$$

$$t_o: -5.671$$

$$t_o = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\sigma_p^2 \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

$$t_o = -5.671 < t_c = -2.131$$

7. CONCLUSIÓN.

Se rechaza: H_0

por tanto

Se acepta: H_1

La adición de CRT en 5% de reemplazo parcial por agregado fino influye significativamente en la resistencia a la compresión con respecto a la mezcla con CR a los 28 días.

PRUEBA DE HIPÓTESIS CON EL ESTADÍSTICO T-STUDENT A LOS 7 DÍAS (K3 VS K8)

1. DATOS

K3	K8		K3	K8
323.4	331.9	Número de muestra (N):	3	3
320.1	321.3	Media aritmética (u):	323.7	325.7
327.7	324.0	Varianza (σ^2):	9	21

2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.

u_1 : media aritmética del grupo 1

u_2 : media aritmética del grupo 2

HIPÓTESIS NULA.

$$H_0: u_1 \geq u_2$$

La adición de CRT en 10% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión con respecto a la mezcla con CR a los 7 días.

HIPÓTESIS ALTERNATIVA.

$$H_1: u_1 < u_2$$

La adición de CRT en 10% de reemplazo parcial por agregado fino influye significativamente en la resistencia a la compresión con respecto a la mezcla con CR a los 7 días.

3. NIVEL DE SIGNIFICANCIA.

$$\alpha: 0.05$$

4. GRADOS DE LIBERTAD.

$$g.l: 4$$

$$g.l = n_1 + n_2 - 2$$

5. VALOR DE "t" EN TABLAS.

$$t_c: -2.131$$

6. PRUEBA ESTADÍSTICA "t".

$u_1:$	323.7	$n_1:$	3
$u_2:$	325.7	$n_2:$	3
$\sigma_p^2:$	15		
$t_o:$	-0.632		

$$t_o = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\sigma_p^2 \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

$$t_o = -0.632 > t_c = -2.131$$

7. CONCLUSIÓN.

Se rechaza: H_1 por tanto Se acepta: H_0

La adición de CRT en 10% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión con respecto a la mezcla con CR a los 7 días.

PRUEBA DE HIPÓTESIS CON EL ESTADÍSTICO T-STUDENT A LOS 14 DÍAS (K3 VS K8)

1. DATOS

K3	K8		K3	K8
366.7	380.7	Número de muestra (N):	3	3
377.7	361.5	Media aritmética (u):	369.9	372.5
365.3	375.3	Varianza (σ^2):	33	49

2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.

u_1 : media aritmética del grupo 1

u_2 : media aritmética del grupo 2

HIPÓTESIS NULA.

$$H_0: u_1 \geq u_2$$

La adición de CRT en 10% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión con respecto a la mezcla con CR a los 14 días.

HIPÓTESIS ALTERNATIVA.

$$H_1: u_1 < u_2$$

La adición de CRT en 10% de reemplazo parcial por agregado fino influye significativamente en la resistencia a la compresión con respecto a la mezcla con CR a los 14 días.

3. NIVEL DE SIGNIFICANCIA.

$$\alpha: 0.05$$

4. GRADOS DE LIBERTAD.

$$g.l: 4$$

$$g.l = n_1 + n_2 - 2$$

5. VALOR DE "t" EN TABLAS.

$$t_c: -2.131$$

6. PRUEBA ESTADÍSTICA "t".

$u_1:$	369.9	$n_1:$	3
$u_2:$	372.5	$n_2:$	3
$\sigma_p^2:$	41		
$t_o:$	-0.497		

$$t_o = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\sigma_p^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

$$t_o = -0.497 > t_c = -2.131$$

7. CONCLUSIÓN.

Se rechaza: H_1 por tanto Se acepta: H_0

La adición de CRT en 10% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión con respecto a la mezcla con CR a los 14 días.

PRUEBA DE HIPÓTESIS CON EL ESTADÍSTICO T-STUDENT A LOS 28 DÍAS (K3 VS K8)

1. DATOS

K3	K8		K3	K8
377.7	382.2	Número de muestra (N):	3	3
395.7	390.2	Media aritmética (u):	384.1	388.2
378.9	392.1	Varianza (σ^2):	65	21

2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.

u_1 : media aritmética del grupo 1

u_2 : media aritmética del grupo 2

HIPÓTESIS NULA.

$$H_0: u_1 \geq u_2$$

La adición de CRT en 10% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión con respecto a la mezcla con CR a los 28 días.

HIPÓTESIS ALTERNATIVA.

$$H_1: u_1 < u_2$$

La adición de CRT en 10% de reemplazo parcial por agregado fino influye significativamente en la resistencia a la compresión con respecto a la mezcla con CR a los 28 días.

3. NIVEL DE SIGNIFICANCIA.

$$\alpha: 0.05$$

4. GRADOS DE LIBERTAD.

$$g.l: 4$$

$$g.l = n_1 + n_2 - 2$$

5. VALOR DE "t" EN TABLAS.

$$t_c: -2.131$$

6. PRUEBA ESTADÍSTICA "t".

$$\begin{aligned} u_1: & 384.1 \\ u_2: & 388.2 \\ \sigma_p^2: & 43 \\ t_o: & -0.760 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_1: & 3 \\ n_2: & 3 \end{aligned}$$

$$t_o = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\sigma_p^2 \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

$$t_o = -0.760 > t_c = -2.131$$

7. CONCLUSIÓN.

Se rechaza: H_1 por tanto Se acepta: H_0

La adición de CRT en 10% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión con respecto a la mezcla con CR a los 28 días.

PRUEBA DE HIPÓTESIS CON EL ESTADÍSTICO T-STUDENT A LOS 7 DÍAS (K4 VS K9)

1. DATOS

K4	K9		K4	K9
296.5	299.4	Número de muestra (N):	3	3
295.1	286.6	Media aritmética (u):	289.4	287.5
276.5	276.4	Varianza (σ^2):	85	81

2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.

u_1 : media aritmética del grupo 1

u_2 : media aritmética del grupo 2

HIPÓTESIS NULA.

$$H_0: u_1 \geq u_2$$

La adición de CRT en 15% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión con respecto a la mezcla con CR a los 7 días.

HIPÓTESIS ALTERNATIVA.

$$H_1: u_1 < u_2$$

La adición de CRT en 15% de reemplazo parcial por agregado fino influye significativamente en la resistencia a la compresión con respecto a la mezcla con CR a los 7 días.

3. NIVEL DE SIGNIFICANCIA.

$$\alpha: 0.05$$

4. GRADOS DE LIBERTAD.

$$g.l: 4$$

$$g.l = n_1 + n_2 - 2$$

5. VALOR DE "t" EN TABLAS.

$$t_c: -2.131$$

6. PRUEBA ESTADÍSTICA "t".

$$\begin{aligned} u_1: & 289.4 \\ u_2: & 287.5 \\ \sigma_p^2: & 83 \\ t_o: & 0.255 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_1: & 3 \\ n_2: & 3 \end{aligned}$$

$$t_o = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\sigma_p^2 \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

$$t_o = 0.255 > t_c = -2.131$$

7. CONCLUSIÓN.

Se rechaza: H_1 por tanto Se acepta: H_0

La adición de CRT en 15% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión con respecto a la mezcla con CR a los 7 días.

PRUEBA DE HIPÓTESIS CON EL ESTADÍSTICO T-STUDENT A LOS 14 DÍAS (K4 VS K9)

1. DATOS

K4	K9		K4	K9
294.5	299.3	Número de muestra (N):	3	3
309.4	275.8	Media aritmética (u):	304.3	296.6
308.9	314.7	Varianza (σ^2):	48	225

2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.

u_1 : media aritmética del grupo 1

u_2 : media aritmética del grupo 2

HIPÓTESIS NULA.

$$H_0: u_1 \geq u_2$$

La adición de CRT en 15% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión con respecto a la mezcla con CR a los 14 días.

HIPÓTESIS ALTERNATIVA.

$$H_1: u_1 < u_2$$

La adición de CRT en 15% de reemplazo parcial por agregado fino influye significativamente en la resistencia a la compresión con respecto a la mezcla con CR a los 14 días.

3. NIVEL DE SIGNIFICANCIA.

$$\alpha: 0.05$$

4. GRADOS DE LIBERTAD.

$$g.l: 4$$

$$g.l = n_1 + n_2 - 2$$

5. VALOR DE "t" EN TABLAS.

$$t_c: -2.131$$

6. PRUEBA ESTADÍSTICA "t".

$$u_1: 304.3$$

$$n_1: 3$$

$$u_2: 296.6$$

$$n_2: 3$$

$$\sigma_p^2: 137$$

$$t_o: 0.804$$

$$t_o = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\sigma_p^2 \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

$$t_o = \mathbf{0.804} > t_c = \mathbf{-2.131}$$

7. CONCLUSIÓN.

Se rechaza: H_1

por tanto

Se acepta: H_0

La adición de CRT en 15% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión con respecto a la mezcla con CR a los 14 días.

