

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica y Materiales

ESTUDIO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

EN MEZCLA DE CONCRETO CON

CAUCHO RECICLADO

**TRABAJO DE SUFICIENCIA
PROFESIONAL**

Presentado por:

Bach. Antony Jesús Galindo Luque

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO METALURGISTA

TACNA – PERÚ

2024

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica y Materiales

ESTUDIO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN MEZCLA DE CONCRETO CON CAUCHO RECICLADO

Trabajo de Suficiencia Profesional sustentado y aprobado el día 05 de Julio del 2024
por el bachiller Antony Jesús Galindo Luque, estando integrado el Jurado Calificador por:

PRESIDENTE: 

Dr. Tolomeo Raúl Soto Pérez

SECRETARIO: 

ING. Julián Nieto Quispe

VOCAL: 

Dr. Nataniel Mario Linares Gutiérrez

ASESOR: 

ING. Julián Nieto Quispe




CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo **Julian Nieto Quispe**, docente de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica y materiales como asesor designado para realizar la evaluación a través del software de similitud textual **TURNITIN** del trabajo de **SUFICIENCIA PROFESIONAL**, modalidad de titulación acreditada por Resolución de Facultad N° **8778-2024-FAIN/UNJBG**, certifico que el informe titulado: **ESTUDIO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN MEZCLA DE CONCRETO CON CAUCHO RECICLADO** presentado por el Bachiller **ANTONY JESÚS GALINDO LUQUE** para optar el **Título de Ingeniero Metalurgista**, cumple con lo establecido en el reglamento de originalidad y similitud de trabajos de investigación y producción intelectual, considerando que según la evaluación realizada a través del software de similitud textual **TURNITIN** con código de identificación de reporte de similitud oid: **23228:365863283** cuenta con el nivel de similitud que es permitido cuyo porcentaje es de **5 %** por lo que doy fe de la veracidad y queda declarado no cometer el delito de falsedad genérica del contenido del **TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL** y está de acuerdo con el **NIVEL PERMITIDO**, para continuar con los trámites correspondientes y para su publicación en el repositorio institucional.

Firmo el presente certificado con fines de continuar con los trámites respectivos para su publicación.

Tacna, 11 de Julio del 2024


Firma del Asesor



DNI: 00476093
Ing. Julian Nieto Quispe



Firma del Titulante



DNI: 71786270
Antony Jesús Galindo Luque



DEDICATORIA

Esta dedicatoria es especialmente para las personas que siempre estuvieron a mi lado en todo momento, que desde el principio depositaron la plena confianza en mí, sin dudar de que conseguiría mis objetivos. A mi Abuelo, por ser el elemento principal, motivación y guía en mi vida en este proceso académico, Tu presencia en mi vida es un regalo inigualable, y este logro es por ti, para ti y por nosotros.

AGRADECIMIENTO

A mis familiares por estar siempre conmigo en buenos y malos momentos, que siempre tuvieron la paciencia y el cariño para inculcarme valores principales.

A Dios, por permitirme vivir este sueño, por abrirme el camino correcto para seguir y no dejar rendirme cuando las cosas estaban difíciles, por enseñarme la benevolencia adecuada para solucionar mis problemas.

Dar gracias a la vida por hacer que las cosas difíciles las vea sencilla y poder seguir adelante.

El camino no fue nada sencillo para mí, sin embargo estoy inmensamente agradecido con aquellas personas que fueron parte del proceso. Su amor, bondad y comprensión sin duda me han ayudado a ser mejor persona y profesional. Esto es por ustedes.

CONTENIDO

| | |
|---|----|
| DEDICATORIA | iv |
| AGRADECIMIENTO | v |
| CONTENIDO | vi |
| ÍNDICE DE TABLAS | ix |
| ÍNDICE DE FIGURAS | x |
| RESUMEN | 1 |
| ABSTRACT | 2 |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO I | 2 |
| 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA | 2 |
| 1.1.1. Problemática de la investigación | 2 |
| 1.2. Justificación | 3 |
| 1.2.1. Justificación técnica | 3 |
| 1.2.2. Justificación económica | 3 |
| 1.3. OBJETIVOS | 4 |

| | | |
|---------|---|----|
| 1.3.1. | Objetivo general | 4 |
| 1.3.2. | Objetivo específico | 4 |
| 2.1. | ANTECEDENTES | 5 |
| 2.1.1. | Antecedentes nacionales | 5 |
| 2.1.2. | Antecedentes Internacionales | 7 |
| 2.2. | DESCRIPCIÓN TECNOLÓGICA | 8 |
| 2.2.1. | Resistencia a la compresión | 8 |
| 2.2.2. | Factores que afectan la resistencia a la compresión | 9 |
| 2.2.3. | Agregados | 10 |
| 2.2.4. | Concreto | 12 |
| 2.2.5. | Cemento | 13 |
| 2.2.6. | Agua de mezcla | 14 |
| 2.2.7. | Agua de curado | 15 |
| 2.2.8. | Granulometría | 15 |
| 2.2.9. | Diseño de mezcla de concreto | 18 |
| 2.2.10. | Método de prueba de resistencia a la compresión | 18 |
| 2.2.11. | Caucho | 19 |

| | |
|--|----|
| 2.2.12. Neumáticos (caucho) | 20 |
| 2.2.13. Proceso de recuperación de los neumáticos | 21 |
| 2.2.14. Aditivos plastificantes | 22 |
| 2.2.15. Materiales empleados en los análisis | 22 |
| 3.1. Diseño de experimentos y fabricación de muestras | 24 |
| 3.1.1. Resultados experimentales y análisis | 25 |
| 3.1.2. Resistencia a la compresión cúbica del hormigón | 26 |
| 3.1.3. Resistencia a la tracción del hormigón | 28 |
| 3.1.4. Módulo elástico del hormigón | 29 |
| 3.1.5. Reglamento Nacional de Edificaciones | 31 |
| CONCLUSIONES | 32 |
| RECOMENDACIONES | 33 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 34 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Clasificación según tamaño de los agregados..... | 11 |
| Tabla 2 Requisitos granulométricos del agregado fino | 16 |
| Tabla 3 Requisitos granulométricos del agregado grueso | 17 |
| Tabla 4 Proporción de mezcla de hormigón..... | 25 |
| Tabla 5 Tabla de resultados | 26 |
| Tabla 6 Resistencia a la compresión en Kg/cm ² | 31 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 Resistencia a la compresión de un material | 9 |
| Figura 2 Fraguado de concreto | 12 |
| Figura 4 Estructura de un neumático | 21 |
| Figura 5 Resistencia a la compresión del hormigón vs cantidad de caucho . | 27 |
| Figura 6 Resistencia a la tracción del hormigón. | 28 |
| Figura 7 Módulo de elasticidad del hormigón y la cantidad de caucho | 30 |

RESUMEN

La presente investigación se centra en el análisis de distintas fuentes bibliográficas para poder obtener información útil, para la mejora de la resistencia a la compresión del concreto a través del uso de partículas de caucho reciclado. Los autores estudiados mencionan que es posible la sustitución agregando a la mezcla el 10 %, 20 %, 30 %, 40 % y 50 % de caucho reciclado con aditivo plastificante por arena y poder obtener valores aceptables de compresión, que van desde 393,61 Kg/cm² hasta 281,44 Kg/cm².

