

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
CHOTA**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE
ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR
RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA,
2024

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Presentado por:

NELDER JOSELITO QUINTANA MENDOZA

NEYSER VÁSQUEZ NÚÑEZ

Asesor:

Dr. Ing. EDWAR CIEZA SÁNCHEZ

**Chota – Perú
2025**



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA



INFORME N° 20-2025-UNACH/UI/MAST

A : **Mg. Ing. Miguel Angel Silva Tarrillo**
Presidente del jurado de tesis FCI-UNACH.

ASUNTO : Constancia de Originalidad de Turnitin de NELDER JOSELITO QUINTANA MENDOZA y NEYSER VÁSQUEZ NÚÑEZ.

FECHA : Colpa Matara, 12 de junio del 2025.

REFERENCIA: i) Envío de tesis en digital en su versión final
ii) CARTA N° 02-2025-UNACH/MAST/ Conformidad por parte del presidente del jurado de tesis.
iii) INFORME N.º 09- 2025 -I- VBLR/UNACH / Conformidad por parte del secretario del jurado de tesis.
iv) Carta N° 024-2025- CSLV-EPIC/UNACH7 / Conformidad por parte del vocal del jurado de tesis

De mi mayor consideración

Es grato dirigirme a Usted para expresar mi saludo, y a la vez alcanzar la constancia de originalidad de TURNITIN de la tesis denominada: **“CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024”**, elaborado por los bachilleres en ingeniería civil **NELDER JOSELITO QUINTANA MENDOZA y NEYSER VÁSQUEZ NÚÑEZ**, para continuar con sus trámites ante la UNACH.

Sin otro particular, es propicia la ocasión para reiterarle las muestras de mi distinguida consideración y estima.

Atentamente,

Miguel Ángel SILVA TARRILLO
INGENIERO CIVIL
CIP 157792

Ing. Miguel Ángel Silva Tarrillo
Jefe de la unidad de investigación
FCI-UNACH

CC.

Archivo

Adjunto:

- 1) Constancia de originalidad N° 20-2025.
- 2) Reporte TURNITIN



Colpa Matara, 12 de junio del 2025.

C.O. N° 20-2025-UI-EPIC

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El que suscribe, Jefe de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, hace constar que el Informe Final de Tesis titulado: **“CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024”**, elaborado por los bachilleres en ingeniería civil: **NELDER JOSELITO QUINTANA MENDOZA y NEYSER VÁSQUEZ NÚÑEZ**, para optar el Título Profesional de ingeniero civil, presenta un índice de similitud de 12% excluyendo texto citado, bibliografía y fuentes que tengan coincidencias de menos de 10 palabras; por lo tanto, cumple con los criterios de evaluación de originalidad establecidos en el acápite g) del artículo 20 del Reglamento de Grados y Títulos UNACH, aprobado mediante la Resolución C.O. N° 120-2022-UNACH con fecha de 03 de marzo de 2022.




Se expide la presente, en conformidad a la directiva antes mencionada, para los fines que estime pertinentes.

Miguel Ángel SILVA TARRILLO
INGENIERO CIVIL

Ing. Miguel Ángel Silva Tarrillo
Jefe de la unidad de investigación
FCI-UNACH

NELDER JOSELITO QUINTANA MENDOZA y NEYSE...

CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR R...

-  Informe Final de Tesis
-  UNIDAD DE INVESTIGACION FIC 2025-1
-  Universidad Nacional Autónoma de Chota

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3275172844

Fecha de entrega

12 jun 2025, 6:15 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

12 jun 2025, 6:41 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

INFORME_FINAL_DE_TESIS_Neyser_Vásquez_Joselito_Quintana_-EDWAR_.pdf

Tamaño de archivo

4.2 MB

191 Páginas

44.778 Palabras

220.911 Caracteres




12% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 11%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 4%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

- 11% Fuentes de Internet
- 1% Publicaciones
- 4% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	repositorio.unach.edu.pe	5%
2	Internet	hdl.handle.net	2%
3	Internet	repositorio.ucv.edu.pe	<1%
4	Internet	repositorio.upla.edu.pe	<1%
5	Trabajos del estudiante	Universidad Andina del Cusco	<1%
6	Internet	repositorioacademico.upc.edu.pe	<1%
7	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo	<1%
8	Internet	www.repositorio.unach.edu.pe	<1%
9	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Autonoma de Chota	<1%
10	Trabajos del estudiante	Universidad Privada del Norte	<1%
11	Internet	repositorio.uss.edu.pe	<1%