PRUEBA DE HIPÓTESIS CON EL ESTADÍSTICO T-STUDENT A LOS 28 DÍAS (K4 VS K9)

1. DATOS

K4	K9		K4	K9
321.6	329.9	Número de muestra (N):	3	3
321.1	322.8	Media aritmética (u):	319.3	326.2
315.1	326.0	Varianza (σ^2):	12	9

2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.

u_1 : media aritmética del grupo 1

u_2 : media aritmética del grupo 2

HIPÓTESIS NULA.

$$H_0: u_1 \geq u_2$$

La adición de CRT en 15% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la compresión con respecto a la mezcla con CR a los 28 días.

HIPÓTESIS ALTERNATIVA.

$$H_1: u_1 < u_2$$

La adición de CRT en 15% de reemplazo parcial por agregado fino influye significativamente en la resistencia a la compresión con respecto a la mezcla con CR a los 28 días.

3. NIVEL DE SIGNIFICANCIA.

$$\alpha: 0.05$$

4. GRADOS DE LIBERTAD.

$$g.l: 4$$

$$g.l = n_1 + n_2 - 2$$

5. VALOR DE "t" EN TABLAS.

$$t_c: -2.131$$

6. PRUEBA ESTADÍSTICA "t".

$$u_1: 319.3$$

$$n_1: 3$$

$$u_2: 326.2$$

$$n_2: 3$$

$$\sigma_p^2: 11$$

$$t_o: -2.633$$

$$t_o = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\sigma_p^2 \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

$$t_o = -2.633 < t_c = -2.131$$

7. CONCLUSIÓN.

Se rechaza: H_0 por tanto Se acepta: H_1

La adición de CRT en 15% de reemplazo parcial por agregado fino influye significativamente en la resistencia a la compresión con respecto a la mezcla con CR a los 28 días.

3.10 Prueba de hipótesis para el ensayo de resistencia a la flexión.

PRUEBA DE HIPÓTESIS CON EL ESTADÍSTICO T-STUDENT A LOS 28 DÍAS (K1 VS K2)

1. DATOS

K1	K2		K1	K2
70.0	72.0	Número de muestra (N):	3	3
72.9	60.4	Media aritmética (u):	73.6	64.6
77.9	61.4	Varianza (σ^2):	12	21

2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.

u_1 : media aritmética del grupo 1

u_2 : media aritmética del grupo 2

HIPÓTESIS NULA.

$$H_0: u_1 \geq u_2$$

La adición de CR en 5% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto de control a los 28 días.

HIPÓTESIS ALTERNATIVA.

$$H_1: u_1 < u_2$$

La adición de CR en 5% de reemplazo parcial por agregado fino influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto de control a los 28 días.

3. NIVEL DE SIGNIFICANCIA.

$$\alpha: 0.05$$

4. GRADOS DE LIBERTAD.

$$g.l: 4$$

$$g.l = n_1 + n_2 - 2$$

5. VALOR DE "t" EN TABLAS.

$$t_c: -2.131$$

6. PRUEBA ESTADÍSTICA "t".

u_1 :	73.6	n_1 :	3
u_2 :	64.6	n_2 :	3
σ_p^2 :	17		
t_o :	2.714		

$$t_o = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\sigma_p^2 \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

$$t_o = 2.714 > t_c = -2.131$$

7. CONCLUSIÓN.

Se rechaza: H_1 por tanto Se acepta: H_0

La adición de CR en 5% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto de control a los 28 días.

PRUEBA DE HIPÓTESIS CON EL ESTADÍSTICO T-STUDENT A LOS 28 DÍAS (K1 VS K3)

1. DATOS

K1	K3		K1	K3
70.0	56.5	Número de muestra (N):	3	3
72.9	64.7	Media aritmética (u):	73.6	62.3
77.9	65.8	Varianza (σ^2):	12	16

2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.

u_1 : media aritmética del grupo 1

u_2 : media aritmética del grupo 2

HIPÓTESIS NULA.

$$H_0: u_1 \geq u_2$$

La adición de CR en 10% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto de control a los 28 días.

HIPÓTESIS ALTERNATIVA.

$$H_1: u_1 < u_2$$

La adición de CR en 10% de reemplazo parcial por agregado fino influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto de control a los 28 días.

3. NIVEL DE SIGNIFICANCIA.

$$\alpha: 0.05$$

4. GRADOS DE LIBERTAD.

$$g.l: 4$$

$$g.l = n_1 + n_2 - 2$$

5. VALOR DE "t" EN TABLAS.

$$t_c: -2.131$$

6. PRUEBA ESTADÍSTICA "t".

$$\begin{aligned} u_1: & 73.6 \\ u_2: & 62.3 \\ \sigma_p^2: & 14 \\ t_o: & 3.688 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_1: & 3 \\ n_2: & 3 \end{aligned}$$

$$t_o = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\sigma_p^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

$$t_o = 3.688 > t_c = -2.131$$

7. CONCLUSIÓN.

Se rechaza: H_1 por tanto Se acepta: H_0

La adición de CR en 10% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto de control a los 28 días.

PRUEBA DE HIPÓTESIS CON EL ESTADÍSTICO T-STUDENT A LOS 28 DÍAS (K1 VS K4)

1. DATOS

K1	K4		K1	K4
70.0	58.2	Número de muestra (N):	3	3
72.9	67.4	Media aritmética (u):	73.6	60.7
77.9	56.4	Varianza (σ^2):	12	21

2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.

u_1 : media aritmética del grupo 1

u_2 : media aritmética del grupo 2

HIPÓTESIS NULA.

$$H_0: u_1 \geq u_2$$

La adición de CR en 15% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto de control a los 28 días.

HIPÓTESIS ALTERNATIVA.

$$H_1: u_1 < u_2$$

La adición de CR en 15% de reemplazo parcial por agregado fino influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto de control a los 28 días.

3. NIVEL DE SIGNIFICANCIA.

$$\alpha: 0.05$$

4. GRADOS DE LIBERTAD.

$$g.l: 4$$

$$g.l = n_1 + n_2 - 2$$

5. VALOR DE "t" EN TABLAS.

$$t_c: -2.131$$

6. PRUEBA ESTADÍSTICA "t".

$$u_1: 73.6$$

$$n_1: 3$$

$$u_2: 60.7$$

$$n_2: 3$$

$$\sigma_p^2: 17$$

$$t_o: 3.900$$

$$t_o = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\sigma_p^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

$$t_o = 3.900 > t_c = -2.131$$

7. CONCLUSIÓN.

Se rechaza: H_1 por tanto Se acepta: H_0

La adición de CR en 15% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto de control a los 28 días.

PRUEBA DE HIPÓTESIS CON EL ESTADÍSTICO T-STUDENT A LOS 28 DÍAS (K1 VS K7)

1. DATOS

K1	K7		K1	K7
70.0	77.7	Número de muestra (N):	3	3
72.9	67.4	Media aritmética (u):	73.6	69.2
77.9	62.4	Varianza (σ^2):	12	48

2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.

u_1 : media aritmética del grupo 1

u_2 : media aritmética del grupo 2

HIPÓTESIS NULA.

$$H_0: u_1 \geq u_2$$

La adición de CRT en 5% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto de control a los 28 días.

HIPÓTESIS ALTERNATIVA.

$$H_1: u_1 < u_2$$

La adición de CRT en 5% de reemplazo parcial por agregado fino influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto de control a los 28 días.

3. NIVEL DE SIGNIFICANCIA.

$$\alpha: 0.05$$

4. GRADOS DE LIBERTAD.

$$g.l: 4$$

$$g.l = n_1 + n_2 - 2$$

5. VALOR DE "t" EN TABLAS.

$$t_c: -2.131$$

6. PRUEBA ESTADÍSTICA "t".

$$\begin{aligned} u_1: & 73.6 \\ u_2: & 69.2 \\ \sigma_p^2: & 30 \\ t_o: & 0.991 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_1: & 3 \\ n_2: & 3 \end{aligned}$$

$$t_o = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\sigma_p^2 \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

$$t_o = 0.991 > t_c = -2.131$$

7. CONCLUSIÓN.

Se rechaza: H_1 por tanto Se acepta: H_0

La adición de CRT en 5% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto de control a los 28 días.

PRUEBA DE HIPÓTESIS CON EL ESTADÍSTICO T-STUDENT A LOS 28 DÍAS (K1 VS K8)

1. DATOS

	K1	K8		K1	K8
	70.0	65.2	Número de muestra (N):	3	3
	72.9	59.8	Media aritmética (u):	73.6	64.0
	77.9	67.0	Varianza (σ^2):	12	9

2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.

u_1 : media aritmética del grupo 1

u_2 : media aritmética del grupo 2

HIPÓTESIS NULA.

$$H_0: u_1 \geq u_2$$

La adición de CRT en 10% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto de control a los 28 días.

HIPÓTESIS ALTERNATIVA.

$$H_1: u_1 < u_2$$

La adición de CRT en 10% de reemplazo parcial por agregado fino influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto de control a los 28 días.

3. NIVEL DE SIGNIFICANCIA.

$$\alpha: 0.05$$

4. GRADOS DE LIBERTAD.

$$g.l: 4$$

$$g.l = n_1 + n_2 - 2$$

5. VALOR DE "t" EN TABLAS.

$$t_c: -2.131$$

6. PRUEBA ESTADÍSTICA "t".

$u_1:$	73.6	$n_1:$	3
$u_2:$	64.0	$n_2:$	3
$\sigma_p^2:$	11		
$t_o:$	3.628		

$$t_o = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\sigma_p^2 \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

$$t_o = 3.628 > t_c = -2.131$$

7. CONCLUSIÓN.

Se rechaza: H_1 por tanto Se acepta: H_0

La adición de CRT en 10% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto de control a los 28 días.