Esta forma que construcción, se presenta como una alternativa para poder lograr una disposición final de llantas en desuso generadas por el parque automotor; que bordea anualmente las 50 mil toneladas de neumáticos, según el MINAM. Por otro lado, la investigación ofrece la posibilidad de proponer alternativas para la construcción de lozas, pavimentos, aceras o viviendas.

ABSTRACT

This research focuses on the analysis of different bibliographic sources to obtain useful information for improving the compressive strength of concrete through the use of recycled rubber particles. The authors studied mention that substitution is possible by adding 10 %, 20 %, 30 %, 40 % and 50 % of recycled rubber with plasticizing additive to the mixture with sand and being able to obtain acceptable compression values, ranging from 393,61 Kg/ cm² up to 281,44 Kg/cm².

This form of construction is presented as an alternative to be able to achieve a final disposal of disused tires generated by the vehicle fleet that annually amounts to around 50 thousand tons of tires, according to MINAM. On the other hand, research offers the possibility of proposing alternatives for the construction of tiles, pavements, sidewalks or homes.

INTRODUCCIÓN

El incremento de neumáticos en desuso originado por el crecimiento del parque automotor, genera un impacto negativo al medio ambiente. Debido a su abundancia y capacidad para reemplazar parcialmente el agregado en mezclas de concreto, las partículas de caucho de neumáticos reciclados se presentan como una opción prometedora. Sin embargo, la incorporación de este material puede tener un impacto negativo en las propiedades del concreto; por lo que se requieren aditivos para mejorar su desempeño y trabajabilidad.

La presente investigación, representa una propuesta innovadora sobre el entendimiento del comportamiento físico y mecánico del concreto con partículas de caucho como material de construcción en el concreto armado. El estudio se centra en el análisis de la resistencia a la compresión, a fin de evaluar su posible uso en distintos ámbitos de la construcción. Se realiza una investigación basada en el conocimiento de la ingeniería de materiales y cuya aplicación permitirá realizar construcciones de forma sostenible.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. Descripción del problema

En la mayoría de las construcciones con concreto, se consideran materiales tradicionales como arena y grava para las edificaciones; sin embargo, el uso de las fibras de caucho reciclado como agregado no es muy extendido en Perú y sobre todo en el departamento de Tacna y sus provincias, ya que se tiene poca investigación respecto a sus propiedades mecánicas y la normativa peruana, es aún incipiente respecto a ello. Además, el problema de la contaminación por neumáticos desechados es gravísima, ya que Perú posee un parque automotor creciente y el ciclo de vida de los neumáticos son cortos y únicos. Según MINAM (2021), cada año Perú genera alrededor de 50 mil toneladas de neumáticos fuera de uso. Estos se suelen acumular en veraderos provocando impactos a la salud humana y al medio ambiente.

1.1.1. Problemática de la investigación

El crecimiento poblacional peruano genera un impacto negativo al medio ambiente, por lo que la necesidad de viviendas propias es un problema latente por parte de esta población. Por lo cual, brindar una investigación innovadora sobre el comportamiento físico y mecánico del concreto con fibras

de caucho, como material de construcción en el concreto armado, nos permitirá estudiar su resistencia a la compresión y evaluar su posible uso en distintos ámbitos de la construcción.

1.2. Justificaciones

1.2.1. Justificación técnica

El presente estudio busca analizar la resistencia a la compresión de probetas de concreto, que contienen caucho reciclado en base a diferentes estudios previos donde se evaluó la adición de diferentes porcentajes de caucho reciclado de neumáticos en desuso como agregado adicional en una mezcla establecida por la A.C.I. (*instituto americano de concreto*) que garantiza la obtención de resistencia a la compresión de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$.

1.2.2. Justificación económica

La presente investigación puede influir de manera positiva en la construcción de todo tipo de edificaciones con concreto.

- Reducción de costos de producción: el caucho reciclado de llantas en desuso es un material más económico que los agregados tradicionales. Por lo cual, reemplazar parte de los agregados tradicionales resultaría en un ahorro económico.

- Disposición de material contaminante: el uso de caucho reciclado en la construcción es una forma de tratamiento de material que permite reducir costos relacionados con la contaminación al medio ambiente y salud pública. Esto facilita el desarrollo de hormigones con un menor impacto y desarrolla construcciones de forma sostenible.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar el efecto de la proporción de caucho reciclado sobre la resistencia a la compresión de las mezclas de concreto-caucho

1.3.2. Objetivo específico

- Preparar mezclas de concreto con diversas proporciones de caucho reciclado (neumáticos) y plastificante
- Realizar ensayos de resistencia a la compresión de las mezclas de concreto-caucho-plastificante
- Determinar el efecto de la proporción de caucho reciclado y plastificante sobre la resistencia a la compresión de las mezclas de concreto-caucho-plastificante.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

El concreto es uno de los materiales más empleados en el mundo y se caracteriza por tener propiedades de durabilidad y alta resistencia al desgaste. Por lo cual, existe muchos artículos científicos que buscan complementar su aplicación, como el de Ling (2011) donde realizó una investigación sobre ecuaciones logarítmicas y lineales para predecir densidades y resistencia a la compresión de estructuras de concreto. En el estudio, el autor propone una variación entre 10 % a 40 % de reemplazo de caucho reciclado. Además, Pelisser et al. (2011) realizaron una investigación donde el caucho reciclado demostró ser un excelente agregado para su uso en la preparación de hormigón, con un tratamiento químico de hidróxido de sodio obteniendo una resistencia a la compresión de 50 MPa después de 28 días.

2.1.1. Antecedentes nacionales

El incremento poblacional genera una mayor demanda de viviendas. En el caso peruano, se estima que la población aumentará en 35 millones de personas para el 2030 y bordeará los 40 millones para el 2040 (INEI, 2019). Este crecimiento demandará mayor número de viviendas y de materiales de construcción tanto en sectores rurales y urbanos.

Por otro lado, en el año 2018 ingresaron al mercado peruano 3.6 millones de neumáticos, equivalentes a 67 mil toneladas. El ciclo de vida de un neumático es corto en comparación a su degradación, que es alrededor de 500 años; lo que causa problemas ambientales, por la inadecuada gestión y manejo de neumáticos fuera de uso, que producen efectos como la emisión de gases contaminantes, generación de puntos críticos de concentración de neumáticos, efectos nocivos a la salud y medio ambiente (MINAM, 2021).