12	Internet	repositorio.unsaac.edu.pe	<1%
13	Trabajos del estudiante	Universidad Catolica De Cuenca	<1%
14	Internet	repositorio.continental.edu.pe	<1%
15	Internet	www.idu.gov.co	<1%
16	Trabajos del estudiante	Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez	<1%
17	Internet	repositorio.unfv.edu.pe	<1%
18	Internet	repositorio.unc.edu.pe	<1%
19	Internet	repositorio.unjbg.edu.pe	<1%
20	Trabajos del estudiante	uni	<1%
21	Trabajos del estudiante	Universidad Tecnologica de los Andes	<1%
22	Trabajos del estudiante	uncedu	<1%
23	Internet	www.manual.ec	<1%
24	Trabajos del estudiante	Universidad Tecnica De Ambato- Direccion de Investigacion y Desarrollo , DIDE	<1%
25	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Agraria La Molina	<1%

26	Internet	core.ac.uk	<1%
27	Internet	www.slideshare.net	<1%
28	Trabajos del estudiante	UTEC Universidad de Ingeniería & Tecnología	<1%
29	Trabajos del estudiante	Universidad EAN	<1%
30	Internet	patents.google.com	<1%
31	Internet	repositorio.unp.edu.pe	<1%
32	Trabajos del estudiante	uaq	<1%
33	Internet	1library.co	<1%
34	Internet	tesis.ucsm.edu.pe	<1%
35	Trabajos del estudiante	University of the Andes	<1%
36	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional del Centro del Peru	<1%
37	Trabajos del estudiante	West Liberty University	<1%
38	Internet	de.slideshare.net	<1%
39	Publicación	de Oliveira Loureiro Paiva, Carlos Manuel. "Aparato para Experimentacao Remota..."	<1%

40	Internet	documentop.com	<1%
41	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Trujillo	<1%
42	Trabajos del estudiante	Universidad Tecnologica del Peru	<1%
43	Internet	repositorio.ucsm.edu.pe	<1%
44	Internet	repositorio.unj.edu.pe	<1%
45	Trabajos del estudiante	Universidad Autonoma de Chile	<1%
46	Trabajos del estudiante	Universidad Ricardo Palma	<1%
47	Internet	repositorio.usmp.edu.pe	<1%
48	Internet	tesis.usat.edu.pe	<1%
49	Internet	www.dspace.unitru.edu.pe	<1%
50	Internet	www.journalalphacentauri.com	<1%
51	Internet	es.scribd.com	<1%
52	Internet	repositorio.ulead.edu.ec	<1%
53	Internet	talentos.ueb.edu.ec	<1%

54	Publicación	I. Torres, R. Ramos, M.L. Domínguez, J.J. Rosales, A. Roteta, E. Prieto, L. Sancho, M....	<1%
55	Publicación	Jesús Alexander Estrada, Alexander López González, Daniel Hernández Cruz, Josse...	<1%
56	Trabajos del estudiante	Pontificia Universidad Catolica Madre y Maestra PUCMM	<1%
57	Trabajos del estudiante	Universidad Catolica Sedes Sapientiae	<1%
58	Internet	cybertesis.uni.edu.pe	<1%
59	Internet	documents.mx	<1%
60	Internet	kupdf.net	<1%
61	Internet	repositorio.upn.edu.pe	<1%
62	Internet	tecnohumanismo.online	<1%
63	Internet	www.coursehero.com	<1%
64	Internet	www.ipk.sld.cu	<1%

**CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO
MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE
CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA
PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024**

POR:

NELDER JOSELITO QUINTANA MENDOZA

NEYSER VÁSQUEZ NÚÑEZ

**Presentada a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la
Universidad Nacional Autónoma de Chota para optar el título**

de

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR EL JURADO INTEGRADO POR



Mg. Ing. Miguel Ángel Silva Tarrillo

PRESIDENTE



Mg. Ing. Lilian Rocío Villanueva Bazán

SECRETARIO



Mg. Ing. Cristhian Saúl López Villanueva

VOCAL



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Ley de Creación N° 29531

LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 160-2018-SUNEDU/CD

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 11:00 am del día 26 de noviembre 2025, reunidos en la sala de docentes de la EPIC, los miembros del jurado de tesis que suscriben, para escuchar y evaluar la sustentación de tesis presentado por los bachilleres: **Nelder Joselito Quintana Mendoza y Neyser Vásquez Núñez**, denominada: **“Caracterización del comportamiento mecánico de adoquines tipo I con adición de caucho granular reciclado para pavimentos de uso peatonal, Chota, 2024”**; escuchada la sustentación, y absueltas las preguntas a las observaciones formuladas, la declaramos:

_____ *13 Aprobado*

CON EL CALIFICATIVO (*)

_____ *Doce*

En consecuencia, se les declara **EXPEDITOS** para conferirle el Título de Ingeniero civil, elevando la presente acta al coordinador de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería a fin de que se emita el acto resolutivo, en conformidad con la ley universitaria y el estatuto de la Universidad.

Chota, 26 de noviembre 2025.