PRUEBA DE HIPÓTESIS CON EL ESTADÍSTICO T-STUDENT A LOS 28 DÍAS (K1 VS K9)

1. DATOS

K1	K9		K1	K9
70.0	58.1	Número de muestra (N):	3	3
72.9	57.0	Media aritmética (u):	73.6	58.9
77.9	61.7	Varianza (σ^2):	12	5

2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.

u_1 : media aritmética del grupo 1

u_2 : media aritmética del grupo 2

HIPÓTESIS NULA.

$$H_0: u_1 \geq u_2$$

La adición de CRT en 15% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto de control a los 28 días.

HIPÓTESIS ALTERNATIVA.

$$H_1: u_1 < u_2$$

La adición de CRT en 15% de reemplazo parcial por agregado fino influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto de control a los 28 días.

3. NIVEL DE SIGNIFICANCIA.

$$\alpha: 0.05$$

4. GRADOS DE LIBERTAD.

$$g.l: 4$$

$$g.l = n_1 + n_2 - 2$$

5. VALOR DE "t" EN TABLAS.

$$t_c: -2.131$$

6. PRUEBA ESTADÍSTICA "t".

u_1 :	73.6	n_1 :	3
u_2 :	58.9	n_2 :	3
σ_p^2 :	9		
t_o :	6.161		

$$t_o = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\sigma_p^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

$$t_o = 6.161 > t_c = -2.131$$

7. CONCLUSIÓN.

Se rechaza: H_1 por tanto Se acepta: H_0

La adición de CRT en 15% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto de control a los 28 días.

3.11 Prueba de hipótesis para el ensayo de resistencia a la flexión con mezclas de CR y CRT.

PRUEBA DE HIPÓTESIS CON EL ESTADÍSTICO T-STUDENT A LOS 28 DÍAS (K2 VS K7)

1. DATOS

K2	K7		K2	K7
72.0	77.7	Número de muestra (N):	3	3
60.4	67.4	Media aritmética (u):	64.6	69.2
61.4	62.4	Varianza (σ^2):	21	48

2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.

u_1 : media aritmética del grupo 1

u_2 : media aritmética del grupo 2

HIPÓTESIS NULA.

$$H_0: u_1 \geq u_2$$

La adición de CRT en 5% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la flexión con respecto a la mezcla con CR a los 28 días.

HIPÓTESIS ALTERNATIVA.

$$H_1: u_1 < u_2$$

La adición de CRT en 5% de reemplazo parcial por agregado fino influye significativamente en la resistencia a la flexión con respecto a la mezcla con CR a los 28 días.

3. NIVEL DE SIGNIFICANCIA.

$$\alpha: 0.05$$

4. GRADOS DE LIBERTAD.

$$g.l: 4$$

$$g.l = n_1 + n_2 - 2$$

5. VALOR DE "t" EN TABLAS.

$$t_c: -2.131$$

6. PRUEBA ESTADÍSTICA "t".

u_1 :	64.6	n_1 :	3
u_2 :	69.2	n_2 :	3
σ_p^2 :	35		
t_o :	-0.952		

$$t_o = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\sigma_p^2 \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

$$t_o = -0.952 > t_c = -2.131$$

7. CONCLUSIÓN.

Se rechaza: H_1 por tanto Se acepta: H_0

La adición de CRT en 5% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la flexión con respecto a la mezcla con CR a los 28 días.

PRUEBA DE HIPÓTESIS CON EL ESTADÍSTICO T-STUDENT A LOS 28 DÍAS (K3 VS K8)

1. DATOS

K3	K8		K3	K8
56.5	65.2			
64.7	59.8	Número de muestra (N):	3	3
65.8	67.0	Media aritmética (u):	62.3	64.0
		Varianza (σ^2):	21	9

2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.

u_1 : media aritmética del grupo 1

u_2 : media aritmética del grupo 2

HIPÓTESIS NULA.

$$H_0: u_1 \geq u_2$$

La adición de CRT en 10% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la flexión con respecto a la mezcla con CR a los 28 días.

HIPÓTESIS ALTERNATIVA.

$$H_1: u_1 < u_2$$

La adición de CRT en 10% de reemplazo parcial por agregado fino influye significativamente en la resistencia a la flexión con respecto a la mezcla con CR a los 28 días.

3. NIVEL DE SIGNIFICANCIA.

$$\alpha: 0.05$$

4. GRADOS DE LIBERTAD.

$$g.l: 4$$

$$g.l = n_1 + n_2 - 2$$

5. VALOR DE "t" EN TABLAS.

$$t_c: -2.131$$

6. PRUEBA ESTADÍSTICA "t".

$$\begin{aligned} u_1: & 62.3 \\ u_2: & 64.0 \\ \sigma_p^2: & 15 \\ t_o: & -0.527 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_1: & 3 \\ n_2: & 3 \end{aligned}$$

$$t_o = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\sigma_p^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

$$t_o = -0.527 > t_c = -2.131$$

7. CONCLUSIÓN.

Se rechaza: H_1 por tanto Se acepta: H_0

La adición de CRT en 10% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la flexión con respecto a la mezcla con CR a los 28 días.

PRUEBA DE HIPÓTESIS CON EL ESTADÍSTICO T-STUDENT A LOS 28 DÍAS (K4 VS K9)

1. DATOS

K4	K9		K4	K9
58.2	58.1	Número de muestra (N):	3	3
67.4	57.0	Media aritmética (u):	60.7	58.9
56.4	61.7	Varianza (σ^2):	21	5

2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.

u_1 : media aritmética del grupo 1

u_2 : media aritmética del grupo 2

HIPÓTESIS NULA.

$$H_0: u_1 \geq u_2$$

La adición de CRT en 15% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la flexión con respecto a la mezcla con CR a los 28 días.

HIPÓTESIS ALTERNATIVA.

$$H_1: u_1 < u_2$$

La adición de CRT en 15% de reemplazo parcial por agregado fino influye significativamente en la resistencia a la flexión con respecto a la mezcla con CR a los 28 días.

3. NIVEL DE SIGNIFICANCIA.

$$\alpha: 0.05$$

4. GRADOS DE LIBERTAD.

$$g.l: 4$$

$$g.l = n_1 + n_2 - 2$$

5. VALOR DE "t" EN TABLAS.

$$t_c: -2.131$$

6. PRUEBA ESTADÍSTICA "t".

u_1 :	60.7	n_1 :	3
u_2 :	58.9	n_2 :	3
σ_p^2 :	13		
t_o :	0.589		

$$t_o = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\sigma_p^2 \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

$$t_o = 0.589 > t_c = -2.131$$

7. CONCLUSIÓN.

Se rechaza: H_1 por tanto Se acepta: H_0

La adición de CRT en 15% de reemplazo parcial por agregado fino no influye significativamente en la resistencia a la flexión con respecto a la mezcla con CR a los 28 días.

CAPITULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión.

Asentamiento:

El ensayo de asentamiento es importante para medir la trabajabilidad del hormigón y su posterior aplicación en la construcción (Youssf, y otros, 2019, p. 7). Los resultados del ensayo con el uso de CR y CRT se mostraron dentro de los parámetros establecidos para una mezcla de consistencia seca. El máximo valor de caída encontrado durante el ensayo fue 43.5 mm para K4 y 45.3 mm para K9, estas pruebas presentaron un aumento de caída de 39.4% y 45.1%, respectivamente con respecto a K1 (**Figura 25**). Según el alcance de los resultados, el uso del CRT no altera significativamente el asentamiento con respecto al uso del CR hasta el 15% de reemplazo. El aumento máximo encontrado fue 4.13% para K9 con respecto a K4. Esta caída gradual, podría darse debido a la pérdida del peso propio del hormigón con la incorporación de caucho. Otra razón podría ser el efecto de la fricción entre el caucho y los otros componentes de la mezcla de hormigón (Eltayeb, Ma, Zhuge, & Youssf, 2020, p. 41).

El asentamiento de la mezcla de hormigón depende principalmente de la consistencia de la mezcla y del contenido de caucho (**Figura 26**). Según los resultados de Bharathi y Natarajan, (2015, p. 861), el reemplazo parcial de caucho por agregado fino aumentó la caída de la mezcla (desde 4.2% hasta 16.7%) con respecto a la mezcla de control. Otro estudio realizado por Darshan, Puru, Manjunatha, Naveen, y Naveen, (2017, p. 12546), demostraron que el aumento de caucho es directamente proporcional al asentamiento de la mezcla (desde 7.1% hasta 35.7%). En este estudio, el uso del caucho aumentó la caída la mezcla desde 10.1% hasta 39.4% para CR y desde 13% hasta 45.1% para CRT

Peso Unitario:

Como se observa en la **Figura 27**, el peso unitario de la mezcla varió desde 2242 kg/m³ hasta 2171 kg/m³ para CR y desde 2239 kg/m³ hasta 2186 kg/m³ para CRT, respectivamente con respecto al peso unitario de control (2288 kg/m³).