INEI (2021) menciona que el acceso a la vivienda en Perú, alcanzó un déficit habitacional de aproximadamente de 1 millón 800 mil viviendas, los cuales son divididos en déficit cualitativo, con 1 millón 470 mil viviendas, con el 79 % (mala calidad en construcción, hacinamiento y servicios básicos) y un déficit cuantitativo, 389 mil viviendas, con el 21% (hogares que solo pueden tener un hogar en el interior). Entre los factores que contribuyen a esta anomalía están la pobreza, el crecimiento urbano no planificado, entre otros.

2.1.2. Antecedentes Internacionales

En la actualidad, se viene realizando distintas investigaciones al uso de nuevo materiales en el concreto armado. Estos estudios son necesarios, ya que ingenieros y científicos buscan mejorar sus propiedades y reducir su impacto ambiental. El uso de materiales reciclados permite encontrar una economía circular. Tal es el caso de estudios sobre métodos para producir concreto usando cenizas volantes, un subproducto de la quema de carbón. Este método reduce el uso del cemento en un 10 % (Huaquisto & Belizario, 2018). La finalidad de estos estudios de ingeniería de materiales es brindar tecnologías aplicadas a la sociedad.

Issa & Salem (2013) mencionan que el uso educado de materiales reciclados puede resultar en una reducción de los costos y mejorar el rendimiento. En su estudio se investigó el desempeño de caucho reciclado granulado, como sustituto de agregados finos, que van desde el 0 % hasta el 100 %, en reemplazo de la arena triturada en las mezclas de concreto. Los resultados muestran una resistencia a la compresión aceptable hasta un 25 % por la sustitución en volumen de los agregados finos.

Root (2019) menciona que los neumáticos en desuso son una gran fuente de contaminación, ya que están hechos a base caucho natural o

sintético y plástico. Estos representan el 10 % del total de microplásticos presentes en los mares del mundo y se produce unos 2,2 millones de toneladas en el mundo como desecho. Actualmente, para mitigar este impacto se opta por la fabricación de nuevos productos, como pavimentos, lozas, gras sintéticos y materiales de construcción.

En el 2023, la población mundial era de unos 8 mil millones de personas y se espera que para el año 2050 sean 9,7 mil millones. Esto se debe a la disminución de la mortalidad y al aumento de la fecundidad; sin embargo, este crecimiento tiene implicaciones negativas para todo el mundo, como la presión sobre los recursos naturales, el cambio climático; ya que se consume más energía y problemas sociales relacionados con la pobreza y la desigualdad (UN, 2019).

2.2. Descripción tecnológica

2.2.1. Resistencia a la compresión

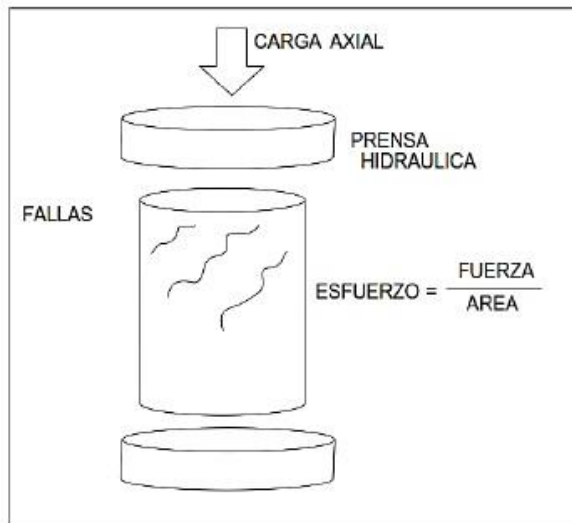
La resistencia a la compresión es una propiedad mecánica de los materiales, que tienen la capacidad para soportar una carga antes que se rompa. Esta propiedad es un factor clave para el diseño de estructuras y componentes, ya que una estructura con baja compresión puede colapsar por las cargas impuestas. La resistencia a la compresión se suele expresar en

mega pascales (MPa) o libras por pulgada cuadrada (PSI). Los materiales con alta resistencia a la compresión; es decir, los que son más resistentes a la rotura bajo cargas son concreto reforzado, acero estructural, madera dura, y piedra (Martos, 2017).

Figura

1

Resistencia a la compresión de un material



Nota. Adaptada de “Resistencia a compresión simple del concreto con yeso y residuos de conchas de abanico”, por De la Cruz et al., 2022, Scielo. CCO.

2.2.2. Factores que afectan la resistencia a la compresión

La resistencia de los materiales a la compresión se ve afectada por varios factores, pero entre los más importantes figuran aquellos que disminuyen la capacidad del material para soportar una carga antes de romperse (Rivera, 2023):

- **La composición del material:** la resistencia a la compresión es afectado por la proporción de los materiales que lo componen y hace referencia a los elementos, compuestos o mezclas que lo constituyen.
- **La estructura del material:** se refiere a la disposición espacial de los constituyentes a nivel atómico, molecular, microscópico o macroscópico.
- **Tratamiento del material:** la resistencia a la compresión se ve afectada por el tratamiento físico o químico del material; por ejemplo, el acero tratado térmicamente posee una mayor resistencia a la compresión del acero no tratado.

2.2.3. Agregados

Anicama (2010) menciona que los agregados son materiales granulares que son utilizados para proporcionar resistencia y durabilidad a las estructuras. Entre los más comunes tenemos la arena, la grava y los cantos rodados. Los agregados son la fase discontinua del concreto y ocupan aproximadamente el 75 % del volumen total del concreto. La función principal de los agregados es brindar resistencia y durabilidad al concreto.

Tabla 1*Clasificación según tamaño de los agregados*

| Tamaño de la partícula en mm | Denominación corriente | Clasificación |
|---|-------------------------------|-----------------------|
| Pasante del tamiz N°200 inferior a 0,002 mm | Arcilla | Fracción fina o finos |
| Entre 0,002-0,074 mm | Limo | |
| Pasante del tamiz N° 4 y retenido en el tamiz N° 200. Es decir, entre 4,76 mm y 0,074 mm | Arena | Agregado fino |
| Retenido en el tamiz N° 4 | | |
| Entre 4,76 mm y 19,1 mm (N° 4 y ¾") | Gravilla | Agregado grueso |
| Entre 19,1 mm y 50,8 mm (¾" y 2") | Grava | |
| Entre 50,8 mm y 152,4 mm (2" y 6") | Piedra | |
| Superior a 152,4 mm (6") | Rajón, piedra bola | |

Nota. Adaptado de "Clasificación según tamaño de agregados", de NTP 400.12, 2011.