La máxima reducción encontrada fue 5.1% para K4 y 4.5% para K9 sobre K1 y 0.6% para K9 sobre K4. Esta variación de resultado para K9 sobre K4 causó una reducción no significativa del peso unitario hasta un 15% de reemplazo. Como se esperaba, los valores del peso unitario disminuyeron a mayor contenido de caucho en la mezcla (Naito, States, Jackson, & Bewick, 2014, p. 2). Esta reducción es el resultado del menor peso unitario del

caucho que reemplazan a los agregados minerales mucho más pesados (Khaloo, Dehestani, & Rahmatabadi, 2008, p. 2475), (Nakhai & Alhumoud, 2020, p. 656).

Temperatura:

Desde la posición de Ghafoori y Diawara, (2010, p. 946). Una elevada temperatura tendrá como consecuencia una rápida hidratación del cemento generando una reducción en las propiedades del hormigón. En este estudio, el resultado en las variaciones de temperatura con diversas mezclas se mostró en la **Figura 28**. Se determinó la temperatura (27.7 °C) para la mezcla de control, mientras que las mezclas con CR y CRT presentaron una variación no significativa. Los máximos valores para las mezclas con caucho oscilaron entre 1.2 °C para CR y 0.9 °C para CRT, respectivamente con respecto a la mezcla de control. Cabe resaltar que, la temperatura de la mezcla depende principalmente de las horas de vaciado y de la temperatura ambiente.

Resistencia a la compresión:

El resultado de las variaciones en la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días con respecto al contenido de CR se presenta en la **Figura 29(a)**. Se notó una reducción gradual a medida que aumentaba el contenido de CR, tal como se esperaba de acuerdo con los resultados de estudios previos utilizando CR en el hormigón (Gaikwad, Nalage, Nazare, & Joshi, 2019), (Gheni, ElGawady, & Myers, 2017), (Ohemeng & Yalley, 2013), (Gupta, Siddique, Sharma, & Chaudhary, 2019).

A los 7 días, la resistencia a la compresión de la mezcla con CR disminuyó desde 5.6% hasta 22.9% en comparación a la mezcla de control (375.2 kg/cm²). Se presentó una tendencia similar a los 14 y 28 días. A los 28 días, se obtuvo la máxima resistencia a la compresión (460.9 kg/cm²) para la mezcla de control y una reducción de 30.7% para la mezcla con 15% de CR. El comportamiento de la resistencia a la compresión con mezcla de CRT se presenta en la **Figura 29(b)**. Se observó una tendencia semejante a los resultados con mezcla de CR. Sin embargo, a los 7 días, la resistencia a la compresión presentó una ligera mejora (2.9%) para el 5% del contenido de caucho sobre la mezcla con caucho sin tratar. A los 28 días, las muestras con CRT presentaron una mejora de 3.9%, 0.9% y 1.5% sobre el 5%, 10% y 15% de la mezcla con caucho sin tratar. Esta mejora de la resistencia a la compresión muestra el efecto del pretratamiento del caucho con solución de 1N NaOH. La literatura determina una mejora en la resistencia a la compresión con el método del pretratamiento (Shah, Shrestha, Maharjan, Karki, & Shrestha, 2019), (Nuzaimah, Sapuan, Nadlene, & Jawaid, 2020), (Li,

Zhuge, Gravina, Benn, & Mills, 2020). Sin embargo, no se determinó alguna mejora en la resistencia a la compresión con respecto a la mezcla de control.

La aplicación del CR en el hormigón, muestra la influencia en las variaciones de la resistencia a la compresión de los adoquines (**Figura 30**) de acuerdo al método utilizado. De manera general, el resultado de la resistencia a la compresión determinado mediante esta metodología, están en congruencia con los estudios previos realizados, puesto que la resistencia a la compresión descendió a medida que aumentó el porcentaje de caucho.

Como lo hace notar Sukontasukkul y Chaikaew, (2006). En la **Figura 30**, los resultados muestran que la incorporación de caucho con un módulo de finura de 4.98, 2.62 y 3.77 en los adoquines disminuyó la resistencia a la compresión en 45%, 47% y 35% para un 10% de reemplazo, mientras que para un 20% la reducción fue de 84.5%, 85% y 78%, respectivamente. En cuanto al estudio realizado por Ling, Nor, y Hainin, (2009) con una relación a/c = 0.55 para la elaboración de adoquines, el 5%, 10% y 15% de incorporación del caucho causó una reducción de 17%, 23% y 31%, respectivamente. Un estudio realizado por Chai, (2012), informó que la adición del 20% de caucho con un módulo de finura de 4.74 disminuyó la resistencia a la compresión en 50% y 52.5% en los adoquines fabricados en planta y fabricados manualmente. En este estudio, a los 28 días, la incorporación de CR con un módulo de finura de 3.88 disminuyó la resistencia desde 7.9% hasta 30.7%, respectivamente.

Resistencia a la flexión:

Los resultados calculados se demuestran en la **Figura 31**. Los hallazgos obtenidos tienden a disminuir, tal como se observó con la resistencia a la compresión. La resistencia a la flexión presentó una disminución gradual desde 12.3% hasta 17.6% para la mezcla con CR con respecto a la mezcla de control. Se esperaba esta reducción de acuerdo con los resultados de estudios previos realizados (Lv, Du, Zhou, He, & Li, 2019), (Jokar, Khorram, Karimi, & Hataf, 2019), (Bisht & Ramana, 2017). Además, para Chaudhary, Sharma, y Gupta, (2014), la reducción en la resistencia a la flexión depende de la geometría de las partículas de caucho. La resistencia a la flexión para las mezclas con CRT al 5% y 10% presentaron una ligera mejora (6.2% y 2.2%) sobre las mezclas con CR. De manera general, la falta de estearato de zinc en el caucho y otros componentes orgánicos, permitieron que se presente una mejor unión entre las partículas y el hormigón. Sin embargo, no mejoró la resistencia a la flexión con respecto a la mezcla de control.

4.2 Conclusiones.

El uso del caucho reciclado y su influencia en la caracterización físico – mecánico del concreto se estudió a detalle. Se realizó un análisis exhaustivo del concreto con la adición de caucho tal como se recibió y caucho pre tratado en solución 1N NaOH sobre las propiedades en estado fresco y endurecido. En base a los resultados obtenidos, se resaltaron las siguientes conclusiones:

- El reemplazo parcial de CR como agregado fino sobre las propiedades del concreto en estado fresco condujo a un aumento en el asentamiento (desde 10.1% hasta 39.4%), una variación de temperatura (desde 1.4% hasta 4.3%) y un menor peso unitario (desde 2% hasta 5.1%) con respecto a la mezcla de control. De igual manera, las mezclas con CRT registraron un incremento en el asentamiento (desde 13% hasta 45.1%), temperatura (desde 2.2% hasta 3.2%) y un menor peso unitario (desde 2.2% hasta 4.5%). Se pudo observar que, el método de pretratamiento causó una variación no significativa hasta el 15% de reemplazo sobre CR y con respecto a la mezcla de control.
- El comportamiento mecánico de compresión en los adoquines con adición hasta el 15% de CR a los 28 días presentó una disminución de 30.7% con respecto al adoquín de control. No obstante, el pretratamiento del caucho demostró una ligera mejora de 3.9%, 0.9% y 1.5%, respectivamente para K7, K8 y K9 sobre K2, K3 y K4, a los 7, 14 y 28 días. Esta ligera mejora solo fue aprobada a los 28 días para K8 y K9 sobre K3 y K4 mediante la estadística. Desafortunadamente, no se logró mejorar la resistencia a la compresión sobre la muestra de control, tal como se esperaba mediante el método de pretratamiento en solución 1N NaOH.
- La resistencia a la flexión de los adoquines con CR presentó una reducción máxima del 17.6% con respecto a la muestra de control. El pretratamiento también mejoró ligeramente la caída de la resistencia a la flexión (6.2% y 2.2%) para las muestras K7 y K8 sobre K2 y K3. Sin embargo, mediante la estadística, se pudo determinar que el método de pretratamiento no influyó significativamente sobre la mezcla con CR. Tampoco se logró mejorar la resistencia a la flexión con respecto a la muestra de control.
- El método de pretratamiento del caucho reciclado en solución 1N NaOH no influyó significativamente en las características físicas del concreto. Tampoco mejoró las características mecánicas de las muestras con CR y CRT con respecto a la muestra de control.