Los tipos de agregados se dividen en naturales que son obtenidos por la desintegración natural de rocas, arena, grava o cantos rodados y las artificiales que son obtenidas por procesos industriales; por ejemplo, la trituración de residuos de construcción o escorias. La clasificación por tamaño de los agregados es gruesa con tamaño superior a 4,75 mm, mediana de 2,36 a 4,75 mm y finos con un tamaño inferior de 2,36 mm.

2.2.4. Concreto

Frommenwiler (2020), menciona que el concreto fue inventado por los romanos mezclando puzolana y rocas, para construir sus estructuras. En 1824, Joseph Aspdin creó el cemento Portland; sin embargo, después de varios análisis de laboratorio recién se pudo masificar su consumo. El concreto es un material de construcción que resulta mezclando cemento, agregados, agua y aditivos, forma una pasta al reaccionar con el agua que une a los agregados, se usa en la elaboración de pavimentos, casas, puentes, entre otros.

Figura 2

Fraguado de concreto



Nota. Adaptada de “Controlando los tiempos de fraguado del concreto”, por GCP, 2021, GCPAT (www.gcpat.mx/es-la/about/news/blog/controlling-concrete-setting-times). CCO.

2.2.5. Cemento

El cemento es un material de construcción y se emplea para unir materiales. Esta se produce a través de un proceso fisicoquímico de calcinación, que es una mezcla de caliza y arcilla, y se muele a posteriori para obtener un polvo fino. Cuando el cemento entra en contacto con el agua, se endurece y se forma un sólido resistente (Chota & Navarro, 2019).

Existen diversos tipos de cemento, entre lo más comerciales tenemos:

- **Cemento Portland:** es el cemento más ordinario para aplicaciones de construcción, se produce por una mezcla entre caliza y arcilla a elevadas temperaturas.
- **Cemento aluminoso:** este tipo de cemento se produce a partir de una mezcla de caliza, arcilla y bauxita. Entre sus propiedades es que es resistente al fuego y se endurece más rápido que el cemento Portland y se emplea en construcciones de hornos o chimeneas.
- **Cemento blanco:** es el resultado de la mezcla de caliza y arcilla blanca. El cemento blanco es usado para acabados estéticos.
- **Cemento puzolánico:** este cemento es usado en construcciones que requieren una resistencia a la alcalinidad, construcciones que tienen

mucho contacto con agua, es el resultado de la mezcla del cemento Portland y puzolana.

2.2.6. Agua de mezcla

El agua de mezclado o masado es un componente esencial del concreto, puesto que permite la hidratación del cemento y la formación de una matriz cementante para unirse con los agregados. La cantidad del agua de mezclado varía de acuerdo con varios factores, incluyen el tipo de cemento, el tamaño, la forma de los agregados, la temperatura, entre otros (Chilón, 2019).

El agua de mezcla tiene dos funciones principales:

- **Hidratación del cemento:** La reacción de hidratación es una reacción química exotérmica que ocurre entre el cemento y el agua, produciendo calor, dióxido de carbono y una pasta cementante.
- **Manejabilidad:** la manejabilidad se refiere a la capacidad del concreto para ser colocado y acabado sin grietas, ya que el agua facilita a las partículas del agregado se separen y se muevan libremente.

2.2.7. Agua de curado

Es el agua que se aplica en la etapa de fraguado al concreto. La función principal es la pérdida de agua por evaporación, lo que facilita que la reacción química de hidratación del cemento continúe, para que el concreto alcance su resistencia y durabilidad máxima. Además, reduce la contracción del concreto que aparece a medida que el concreto se seca y evita la aparición de grietas (Chilón, 2019).

2.2.8. Granulometría

Granulometría se define así a la distribución por tamaños a las partículas que constituyen un agregado. Es importante considerar este factor, ya que afecta a las propiedades del concreto, como la resistencia, la manejabilidad y la durabilidad. Estas se dividen en dos tipos:

Granulometría del agregado fino:

La granulometría del agregado fino, es la distribución por tamaños de la arena y estas se separan por un análisis granulométrico por medio de tamices. Los resultados obtenidos se pueden expresar gráficamente en una curva granulométrica, que muestra la distribución por tamaño.

Tabla 2*Requisitos granulométricos del agregado fino*

| Tamiz | Grupo C Arena gruesa | Grupo M Arena intermedia | Grupo F Arena fina |
|-----------------|---------------------------------|---|-------------------------------|
| 9,5 mm (3/8") | 100 | 100 | 100 |
| 4,75 mm (N° 4) | 95 - 100 | 85 - 100 | 89-100 |
| 2,36 mm (N° 8) | 80 - 100 | 65 - 100 | 80-100 |
| 1,18 mm (N° 16) | 50 - 85 | 45 - 100 | 70-100 |
| 600 µm (N° 30) | 25 - 60 | 25 - 80 | 55-100 |
| 300 µm (N° 50) | 10-30 | 5-48 | 5-70 |

Nota. Adaptada de *Requisitos granulométricos del agregado fino*, NTP 400.037, 2002.

Granulometría del agregado grueso:

La granulometría del agregado grueso es la distribución de las partículas de las gravas o piedras. El análisis parte de que un excesivo porcentaje de partículas finas provoca un concreto demasiado fluido y un excesivo porcentaje de partículas gruesas provoca un concreto demasiado rígido y difícil de compactar. A continuación, se muestra figura 3 indicando los límites por la Norma NTP 400.037.