4.3 Recomendaciones.

- Esta investigación determinó una mezcla de consistencia seca. Ello, generó un ligero aumento en las características físicas del concreto, sin embargo, se mantuvo dentro del parámetro normativo para su serviciabilidad. Por lo tanto, se recomienda evaluar la influencia del uso y tamaño del caucho para una mezcla de consistencia plástica, cuyo propósito sería evaluar si con el uso del caucho mantiene su trabajabilidad de acuerdo al parámetro normativo. Asimismo, evaluar el comportamiento del peso unitario y temperatura de la mezcla.
- De acuerdo a la literatura y a la investigación realizada, se pudo definir que, el método de pretratamiento con solución 1N NaOH mejorará ligeramente la resistencia a la compresión del concreto con respecto a la mezcla con caucho sin tratar. Por lo tanto, se recomienda aplicar el método de pretratamiento con hidróxido de sodio más un tipo de recubrimiento con una pasta de cemento portland (a/c) para evaluar si existe una buena adherencia entre la pasta de cemento y el caucho tratado para su posterior aplicación en la mezcla del concreto.
- Según lo expuesto líneas arriba, se recomienda evaluar si el método de pretratamiento del caucho con hidróxido de sodio más un tipo de recubrimiento con una pasta de cemento portland (a/c) mejora la resistencia a la flexión del concreto. Adicionalmente, se recomienda usar caucho de mayor tamaño para evaluar su desempeño en la resistencia a la flexión, esto debido a la alta capacidad de deformación que tiene las partículas de caucho.
- De acuerdo al estudio realizado mediante la metodología establecida, se recomienda aplicar del caucho reciclado hasta el 10% de reemplazo parcial como agregado fino, puesto que se encuentra dentro de los parámetros requeridos en la NTP 339. 611 principalmente para la resistencia a la compresión.

REFERENCIAS

1. AAP. (2018). Estadísticas. *Asociación Automotriz del Perú*. Retrieved from <https://aap.org.pe/estadisticas/>
2. Ali Shah, A., Hasan, F., Shah, Z., Kanwal, N., & Zeb, S. (2013). Biodegradation of natural and synthetic rubbers: A review. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 83, 145-157. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.05.004>
3. Amedeo, G., Castoro, C., Marano, G., & Greco, R. (2019). Strength Reduction Factor of Concrete with Recycled Rubber Aggregates from Tires. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 31(8), 1-13. doi:[10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002783](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002783)
4. American Concrete Institute. (2016). Aplicabilidad del uso de residuos de caucho en aplicaciones estructurales. *ScienceDaily*. Retrieved from www.sciencedaily.com/releases/2016/03/160315104840.htm
5. Archer, B. L., & Audley, B. G. (1987). New aspects of rubber biosynthesis. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 94(1-2), 181-196. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.1987.tb01045.x>
6. Avila, H. (2006). *Introducción a la Metodología de la Investigación*. México: Edición electrónica. Retrieved from https://books.google.com.pe/books?id=r93TK4EykfUC&pg=PP2&dq=Introduccion+a+la+Metodologia+de+la+Investigacion+Avila&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiy25b515_jAhUowlkKHYGDAD0Q6AEIKDAA#v=onepage&q&f=false
7. Bairagi, N. K., Ravande, K., & Pareek, V. K. (1993). Behaviour of concrete with different proportions of natural and recycled aggregates. *Resources, Conservation and Recycling*, 9(1-2), 109-126. doi:[10.1016/0921-3449\(93\)90036-f](https://doi.org/10.1016/0921-3449(93)90036-f)
8. Bharathi, R., & Natarajan, C. (2015). Experimental Study on Rubberized Concrete. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 6(5), 860-863. Retrieved from <https://www.ijser.org/onlineResearchPaperViewer.aspx?Experimental-Study-on-Rubberized-Concrete.pdf>
9. Bisht, K., & Ramana, P. (2017). Evaluation of mechanical and durability properties of crumb rubber concrete. *Construction and Building Materials*, 155, 811-817. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.131>
10. Blanco, E., Travieso, D., & Carvalho, J. (2017). Energetic valorization of waste tires. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68(1), 306-315. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.110>
11. Blessen, T., & Ramesh, C. (2015). Properties of high strength concrete containing scrap tire rubber. *Journal of Cleaner Production*, 1-7. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.019>
12. Brito, J., & Silva, R. (2016). Current status on the use of recycled aggregates in concrete: Where do we go from here? *RILEM Technical Letters*, 1, 1-5. doi:<https://doi.org/10.21809/rilemtechlett.2016.3>
13. Bulei, C., Todor, M., Heput, T., & Kiss, I. (2018). Directions for material recovery of used tires and their use in the production of new products intended for the industry of civil construction and pavements. *Materials Science and Engineering*, 294, 1-10. doi:[doi:10.1088/1757-899X/294/1/012064](https://doi.org/10.1088/1757-899X/294/1/012064)
14. Buzón, J. (2010). Fabricación de adoquines para uso en vías peatonales, usando cuesco de palma africana. *Revista Inge-CUC*, 6, 67-78. Retrieved from <https://revistascientificas.cuc.edu.co/ingecuc/article/view/293>
15. Cabanillas, E. (2017). Comportamiento físico mecánico del concreto hidráulico adicionado con caucho reciclado. (*Tesis de titulación*). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú. Retrieved from <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1029>
16. Cano, E., Cerezo, L., & Urbina, M. (2007). Valorización material y energética de neumáticos fuera de uso. *Fundación para el conocimiento madri+d CEIM*. Retrieved from <http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM001755.pdf>
17. Carrasco, F., Bredin, N., Gningue, Y., & Heitz, M. (1998). Environmental Impact of the Energy Recovery of Scrap Tires in a Cement Kiln. *Environmental Technology*, 19(5), 461-474. doi:<https://doi.org/10.1080/09593331908616702>
18. Castillo, J. (2017). Fallas y causas en los pavimentos articulados de las vías urbanas en la ciudad de Jaén. (*Tesis de grado*). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú. Retrieved from <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1520>
19. Chai, T. (2012). Effects of compaction method and rubber content on the properties of concrete paving blocks. *Construction and Building Materials*, 28, 164-175. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.08.069>

20. Chaluiza, Á. M. (2012). Relaciones de compresión y tensión en adoquines fabricados con materiales procedentes de la Cantera de Pesillo, ubicada en el Cantón Cayambe, Provincia de Pichincha. (*Tesis de titulación*). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador. Retrieved from <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/386>
21. Chaudhary, S., Sharma, R., & Gupta, T. (2014). Assessment of mechanical and durability properties of concrete containing waste rubber tire as fine aggregate. *Construction and Building Materials*, 73, 562-574. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.09.102>
22. Chemical Safety Facts. (n.d.). *Bienvenido a Chemical Safety Facts*. Retrieved from Hidróxido de sodio: <https://www.chemicalsafetyfacts.org/es/hidroxido-de-sodio/>
23. Chou, L. H., Lu, C. -K., Chang, J. -R., & Lee, M. T. (2007). Use of waste rubber as concrete additive. *Waste Management & Research*, 25(1), 68-76. doi:<https://doi.org/10.1177/0734242X07067448>
24. Civilgeeks. (n.d.). El bloque de concreto en la albañilería. *Civilgeeks. Ingeniería y Construcción*. Retrieved from CivilGeeks.com | La web del Ingeniero Civi: <https://civilgeeks.com/2011/12/09/el-bloque-de-concreto-en-albanileria/>
25. Coelho, C., Santos, J., Resende, P., Hallak, T., Aguilar, M., & Thomas, C. (2018). Polymer-cementitious composites containing recycled rubber particles. *Construction and Building Materials*, 170, 446-454. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.017>
26. Concrete Manufacturers Association. (n.d.). Concrete block paving. In *Book 1 - Introduction* (pp. 1-32). Retrieved from <http://www.cma.org.za/Publications/Paving>
27. Continental. (n.d.). Tire History. *Continental. The Future in Motion*. Retrieved from <https://www.continental-truck.com/truck/company/business-unit/tirehistory>
28. CusiHuallpa, P. (2015). Diseño de una vibro-compactadora para la producción de prefabricados de concreto para la zona urbana del Cusco. (*Tesis de Titulación*). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú. Retrieved from <http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/UNSAAC/175>
29. Darshan, H., Puru, V., Manjunatha, R., Naveen, N., & Naveen, B. (2017). An Experimental Study on Rubberized Concrete. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 6(7), 12543-12550. doi:10.15680 / IJIRSET.2017.0607012
30. Davies, B. (1986). Natural Rubber - its Engineering Characteristics. *Materials & Design*, 7, 68-74. doi:[https://doi.org/10.1016/S0261-3069\(86\)80004-8](https://doi.org/10.1016/S0261-3069(86)80004-8)
31. Edinçliler, A., Baykal, G., & Saygılı, A. (2010). Influence of different processing techniques on the mechanical properties of used tires in embankment construction. *Waste Management*, 30(6), 1073-1080. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.09.031>
32. Eid, F. M., Safan, M., & 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. Retrieved from <https://inpressco.com/enhanced-properties-of-crumb-rubber-and-its-application-in-rubberized-concrete/>
33. Eltayeb, E., Ma, X., Zhuge, Y., & Youssf, O. (2020). Fresh and Hardened Properties of Innovative Foamed-Rubberized Concrete. *Springer Link*, 37, 33-44. doi:https://doi.org/10.1007/978-981-13-7603-0_4
34. Flower, D., & Sanjayan, J. (2007). Green House Gas Emissions due to Concrete Manufacture. *Concrete Manufacture*, 12(5), 282-288. doi:<https://doi.org/10.1065/lca2007.05.327>
35. Gaikwad, S., Nalage, S., Nazare, N., & Joshi, R. (2019). Use of Waste Rubber Chips for the Production of Concrete Paver Block. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 6(3), 4829-4832. Retrieved from <https://www.irjet.net/volume6-issue3>
36. GAIN. (2019). GAIN Newsletter. *Global Aggregates Information Network*. Retrieved from <https://www.gain.ie/gain-newsletters>
37. Galicia, M., & Velásquez, M. (2016). Análisis comparativo de la resistencia a la compresión de un concreto adicionado con ceniza de rastrojo de maíz elaborado con agregados de la canteras de Cunyac y Vicho con respecto a un concreto patrón de calidad $f'c=210$ KG/CM². (*Tesis de Titulación*). Universidad Andina del Cusco, Cusco, Perú. Retrieved from <http://repositorio.uandina.edu.pe/handle/UAC/348>
38. Gent, A. (2013). Rubber Elasticity: Basic Concepts and Behavior. *The Science and Technology of Rubber (Fourth Edition)*, 1-26. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394584-6.00001-7>