Tabla 3

Requisitos granulométricos del agregado grueso

| HUSO | TAMAÑO MÁXIMO MONIMAL | PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS | | | | | | | | | | | | | |
|------|---|--|--------------------|------------------|----------------------|------------------|----------------------|------------------|------------------|----------------------|---------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| | | 100 mm (4 in.) | 90 mm (3 ½ in.) | 75 mm (3 in.) | 63 mm (2 1/2 in.) | 50 mm (2 in.) | 37.5 mm (1 ½ in.) | 25 mm (1 in.) | 19 mm (¾ in.) | 12.5 mm (1/2 in.) | 9.5 mm (3/8 in.) | 4.75 mm (N° 4) | 2.36 mm (N° 8) | 1.18 mm (N° 16) | 300 µm (N° 50) |
| 1 | 90 mm a 37.5 mm (3 1/2 a 1 ½ in.) | 100 | 90 a 100 | - | 25 a 60 | - | 0 a 15 | - | 0 a 5 | - | - | - | - | - | - |
| 2 | 63 mm a 37.5 mm (2 1/2 a 1 1/2 in.) | - | - | 100 | 90 a 100 | 35 a 70 | 0 a 15 | - | 0 a 5 | - | - | - | - | - | - |
| 3 | 50 mm a 25 mm (2 a 1 in.) | - | - | - | 100 | 90 a 100 | 35 a 70 | 0 a 15 | - | 0 a 5 | - | - | - | - | - |
| 357 | 50 mm a 4.75 mm (2 in. a N° 4) | - | - | - | 100 | 95 a 100 | - | 35 a 70 | - | 10 a 30 | - | 0 a 5 | - | - | - |
| 4 | 37.5 mm a 9 mm (1 1/2 a 3/4 in.) | - | - | - | - | 100 | 95 a 100 | 20 a 55 | 0 a 15 | - | 0 a 5 | - | - | - | - |
| 467 | 37.5 mm a 4.75 mm (1 1/2 in. a N° 4) | - | - | - | - | 100 | 95 a 100 | - | 35 a 70 | - | 10 a 30 | 0 a 5 | - | - | - |
| 5 | 25 mm a 12.5 mm (1 a 1/2 in.) | - | - | - | - | - | 100 | 90 a 100 | 20 a 55 | 0 a 10 | 0 a 5 | - | - | - | - |
| 56 | 25 mm a 9.5 mm (1 a 3/8 in.) | - | - | - | - | - | 100 | 90 a 100 | 40 a 85 | 10 a 40 | 0 a 15 | 0 a 5 | - | - | - |
| 57 | 25 mm a 4.75 mm (1 in. a N° 4) | - | - | - | - | - | 100 | 95 a 100 | - | 25 a 60 | - | 0 a 10 | 0 a 5 | - | - |
| 6 | 19 mm a 9.5 mm (¾ a 3/8 in.) | - | - | - | - | - | - | 100 | 90 a 100 | 20 a 55 | 0 a 15 | 0 a 5 | - | - | - |
| 67 | 19 mm a 4.75 mm (¾ in. a N° 4) | - | - | - | - | - | - | 100 | 90 a 100 | - | 20 a 55 | 0 a 10 | 0 a 5 | - | - |
| 7 | 12.5 mm a 4.75 mm (1/2 in. a N° 4) | - | - | - | - | - | - | - | 100 | 90 a 100 | 40 a 70 | 0 a 15 | 0 a 5 | - | - |
| 8 | 9.5 mm a 2.56 mm (3/8 in. a N° 8) | - | - | - | - | - | - | - | - | 100 | 85 a 100 | 10 a 30 | 0 a 10 | 0 a 5 | - |
| 89 | 9.5 mm a 1.18 mm (3/8 in. a N° 16) | - | - | - | - | - | - | - | - | 100 | 90 a 100 | 20 a 55 | 5 a 30 | 0 a 10 | 0 a 5 |
| 9 | 4.75 mm a 1.18 mm (N° 4 a N° 16) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 100 | 85 a 100 | 10 a 40 | 0 a 10 | 0 a 5 |

Nota. Adaptada de requisitos granulométricos del agregado grueso, NTP 400.037, 2002.

2.2.9. Diseño de mezcla de concreto

MVCS (2019) establece la norma E.060, donde se establece la cantidad de cada material que se debe emplear para la elaboración de mezclas de concreto. Estos porcentajes es una guía general y la cantidad real varía de acuerdo del tipo de cemento, tipo de agregados, condiciones ambientales, métodos de colocación, entre otros.

- Cemento entre 15% a 25%
- Agregados gruesos 60% a 75%
- Agregados finos 10% a 20%
- Agua 15% a 25%

2.2.10. Método de prueba de resistencia a la compresión

ASTM-C39 (2020), norma que establece parámetros internacionales para encontrar la resistencia a la compresión del concreto, por medio de cargas externas y es usada en los ensayos de laboratorio para determinar distintos valores numéricos, de la resistencia a la compresión, de cualquier material de estudio. La norma establece los siguientes requisitos para probetas de prueba:

- Las probetas deben tener un diámetro de 150 mm y una altura de 300 mm.
- Las probetas deben se deben elaborar en ambientes controlados de humedad y temperatura.
- Las probetas deben curarse durante de 28 días.
- Las probetas se cargan axialmente en una prensa hidráulica hasta que se fracturen.
- La resistencia a la compresión se determina dividiendo a carga máxima aplicada entre el área de la sección transversal de la probeta

2.2.11. Caucho

Cieza (2020), refiere que el caucho es un polímero elástico que puede ser obtenido por vía natural, de la savia de varias plantas y sintéticamente por un proceso industrial de hidrocarburos insaturados, como el petróleo. El caucho artificial tiene propiedades similares al caucho natural; sin embargo, muestra una mayor resistencia a la abrasión, a los productos químicos y a las temperaturas.

El caucho sintético se obtiene por polimerización, que es la unión de moléculas individuales para formar moléculas más complejas. Existen

diferentes tipos de cauchos sintéticos, cada una con diferentes propiedades que los hacen únicos:

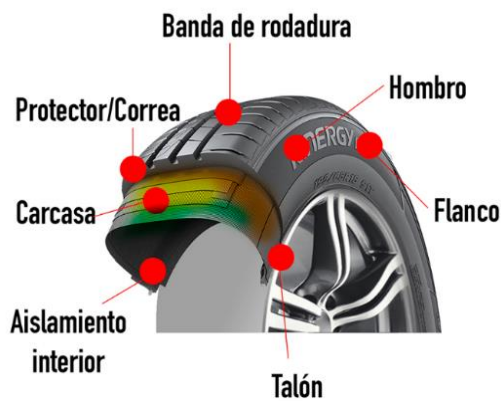
- Etileno propileno dieno monómero (EPDM): es un caucho resistente a la intemperie y productos químicos. Es usado para neumáticos y mangueras.
- Neopreno: caucho sintético resistente al agua y al frío. Empleado en equipos de buceo y en impermeables.
- Buna-N: es un caucho sintético resistente a la abrasión y productos químicos. Es utilizado en mangueras industriales.

2.2.12. Neumáticos (caucho)

Los neumáticos es una pieza toroidal de caucho empleado en las ruedas de vehículos. Su principal función es permitir un correcto contacto con las pistas, por fricción y adherencia. Estos se clasifican según el tamaño, rendimiento y tipo. Las partes más comunes la componen banda de rodadura, carcasa, flanco y el aislamiento interior. El peso varía entre 7 y 12 kilogramos, para neumáticos de automóviles (Morante, 2022).

Figura 3

Estructura de un neumático



Nota. Adaptada de “Find Race Tires”, por Goodyear, 2022, Goodyear, (<https://www.goodyear.com.pe/>). CCO.

2.2.13. Proceso de recuperación de los neumáticos

Rosas (2020), menciona que el reciclaje de neumáticos es el proceso de convertir estos materiales desechados en nuevos productos. Actualmente, existen dos tipos de reciclaje el mecánico y el químico. El reciclaje químico busca descomponer los neumáticos en sus componentes moleculares, que luego se pueden emplear para fabricar nuevos materiales, su desventaja es que es muy costoso y complejo. El reciclaje mecánico busca recolectar, triturar, separar, y reutilizar el caucho.

2.2.14. Aditivos plastificantes

Un aditivo plastificante, es un químico que se agrega al concreto para reducir la cantidad de agua necesaria para una mezcla de concreto con el mismo asentamiento deseado. El aditivo actúa en el agua reduciendo su tensión superficial, lo que permite que se distribuya más uniformemente en el concreto. Entre sus beneficios encontramos que mejora la trabajabilidad del concreto, ya que el concreto es más fluido y fácil de ubicar y compactar, reduce la cantidad de agua usada entre un 20% y 30% y reduce la segregación del concreto (Rodriguez, 2018).

2.2.15. Materiales empleados en los análisis

Wang & Huang (2014), en su estudio sobre hormigón modificado con partículas de caucho mencionan que emplearon:

- **Cemento:** Portland de 42,5 Kg, las características fisicoquímicas son semejantes a marcas peruanas como Cemento Andino, Cemento Sol, entre otros.
- **Arena:** Se trata de arena del río Yishu con una porosidad del 44%, una densidad aparente de 1565 kg/m³, un tamaño máximo de partícula de 5 mm y un módulo de finura de 2,55.

- **Partículas de caucho:** Estos materiales fueron adquiridos de una fábrica local que tritura caucho de llantas en desuso y tienen un diámetro de malla de 60 a 80 y una densidad aparente de 1050 kg/m^3 .
- **Piedra:** Es piedra caliza ordinaria con un tamaño de partícula de 8 a 10 mm y una densidad aparente de 2600 kg/m^3 .
- **Aditivo plastificante:** Es un reductor de agua de la serie TN-200 de naftaleno.
- **Agua:** Es agua corriente del grifo.

CAPÍTULO III

FUNDAMENTO METODOLÓGICO

3.1. Diseño de experimentos y fabricación de muestras

Para el diseño experimental, los autores usan la norma JGJ55-2000 “Especificación para el diseño de proporciones de mezcla de concreto ordinario” siendo su equivalente en el Perú la Norma E.060 del Ministerio de Vivienda y Saneamiento. La proporción de mezcla preliminar se calculó y luego se ajustó en una mezcla de prueba para obtener una proporción de mezcla básica. Sobre esta base, se adoptó un reemplazo igual para sustituir arena por el mismo volumen de partículas de caucho. En concreto, se sustituye un 10 %, 20 %, 30 %, 40 % y 50 % de arena respectivamente por un volumen equivalente de partículas de caucho. Además, la relación agua-cemento se controla con una relación de 0,45. Y la proporción de la mezcla en el experimento se encuentra en la tabla 4 (la muestra de prueba 0# es básica sin partículas de caucho).

Tabla 4*Proporción de mezcla de hormigón*

| DESCRIPCIÓN | 0# | 1# | 2# | 3# | 4# | 5# |
|--|------|------|------|------|------|------|
| Cemento (kg) | 415 | 415 | 415 | 415 | 415 | 415 |
| Arena gruesa (kg) | 1240 | 1240 | 1240 | 1240 | 1240 | 1240 |
| Plastificante (kg) | 5.6 | 5.6 | 5.6 | 5.6 | 5.6 | 5.6 |
| Arena fina(kg) | 650 | 585 | 520 | 455 | 390 | 325 |
| Partículas de caucho (kg) | 0 | 43 | 86 | 129 | 172 | 215 |
| Porcentaje en volumen de sustitución de arena por caucho (%) | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |

Por otro lado, debido a las características hidrófobas de la superficie de las partículas de caucho; para realizar la mezcla, el cemento y las partículas de caucho se añadieron primero a una mezcladora durante 3 a 5 minutos. Luego se agregó piedras, arena, aditivo y agua a la mezcla.

3.1.1. Resultados experimentales y análisis

Los resultados de los experimentos se muestran en la Tabla 5 de las cinco sustituciones por partículas de caucho, respecto a resistencia a la compresión, resistencia a la tracción y módulo elástico. Los cuales se analizan a mayor profundidad.

Tabla 5*Tabla de resultados*

| DESCRIPCIÓN | 0# | 1 # | 2# | 3# | 4# | 5# |
|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Resistencia a la compresión (MPa) | 38,6 | 36,9 | 35,4 | 31,8 | 29,9 | 27,6 |
| Resistencia a la tracción (MPa) | 2,95 | 2,78 | 2,66 | 2,45 | 2,23 | 2,01 |
| Módulo elástico (GPa) | 36,4 | 33,8 | 30,1 | 27,5 | 24,2 | 20,6 |

Nota. Adaptada de “*Study on Rubber Particles Modified Concrete*”, por Wang & Huang, 2014

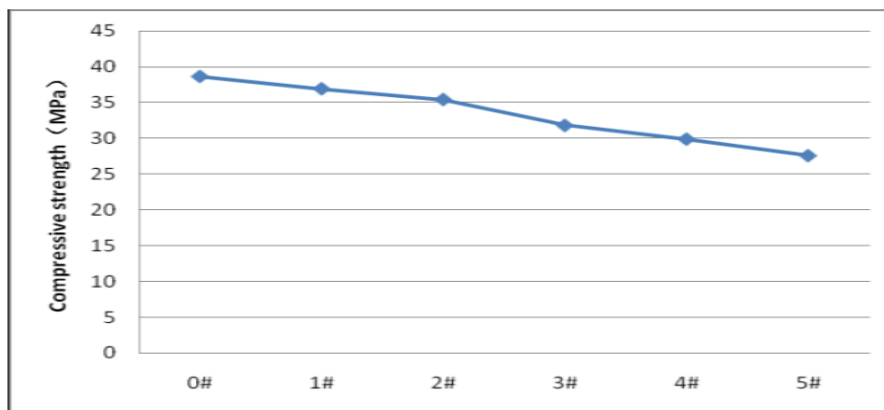
3.1.2. Resistencia a la compresión cúbica del hormigón

Los resultados obtenidos al someter a las fuerzas de compresión las probetas de concreto se muestran en la Figura 4. Muestran una disminución a medida que aumenta la cantidad de partículas de caucho en la mezcla después de 28 días de curado.

La sustitución de arena en porcentajes del 10 %, 20 %, 30 %, 40 % y 50 % por partículas de caucho reducen la resistencia a la compresión en un 4,4 %; 9,1 %; 14 %; 21,0% y 25,9 % respecto a la compresión de 0# de 38,6 MPa, tabla 5.