39. Ghafoori, N., & Diawara, H. (2010). Influence of temperature on fresh performance of self-consolidating concrete. *Construction and Building Materials*, 24, 946-955. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.11.023>
40. Ghani, A., ElGawady, M., & Myers, J. (2017). Mechanical Characterization of Concrete Masonry Units Manufactured with Crumb Rubber Aggregate. *ACI Materials Journal*, 114(1), 65-76. doi:[10.14359/51689482](https://doi.org/10.14359/51689482)
41. Goodyear. (n.d.). Goodyear History. *Goodyear Corporate*. Retrieved from <https://corporate.goodyear.com/en-US/about/history.html>
42. Guevara, G., Hidalgo, C., Pizarro, M., Rodríguez, I., Rojas, D., & Segura, G. (2012). Efecto de la variación agua/cemento en el concreto. *Revista Tecnología En Marcha*, 25(2), 80-86. doi:<https://doi.org/10.18845/tm.v25i2.1632>
43. Gujel, Â. A., Brandalise, R. N., Crespo, M. G., & Nunes, R. C. (2008). Incorporação de Pó de Pneu em uma Formulação para Banda de Rodagem de Pneu de Motocicleta. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 18(4), 320-325. doi:<http://dx.doi.org/10.1590/S0104-14282008000400011>
44. Guo, S., Dai, Q., Ruizhe, S., Sun, X., & Chao, L. (2017). Evaluation of properties and performance of rubber-modified concrete for recycling of waste scrap tire. *Journal of Cleaner Production*, 148, 681-689. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.046>
45. Gupta, T., Siddique, S., Sharma, R., & Chaudhary, S. (2019). Behaviour of waste rubber powder and hybrid rubber concrete in aggressive environment. *Construction and Building Materials*, 217, 283-291. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.05.080>
46. Gutiérrez, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción*. Manizales, Colombia. Retrieved from <https://civilgeeks.com/2012/04/30/el-concreto-y-otros-materiales-para-la-construccion-libro/>
47. Hainin, M., Hasanani, M., & Ling, T.-C. (2009). Properties of Crumb Rubber Concrete Paving Blocks. *Road Materials and Pavement Design*, 10(1), 213-222. doi:<https://doi.org/10.1080/14680629.2009.9690188>
48. Hall, R. O. (1979). Rubber as an engineering material. *International Journal of Materials in Engineering Applications*, 1(5), 295-302. doi:[https://doi.org/10.1016/S0141-5530\(79\)90183-3](https://doi.org/10.1016/S0141-5530(79)90183-3)
49. Hassanli, R., Osama, Y., & Julie, M. (2016). Assessment of the mechanical performance of crumb rubber concrete. *Construction and Building Materials*, 125, 175-183. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.040>
50. Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2006). *Metodología de la Investigación*. (5ta Edición ed.). México: The McGraw-Hill. Retrieved from https://www.esup.edu.pe/division_investigacion_material.html
51. Higuera, C., & Pacheco, Ó. (2010). Patología de pavimentos articulados. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 9(17), 75-94. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75017164013>
52. Historic UK. (n.d.). History of Scotland. *The History and Heritage Accommodation Guide*. Retrieved from <https://www.historic-uk.com/HistoryUK/HistoryofScotland/Robert-William-Thomson/>
53. Hurley, P. E. (2006). History of Natural Rubber. *Journal of Macromolecular Science: Part A - Chemistry: Pure and Applied Chemistry*, 15(7), 1279-1287. doi:<http://dx.doi.org/10.1080/00222338108056785>
54. ICCG. (n.d.). Guía de Instalación de Adoquines de Concreto-ICCG. *Instituto del Cemento y del Concreto de Guatemala*, 1-40. Retrieved from <http://www.iccg.org.gt/index.php/biblioteca>
55. ICG. (2019). Materiales del concreto. *Instituto de Construcción y Gerencia*, 63-77.
56. Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2018, Junio Lunes). *Estadísticas*. Retrieved from <https://www.inei.gob.pe/prensa/noticias/poblacion-del-peru-totalizo-31-millones-237-mil-385-personas-al-2017-10817/>
57. Ishai, I. (2003). Comparative Economic-Engineering Evaluation of Concrete Block Pavements. *Road Materials and Pavement Design*, 4(3), 251-268. doi:<https://doi.org/10.1080/14680629.2003.9689948>
58. Jokar, F., Khorram, M., Karimi, G., & Hataf, N. (2019). Experimental investigation of mechanical properties of crumbed rubber concrete containing natural zeolite. *Construction and Building Materials*, 208, 651-658. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.063>
59. Kashani, A., Ngo, T. D., Mendis, P., Black, J. R., & Hajimohammadi, A. (2017). A sustainable application of recycled tyre crumbs as insulator in lightweight cellular concrete. *Journal of Cleaner Production*, 149, 925-935. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.154>

60. Khaloo, A., Dehestani, M., & Rahmatabadi, P. (2008). Mechanical properties of concrete containing a high volume of tire-rubber particles. *Waste Management*, 28(12), 2472-2482. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.01.015>
61. Khatib, J. (2009). Introduction. *Sustainability of Construction Materials*, 13-18. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-1-84569-349-7.50015-1>
62. Kush, A., Goyvaerts, E., Chye, M. -L., & Chua, N. -H. (1990). Laticifer-specific gene expression in *Hevea brasiliensis* (rubber tree). *Proc Natl Acad Sci U S A.*, 87, 1787-1790. doi:[10.1073/pnas.87.5.1787](https://doi.org/10.1073/pnas.87.5.1787)
63. Landi, D., Marconi, M., Meo, I., & Germani, M. (2018). Reuse scenarios of tires textile fibers: an environmental evaluation. *Procedia Manufacturing*, 21, 329-336. doi:<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.128>
64. Langer, W. (2016). Sustainability of aggregates in construction. *Sustainability of Construction Materials (Second Edition)*, 181-207. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100370-1.00009-3>
65. Ledezma, F., & Yauri, W. (2018). Diseño de mezcla del concreto para elaboración de adoquines con material reciclado de neumáticos en la provincia de Huancavelica. (*Tesis de Titulación*). Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú. Retrieved from <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/1800>
66. Li, D., Zhuge, Y., Gravina, R., Benn, T., & Mills, J. (2020). Creep and drying shrinkage behaviour of crumb rubber concrete (CRC). *Australian Journal of Civil Engineering*, 1-18. doi:<https://doi.org/10.1080/14488353.2020.1761510>
67. Li, J., Gui, R., Cheng, L., & Feng, L. (2016). Mechanical characterization of waste-rubber-modified recycled aggregate concrete. *Journal of Cleaner Production*, 1-14. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.003>
68. Li, W., Huang, Z., Wang, X., & Wang, J. (2014). Review of Crumb Rubber Concrete. *Applied Mechanics and Materials*, 672-674, 1833-2837. doi:[10.4028/www.scientific.net/AMM.672-674.1833](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.672-674.1833)
69. Lim, M., Nor, M., & Ling, M. (2010). Using recycled waste tyres in concrete paving blocks. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers.*, 37-45. doi:<https://doi.org/10.1680/warm.2010.163.1.37>
70. Ling, T. -C., & Nor, H. M. (2006). Granulated waste tyres in concrete paving block. *Proceedings of the 6th Asia-Pacific Structural Engineering and Construction Conference (APSEC 2006), 5-6 September 2006, Kuala Lumpur, Malaysia.*, 64-70. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/228518443>
71. Ling, T. C., Nor, H. M., & Lim, S. K. (2010). Using recycled waste tyres in concrete paving blocks. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Waste and Resource Management*, 163(1), 37-45. doi:<https://doi.org/10.1680/warm.2010.163.1.37>
72. Ling, T., Nor, H., & Hainin, M. (2009). Properties of Crumb Rubber Concrete Paving Blocks with SBR Latex. *Road Materials and Pavement Design*, 213-222. doi:<https://doi.org/10.1080/14680629.2009.9690188>
73. Lo Presti, D. (2013). Recycled Tyre Rubber Modified Bitumens for road asphalt mixtures: A literature review. *Construction and Building Materials*, 49, 863-881. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.09.007>
74. Lv, J., Du, Q., Zhou, T., He, Z., & Li, K. (2019). Fresh and Mechanical Properties of Self-Compacting Rubber Lightweight Aggregate Concrete and Corresponding Mortar. *Advances in Materials Science and Engineering*, 1-14. doi:<https://doi.org/10.1155/2019/8372547>
75. Lv, J., Zhou, T., Du, Q., & Wu, H. (2015). Effects of rubber particles on mechanical properties of lightweight aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 91, 145-149. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.05.038>
76. Ma, Q. W., & Yue, J. C. (2013). Effect on Mechanical Properties of Rubberized Concrete due to Pretreatment of Waste Tire Rubber with NaOH. *Applied Mechanics and Materials*, 357-360, 897-904. doi:[10.4028/www.scientific.net/AMM.357-360.897](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.357-360.897)
77. Marconi, M., Landi, D., Meo, I., & Germani, M. (2018). Reuse of Tires Textile Fibers in Plastic Compounds: Is this Scenario Environmentally Sustainable? *Procedia CIRP*, 69, 944-949. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.074>
78. Martínez, J., Betancur, M., Murillo, R., García, T., & Veses, A. (2015). Valorización de neumáticos fuera de uso por pirólisis: rendimiento y propiedades de los productos usando un reactor de tipo auger. *X Congreso Nacional y V Internacional del Carbono y Tecnología del Carbón y Combustibles Alternativos, At Medellín*, 389-397. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/289999506>

79. Martínez, J., Puy, N., Murillo, R., García, T., Navarro, M., & Mastral, A. (2013). Waste tyre pyrolysis – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 179-213. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.02.038>
80. Miandad, R., Barakat, M. A., Rehan, M., Aburiazaza, A. S., Gardy, J., & Nizami, A. S. (2018). Effect of advanced catalysts on tire waste pyrolysis oil. *Process Safety and Environmental Protection*, 116, 542-552. doi:<https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.03.024>
81. Mills, J., Hassani, R., & Youssf, O. (2016). Assessment of the mechanical performance of crumb rubber concrete. *Construction and Building Materials*, 125, 175-183. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.040>
82. Ministerio de Energía y Minas. (2018). *Estadísticas*. Retrieved from http://www.minem.gob.pe/_estadisticaSector.php?idSector=1&idCategoria=10
83. Mohammed, B., & Adamu, M. (2018). Mechanical performance of roller compacted concrete pavement containing crumb rubber and nano silica. *Construction and Building Materials*, 159, 234-251. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.098>
84. Montalvo, S. Y. (2016). Diseño de adoquines de caucho con el uso de poliuretano y material reciclado de llantas usadas. (*Tesis de Titulación*). Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador. Retrieved from <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/2085>
85. Naito, C., States, J., Jackson, C., & Bewick, B. (2014). Assessment of Crumb Rubber Concrete for Flexural Structural Members. *Journal of Materials in Civil*, 26(10), 1-8. doi:[10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000986](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000986).
86. Nakhai, A., & Alhumoud, J. (2020). Properties of Concrete Containing Scrap (Recycled) Tire-Rubber. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 15(2), 653-658. doi:[10.36478/jeasci.2020.653.658](https://doi.org/10.36478/jeasci.2020.653.658)
87. Noriman, Z., Ismail, H., & Rashid, A. (2008). Curing Characteristics and Mechanical and Morphological Properties of Styrene Butadiene Rubber/Virgin Acrylonitrile-Butadiene Rubber (SBR/vNBR) and Styrene Butadiene Rubber/Recycled Acrylonitrile Butadiene Rubber (SBR/rNBR) Blends. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 47(10), 1016-1023. doi:<https://doi.org/10.1080/03602550802355206>
88. Nuzaimah, M., Sapuan, S., Nadlene, R., & Jawaid, M. (2020). Effect of Surface Treatment on the Performance of Polyester Composite Filled with Waste Glove Rubber Crumbs. *Waste and Biomass Valorization*. doi:<https://doi.org/10.1007/s12649-020-01008-2>
89. Ñaupas, H., Mejía, E., Novoa, E., & Villagómez, A. (2014). *Metodología de la investigación cuantitativa - cualitativa y redacción de la tesis*.
90. Oboirien, B., & Norte, B. (2017). A review of waste tyre gasification. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(5), 5169-5178. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.09.057>
91. Ochoa, J. (2006). Pavimentación con adoquines hexagonales de concreto para tráfico de carga pesada. Aplicación experimental en la plataforma de descarga de las estaciones ferroviarias de Anchieta y Sta. Clara. (*Tesis de Titulación*). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú. Retrieved from <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/435>
92. Ohemeng, E. A., & Yalley, P. P.-K. (2013). Models for predicting the density and compressive strength of rubberized concrete pavement blocks. *Construction and Building Materials*, 47, 656-661. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.05.080>
93. Ohemeng, E., & Yalley, P. (2013). Models for predicting the density and compressive strength of rubberized concrete pavement blocks. *Construction and Building Materials*, 47, 656-661. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.05.080>
94. Oikonomou, N., & Mavridou, S. (2009). The use of waste tyre rubber in civil engineering works. *Sustainability of Construction Materials*, 213-238. doi:<https://doi.org/10.1533/9781845695842.213>
95. Ontario Tire Stewardship. (2019). *RethinkTires: Ontario Tire Stewardship*. Retrieved from <https://rethinktires.ca/#sthash.u57bjhov.dpbs>
96. Owen, K. (1998). Scrap tires: A pricing strategy for a recycling industry. *Corporate Environmental Strategy*, 5(2), 42-50. doi:[https://doi.org/10.1016/S1066-7938\(00\)80065-2](https://doi.org/10.1016/S1066-7938(00)80065-2)
97. Pattabhi, K., Walawender, W., & Ventilador, L. (1981). Gasification of waste tires in a fluid bed reactor. *Conservation & Recycling*, 4(2), 79-88. doi:[https://doi.org/10.1016/0361-3658\(81\)90036-9](https://doi.org/10.1016/0361-3658(81)90036-9)

98. Paucar, B., & Tacuri, S. (2014). Estudio de las condiciones que generan un desgaste anormal de los neumáticos radiales para vehículos pesados que impiden su reutilización como base para reencauche. (*Tesis de Titulación*). Universidad Politécnica SALESIANA, Cuenca, Ecuador. Retrieved from <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7975>
99. Petek, A., Masanet, E., Horvath, A., & Stadel, A. (2014). Life-cycle inventory analysis of concrete production: A critical review. *Cement & Concrete Composites*, 51, 38-48. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.03.005>
100. Piñheiro, S. (2015). Diagnóstico situacional y disposición final de los residuos especiales (neumáticos), usados en la ciudad de Iquitos - Loreto. 2014. (*Tesis de Titulación*). Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, Iquitos, Perú. Retrieved from <http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/UNAP/3285>
101. Pliego, E., Velazquez, J., Eichhorn, M., & Fraguera, A. (2018). Increased Efficiency in the Second-Hand Tire Trade Provides Opportunity for Dengue Control. *Journal of Theoretical Biology*, 437, 126-136. doi:[10.1016/j.jtbi.2017.10.025](https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2017.10.025)
102. Pontificia Universidad Católica de Chile. (2016). *Facultad de química y farmacia*. Retrieved from <http://quimica.uc.cl/es/2-uncategorised/204-sabes-tu-que-es>
103. Purcell, A. (1978). Tire recycling: Research trends and needs. *Conservation & Recycling*, 2(2), 137-143. doi:[https://doi.org/10.1016/0361-3658\(78\)90053-X](https://doi.org/10.1016/0361-3658(78)90053-X)
104. Raffoul, S., Garcia, R., Pilakoutas, K., Guadagnini, M., & Flores, N. (2016). Optimisation of rubberised concrete with high rubber content: An experimental investigation. *Construction and Building Materials*, 124, 391-404. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.054>
105. Reddy, G., Madhusudana, B., & Venkata, N. (2018). Quality of mixing water in cement concrete “a review”. *Materials Today: Proceedings*, 5(1), 1313-1320. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.216>
106. Rey, E. (2018). Propiedades físico-mecánicas de adoquines con polipropileno y caucho al 10% y 15% de reemplazo del agregado grueso, para su utilización en tránsito liviano en pavimentos articulados. (*Tesis de titulación*). Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú. Retrieved from <http://hdl.handle.net/11537/13848>
107. Rose, K., & Steinbüchel, A. (2005). Biodegradation of Natural Rubber and Related Compounds: Recent Insights into a Hardly Understood Catabolic Capability of Microorganisms. *APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY*, 2803-2812. doi:[10.1128 / AEM.71.6.2803-2812.2005](https://doi.org/10.1128/AEM.71.6.2803-2812.2005)
108. Roy, C., Labrecque, B., & Caumia, B. (1990). Recycling of scrap tires to oil and carbon black by vacuum pyrolysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 4(3), 203-213. doi:[https://doi.org/10.1016/0921-3449\(90\)90002-L](https://doi.org/10.1016/0921-3449(90)90002-L)
109. Salguero, V. (2013). Adoquines modificados con fibra de polipropileno para el uso en vías de la ciudad de Quito. (*Tesis de Titulación*). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador. Retrieved from <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2212>
110. Sanchez, D. (2001). *Tecnología del Concreto y del Mortero*. Bogota, Colombia: Bhandar Editores LTDA. Retrieved from https://books.google.com.pe/books?id=EWq-QPJhsRAC&printsec=frontcover&dq=guzman+tecnologia+del+concreto&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiU-dym3P_iAhWlrFkKHVdDD2UQ6AEIKDAA#v=onepage&q=guzman%20tecnologia%20del%20concreto&f=false
111. Sebola, M. R., Mativenga, P. T., & Pretorius, J. (2018). A Benchmark Study of Waste Tyre Recycling in South Africa to European Union Practice. *Procedia CIRP*, 69, 950-955. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.137>
112. Segre, N., Monteiro, P., & Sposito, G. (2002). Surface Characterization of Recycled Tire Rubber to Be Used in Cement Paste Matrix. *Journal of Colloid and Interface Science*, 248, 521-523. doi:<https://doi.org/10.1006/jcis.2002.8217>
113. Shah, S., Shrestha, S., Maharjan, S., Karki, N., & Shrestha, R. (2019). Evaluation of Performance of Rubber Concrete. *Proceedings of IOE Graduate Conference*, 6, 599-603. Retrieved from <http://conference.ioe.edu.np/publications/ioegc2019-summer/>
114. Sharma, V., Mincarini, M., Fortuna, F., Cognini, F., & Cornacchia, G. (1998). Disposal of waste tyres for energy recovery and safe environment—Review. *Energy Conversion and Management*, 39(5-6), 511-528. doi:[https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(97\)00044-7](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(97)00044-7)