Figura 4

Resistencia a la compresión del hormigón vs cantidad de caucho



Nota. Adaptada de “*Study on Rubber Particles Modified Concrete*”, por Wang & Huang, 2014

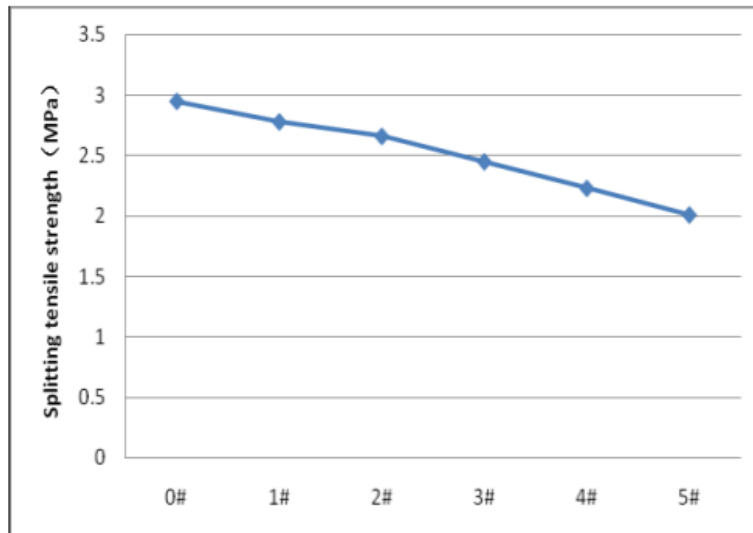
Asimismo, los autores precisan que el análisis de la resistencia a la compresión del hormigón de cemento de caucho tiene tres puntos. En primer lugar, las partículas de caucho son un tipo de elastómero (material que puedes deformarlo ante una presión, pero que vuelve a su forma original) y tienen una resistencia mucho menor a la compresión que el hormigón de cemento. Además, se mezclan con cemento y hormigón para crear nuevas estructuras en las que sus superficies son puntos débiles. Por lo tanto, cuando las partículas de caucho son sometidas a fuerzas externas, su capacidad de carga generalmente disminuye. En segundo lugar, las partículas de caucho son una

forma orgánica de polimaterial. No tienen reacciones químicas con el hormigón de cemento, y combinarlos es más difícil. Como resultado, la fuerza de cohesión sobre la superficie de las partículas de caucho disminuye y la compresión bajo presión puede alcanzarse fácilmente. En tercer lugar, las partículas de caucho se deforman mucho bajo fuerzas externas porque son un tipo de elastómero y el hormigón de cemento es relativamente débil a medida que aumenta la cantidad de partículas de caucho.

3.1.3. Resistencia a la tracción del hormigón

Figura 5

Resistencia a la tracción del hormigón.



Nota. Adaptada de “*Study on Rubber Particles Modified Concrete*”, por Wang & Huang, 2014

La tabla 5 y la Figura 5, muestran que cuando el 10%, 20%, 30%, 40% y 50% de la arena en el concreto básico se reemplaza partículas de caucho, la resistencia a la tracción (resistencia a la rotura del material) del concreto de caucho disminuye 5,8 %; 9,8 %; 16,9 %; 24,4 % y 28,5%, respecto al patrón 0#. Además, la regresión lineal indica que la cantidad de partículas de caucho aumentadas generan una disminución de la tracción.

Esto se debe a que el hormigón de cemento #0 es un tipo de material frágil y las partículas de caucho tienen una menor resistencia a la tracción. Además, en la estructura del hormigón de cemento mezclado con partículas de caucho, la interfaz es relativamente débil entre el agregado mineral de cemento y las partículas de caucho. Por lo tanto, la resistencia a la tracción disminuye a medida que aumentan las partículas de caucho.

3.1.4. Módulo elástico del hormigón

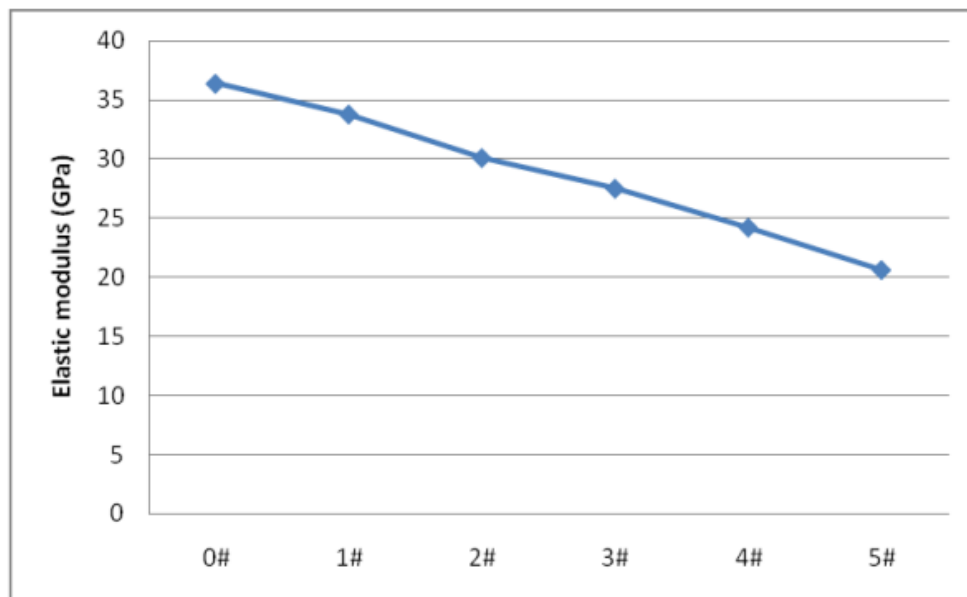
Después de que las partículas de caucho se incorporan al concreto, el concreto adquiere elasticidad y el módulo elástico del hormigón de caucho disminuye a medida que se le agregue más partículas de caucho.

En el caso de estudio, cuando se mezclan 10 %, 20 %, 30 %, 40 % y 50 % de partículas de caucho, el módulo de elasticidad va decreciendo. Por tanto, las partículas de caucho permiten mejorar la elasticidad del hormigón de

cemento. Esto debido a que un material con un módulo de elasticidad alto será más rígido y se deformará menos, mientras que un material con un módulo de elasticidad bajo será más flexible y se deformará más. Las partículas de caucho agregado se dispersan en la mezcla de cemento como elastómero, lo que aumenta la elasticidad del hormigón.

Figura 6

Módulo de elasticidad del hormigón y la cantidad de caucho



Nota. Adaptada de “*Study on Rubber Particles Modified Concrete*”, por Wang & Huang, 2014.

3.1.5. Reglamento Nacional de Edificaciones

Ahora bien, para una mayor profundidad en nuestro estudio se toma como referencia la Norma Nacional de Edificaciones, que es una norma técnica de cumplimiento obligatorio a nivel nacional. Esta normativa brinda claridad para la ejecución de construcciones urbanas y edificaciones. Además, brinda criterios y requisitos mínimos de calidad para los proyectos de construcción. En el capítulo 5 (Diseño), en el artículo 11 inciso 11.3 nombrado “Disposiciones especiales para elementos resistentes a fuerzas de sismo” detalla que la resistencia del concreto ($f'c$) no puede ser menor que 210 Kg/cm² (Ministerio de Vivienda, 2006). Por lo tanto, los valores de compresión de las muestras estudiadas convertidas en unidades Kg/cm² están alineados con los requerimientos mínimos que exige el estado de Perú.