115. Si, R., Wang, J., Guo, S., Dai, Q., & Han, S. (2018). Evaluation of laboratory performance of self-consolidating concrete with recycled tire rubber. *Journal of Cleaner Production*, 180, 823-831. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.180>
116. Siddique, R., & TR, N. (2004). Properties of concrete containing scrap-tire rubber – an overview. *Waste Management*, 24(6), 563 - 569. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.01.006>
117. Sofi, A. (2017). Effect of waste tyre rubber on mechanical and durability properties of concrete – A review. *Ain Shams Engineering Journal*, 1-10. doi:<https://doi.org/10.1016/j.asej.2017.08.007>
118. SoftSchools. (n.d.). Rubber - History of Rubber. Retrieved from http://www.softschools.com/inventions/history/rubber_history/290/
119. Song, P., Zhao, X., Cheng, X., Li, S., & Wang, S. (2018). Recycling the nanostructured carbon from waste tires. *Composites Communications*, 7, 12-15. doi:<https://doi.org/10.1016/j.coco.2017.12.001>
120. Suarez, I., & Mujica, E. (2016). Bloques de concreto con material reciclable de caucho para obras de edificación. (*Tesis de titulación*). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú. Retrieved from <http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/UNSAAC/1336>
121. Sugapriya, P., & Ramkrishnan, R. (2018). Crumb Rubber Recycling in Enhancing Damping Properties of Concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 310, 1-11. doi:[10.1088/1757-899X/310/1/012013](https://doi.org/10.1088/1757-899X/310/1/012013)
122. Sukontasukkul, P., & Chaikaew, C. (2006). Properties of concrete pedestrian block mixed with crumb rubber. *Construction and Building Materials*, 20(7), 450-457. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.01.040>
123. Tamayo, M. (2004). *El proceso de la investigación científica*. (4ta Edición ed.). México: Limusa Noriega Editores. Retrieved from https://books.google.com.pe/books?id=BhymmEqkJwC&printsec=frontcover&dq=El+proceso+de+la+Investigacion+Cientifica&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiDk8bUIJ_jAhXJrFkKHcxFCMoQ6AEIKDAA#v=onepage&q=El%20proceso%20de%20la%20Investigacion%20Cientifica&f=false
124. Thomas, B. S., & Chandra, R. (2015). Properties of high strength concrete containing scrap tire rubber. *Journal of Cleaner Production*, 113, 86-92. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.019>
125. Tian, S., Zhang, T., & Li, Y. (2011). Research on Modifier and Modified Process for Rubber-particle Used in Rubberized Concrete for Road. *Advanced Materials Research*, 243-249, 4125-4130. doi:<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.243-249.4125>
126. Tirel, K. (2017). Ingeniería de perfil de modernas plantas para reciclaje de neumáticos fuera de uso (NFU). (*Tesis de Titulación*). Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile. Retrieved from <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/144472>
127. Torretta, V., Rada, C., Ragazzi, M., Trulli, E., Istrate, A., & Cioca, I. (2015). Treatment and disposal of tyres: Two EU approaches. A review. *Waste Management*, 45, 152-160. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.04.018>
128. Tung, C. (2012). Effects of compaction method and rubber content on the properties of concrete paving blocks. *Construction and Building Materials*, 28(1), 164-175. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.08.069>
129. Vargas, I. (2016). Resistencia a compresión axial de concreto $f_c = 210$ kg/cm² utilizando diferentes tipos de agua- Cajamarca 2016. (*Tesis de Titulación*). Universidad Privada del Norte, Lima, Perú. Retrieved from <http://hdl.handle.net/11537/11026>
130. Wadel, G. (2009). La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: la construcción modular ligera aplicada a la vivienda. (*PhD Tesis*). Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España. doi:www.tdx.cat/TDX-0122110-180946
131. Yepes, W., Cardona, N., Velásquez, S., & Carrascal, A. (2017). Revisión - Caracterización de compuestos de caucho con residuos de cuero posindustrial. *Revista Prospectiva*, 15, 13-25. doi:<http://dx.doi.org/10.15665/rp.v15i2.776>
132. Youssf, O., Hassanli, R., Mills, J., Skinner, W., Ma, X., Zhuge, Y., . . . Gravina, R. (2019). Influence of Mixing Procedures, Rubber Treatment, and Fibre Additives on Rubcrete Performance. *Journal of Composites Science*, 3(2), 1-17. doi:<https://doi.org/10.3390/jcs3020041>

133. Yugsi, E. (2018). Análisis de las propiedades mecánicas de adoquines elaborados con hormigón y polvillo de caucho de neumáticos reciclados y su correlación con adoquines convencionales. *Tesis de Titulación*. Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador. doi:<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/14416>

ANEXOS

Matriz de consistencia.

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS
Problema Principal:	Objetivo General:	Hipótesis General:
¿En que medida el uso del caucho reciclado mejora la caracterización físico-mecánico del concreto para la elaboración de adoquines?	Proponer el uso del caucho reciclado para mejorar la caracterización físico-mecánico del concreto para la elaboración de adoquines.	El uso del caucho reciclado mejorará la caracterización físico-mecánico del concreto para la elaboración de adoquines.
Problemas Específicos:	Objetivos Específicos:	Hipótesis Específicos:
¿En qué medida el uso del caucho reciclado mejora los ensayos de asentamiento, temperatura y peso unitario del concreto en estado fresco?	Proponer el uso del caucho reciclado para mejorar los ensayos de asentamiento, temperatura y peso unitario del concreto en estado fresco.	El uso del caucho reciclado mejorará los ensayos de asentamiento, temperatura y peso unitario del concreto en estado fresco.
¿En qué medida el uso del caucho reciclado influye en la resistencia a la flexión de los adoquines de concreto?	Demostrar la influencia del uso del caucho reciclado en la resistencia a la flexión en los adoquines de concreto.	El uso del caucho reciclado mejorará la resistencia a la flexión en los adoquines de concreto.
¿En que medida el uso del caucho reciclado influye en la resistencia a la compresión de los bloques de concreto?	Demostrar la influencia del uso del caucho reciclado en la resistencia a la compresión de los bloques de concreto.	El uso del caucho reciclado mejorará la resistencia a la compresión en los bloques de concreto.

OPERALIZACION DE VARIABLES

VI: EL USO DEL CAUCHO RECICLADO

<u>Dimensiones</u>	<u>Indicadores</u>	<u>Instrumento</u>	<u>Unidad de medida</u>	<u>Referencia</u>
5%, 10% y, 15% en peso de agregado fino reemplazado por por particulas de caucho	Granulometria	Tamices, balanza y protocolos	%	ASTM C136
	Peso Especifico	Canastilla, tamices, balanza y protocolos	g/cm ³	ASTM C127
	Peso Unitario Suelto	Recipiente, balanza y protocolos	kg/m ³	ASTM C29
	Peso Unitario Compactado	Recipiente, balanza y protocolos	kg/m ³	ASTM C29

VD: INFLUENCIA EN LA CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICO DEL CONCRETO PARA LA ELABORACIÓN DE ADOQUINES.

Caracterización física del concreto en estado fresco	Asentamiento	Cono de abrams, varilla, wincha y protocolos	mm	ASTM C143
	Temperatura	Termometro digital y protocolos	°C	ASTM C1064
	Peso unitario	Recipiente, varilla, balanza y protocolos	kg/m ³	ASTM C138
Caracterización mecánica del concreto en estado endurecido	Resistencia a la flexión	Compresómetro y protocolos	kg/cm ²	ASTM C293
Caracterización mecánica del concreto en estado endurecido	Resistencia a la compresión	Compresómetro y protocolos	kg/cm ²	ASTM C140

Certificado de Laboratorio

INGEOCONTROL SAC: Miembro Corporativo de la Asociación Americana de Ensayos de Materiales (ASTM).



Indigo BioAutomatización



Indo Count Industries Ltd

[Ver sitio web](#)



Grupo de Inspección Industrial

[Más información](#)

[Ver sitio web](#)



Corporación Inerte



Infineum USA LP

[Más información](#)

[Ver sitio web](#)



Ingeocontrol

[Más información](#)

[Ver sitio web](#)