Tabla 6

Resistencia a la compresión en Kg/cm²

| DESCRIPCIÓN | 0# | 1 # | 2# | 3# | 4# | 5# |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Resistencia a la compresión (Kg/cm ²) | 393.61 | 376.27 | 360.97 | 324.27 | 304.89 | 281.44 |

CONCLUSIONES

Según los autores estudiados si es posible la adición de caucho granulado reciclado de neumáticos con aditivo plastificante. Esto permite remplazar parte de la arena y reducir el consumo de materiales en la preparación de mezclas de concreto.

La investigación muestra que residuos de neumáticos (caucho) generan problemas ambientales y su uso como parte de la mezcla del concreto se presenta como una posible solución para una disposición final adecuada de estos materiales.

Los autores mencionan, que agregando a la mezcla la sustitución de 10%, 20%, 30%, 40% y 50% de caucho por arena es posible lograr valores aceptables de compresión, que van desde 393,61 Kg/cm² hasta 281,44 Kg/cm², valores superiores a lo que la normativa peruana exige para la ejecución de construcciones urbanas y edificaciones.

RECOMENDACIONES

El uso de caucho reciclado en construcción de casas es muy incipiente y no se han encontrado registros estadísticos por parte del Ministerio de Vivienda; sin embargo, es una alternativa para su uso en la construcción de parques y veredas por parte del Estado.

Se puede realizar estudios de mezclas de asfaltos para la construcción de pistas con adición de residuos de caucho reciclado.

Actualmente, la disposición final de llantas en desuso es uno de los problemas ambientales más desatendidos del estado peruano. Se puede reducir esta problemática dando un tratamiento alternativo de reciclaje considerando los resultados de la presente investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anicama, G. (2010). ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL EMPLEO DE MATERIALES DE DESECHO DE PROCESOS MINEROS EN APLICACIONES PRÁCTICAS CON PRODUCTOS CEMENTICIOS. *Pontificia Universidad Católica Del Perú*, 1–58. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/500>
- ASTM-C39. (2020). ASTM Designación: C 39 / C 39M – 01 ASTM Designación: C 39 / C 39M – 01 “Método de Ensayo Estándar para Esfuerzo de Compresión en Especímenes Cilíndricos de Concreto.” In *American Society of Testing Materials*. https://www.astm.org/america_latina/sp/index.html
- Chilón, L. (2019). INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DEL AGUA DE MEZCLA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO ELABORADO EN CLIMAS FRÍOS. In *Correspondencias & Análisis* (Issue 15018). UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA.
- Chota, D., & Navarro, P. (2019). *Análisis de la resistencia del concreto utilizando hormigón en el distrito de Callería, provincia de Coronel Portillo, departamento de Ucayali* [UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI FACULTAD].

http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4451/000004351T_CIVIL.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cieza, J. (2020). *MEJORA EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE NEUMÁTICOS EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE RODANTES EN LA EMPRESA LIMA CAUCHO S.A.* Universidad de Lima.

Frommenwiler, A. (2020). NEW GENERATION OF SUPERPLASTICIZERS FOR HIGH PERFORMANCE CONCRETE. *MBT Holding, Switzerland, 1964*, 307–318. <https://doi.org/10.1201/9781482271782-37>

Huaquisto, S., & Belizario, G. (2018). Utilización de la ceniza volante en la dosificación del concreto como sustituto del cemento. *Journal of High Andean Research*, 20(2), 255–234. <https://doi.org/10.18271/ria.2018.366>

INEI. (2019). *Perú tiene una población de 32 millones 131 mil 400 habitantes al 30 de junio del presente año.* <https://www.inei.gob.pe/>

INEI. (2021). Déficit Habitacional en el Perú. In *Deficit Habitacional* (Vol. 13, Issue 1).

Issa, C. A., & Salem, G. (2013). Utilization of recycled crumb rubber as fine aggregates in concrete mix design. *Construction and Building Materials*, 42, 48–52. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2012.12.054>

- Ling, T.-C. (2011). Prediction of density and compressive strength for rubberized concrete blocks. *Construction and Building Materials*, 25(11), 4303–4306. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.04.074>
- Martos, S. (2017). VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS LADRILLOS, DEBIDO A LOS FACTORES: MATERIALES Y PROCESO DE FABRICACIÓN, A PARTIR DE INVESTIGACIONES REALIZADAS EN EL PERÚ. In *UPN*. UPN.
- MINAM. (2021). *PERÚ LIMPIO PERÚ NATURAL Régimen Especial de Gestión y Manejo de los Neumáticos Fuera de Uso-NFU*. www.gob.pe/minam
- Ministerio de Vivienda, C. y S. (2006). Reglamento Nacional De Edificaciones- Ds N° 011-2006-Vivienda. *Sencico, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento*, 1–439.
- Morante, A. (2022). ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA PARA LA PRODUCCIÓN DE PISOS DE CAUCHO PIGMENTADO DERIVADO DE LA RECUPERACIÓN DE LLANTAS DESECHADAS EN LA CIUDAD DE LIMA METROPOLITANA. In *PUCP*.

- MVCS. (2019). NORMA E.060 CONCRETO ARMADO. In *Norma E.060 Concreto Armado*.
- Pelisser, F., Zavarise, N., Longo, T. A., & Bernardin, A. M. (2011). Concrete made with recycled tire rubber: Effect of alkaline activation and silica fume addition. *Journal of Cleaner Production*, 19(6–7), 757–763. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2010.11.014>
- Rivera, J. (2023). *Resistencia de materiales Libro interactivo para ingenieros* (F. E. R. Descartes, Ed.; Fondo Edit).
- Rodriguez, A. (2018). *BENEFICIOS AL INCORPORAR ADITIVO PLASTIFICANTE E INCORPORADOR DE AIRE EN EL CONCRETO EN LA EJECUCIÓN DE PROYECTOS DE PISTAS Y VEREDAS DEL DISTRITO DE VICCO - PASCO*. UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN.
- Root, T. (2019). *Los neumáticos son una gran fuente de contaminación por plástico*. National Geographic. <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2019/09/neumaticos-gran-fuente-contaminacion-plastico>
- Rosas, D. (2020). *ESTUDIO ESTRATÉGICO PARA UNA PLANTA RECICLADORA DE LLANTAS EN DESUSO PARA LA OBTENCIÓN DE CAUCHO REUTILIZABLE*. PUCP.

UN. (2019). *Población en Crecimiento*. Naciones Unidas.

<https://www.un.org/es/global-issues/population>

Wang, L., & Huang, Y. H. (2014). Study on rubber particles modified concrete.

Applied Mechanics and Materials, 477–478, 953–958.

<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.477-478.953>