Dr. Miguel Angel Silva Tarrillo
PRESIDENTE

Mg. Lillian Rocio Villanueva Bazán
SECRETARIO

Mg. Crísthian Saúl López Villanueva
VOCAL

Dr. Edwar Cieza Sánchez
ASESOR

(*) De acuerdo al reglamento específico del proyecto y tesis de investigación de la EPIC, aprobada con Resolución de coordinación N° 141-2020, Artículo 21, cuya calificación es: (20 Summa Cum Laude); (18-19: Aprobado con excelencia); (15-17: Aprobado con mención honrosa); (12-14: Aprobado); (0-11: Desaprobado).



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Ley de Creación N° 29531

LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 160-2018-SUNEDU/CD

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



ACTA DE CONFORMIDAD DE TESIS

Los miembros del jurado, luego de evaluar la Tesis denominada: **“Caracterización del comportamiento mecánico de adoquines tipo I con adición de caucho granular reciclado para pavimentos de uso peatonal, Chota, 2024”** presentado por los bachilleres: **Nelder Joselito Quintana Mendoza y Neyser Vásquez Núñez**, sustentada el día 26 de noviembre 2025, según Resolución N°302-2025-FCI/UNACH, la declaramos **CONFORME**.

Chota, 15 de diciembre 2025.

Dr. Miguel Angel Silva Tarrillo
PRESIDENTE

Mg. Lilian Rocío Villanueva Bazán
SECRETARIO

Mg. Cristhian Saúl López Villanueva
VOCAL

Dr. Edwar Cieza Sánchez
ASESOR

DEDICATORIA

Con profunda gratitud, dedicamos este trabajo a Dios, quien nos guio e iluminó en cada paso de este camino. A nuestras familias, por su incondicional apoyo, amor y fortaleza, pilares fundamentales en nuestra formación profesional y personal. A nuestros amigos, quienes con su aliento y compañía nos motivaron a perseverar en los momentos más desafiantes. Este logro es reflejo de su invaluable presencia en nuestras vidas.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a Dios, fuente de inspiración y fortaleza a lo largo de esta investigación. A nuestro asesor, el Dr. Ing. Edwar Cieza Sánchez, por su guía, conocimientos y compromiso inquebrantable, que fueron fundamentales para la culminación de este trabajo. Reconocemos también la colaboración de los talleres de reparación automotriz, que facilitaron la recolección de neumáticos fuera de uso para la elaboración del caucho granular reciclado, componente clave en nuestra investigación. Agradecemos a la encargada del laboratorio de mecánica de materiales de la EPIC-UNACH y al ingeniero responsable del laboratorio CIEXLIAN de Chota, por su invaluable apoyo técnico y disposición. Finalmente, extendemos nuestra gratitud a todas las personas que, de manera directa o indirecta, contribuyeron al desarrollo de este proyecto, ayudándonos a superar los retos y alcanzar nuestros objetivos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	17
1.1. Planteamiento del problema.....	17
1.2. Formulación del problema	20
1.3. Justificación	21
1.4. Delimitación de la investigación.....	22
1.5. Limitaciones.....	23
1.6. Objetivos	24
1.6.1. Objetivo general.....	24
1.6.2. Objetivos específicos	24
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	25
2.1. Antecedentes	25
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	25
2.1.2. Antecedentes nacionales	33
2.1.3. Antecedentes regionales	37
2.2. Bases teórico – científicas	40
2.2.1. Teoría de resistencia de materiales: Adoquines de concreto	40
2.2.2. Teorías relacionadas con los materiales utilizados en adoquines	41
2.2.3. Modelo de Ley de Abrams: Para analizar la trabajabilidad del concreto	43
2.2.4. Teoría de la mecánica del concreto: Resistencia a compresión y flexión	44
2.2.5. Efecto del caucho granular en las propiedades del concreto fresco	45
2.2.6. Efecto del caucho granular en las propiedades del concreto endurecido	47
2.2.7. Beneficios, ventajas y/o desventajas del uso de adoquines con caucho granular	48
2.3. Marco conceptual.....	49
2.3.1. Caucho granular reciclado	49
2.3.2. Concreto.....	55
2.3.3. Agregados para concreto	58

2.3.4. Adoquines de concreto	63
2.3.5. Adoquines tipo I para uso peatonal	66
2.3.6. Pavimentos de uso peatonal	70
2.3.7. Viabilidad técnica y económica de un producto	73
2.4. Hipótesis	74
2.5. Operacionalización de variables	74
2.5.1. Variable independiente: Caucho granular reciclado	74
2.5.2. Variable dependiente: Comportamiento mecánico de adoquines tipo I	74
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO	76
3.1. Tipo y nivel de investigación	76
3.2. Diseño de investigación	77
3.3. Métodos de investigación	78
3.4. Población, muestra y muestreo	80
3.4.1. Población	80
3.4.2. Muestreo	80
3.4.3. Muestra	80
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	82
3.5.1. Técnicas	82
3.5.2. Instrumentos	83
3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	84
3.6.1. Proceso de obtención de los datos	84
3.6.2. Procesamiento de datos	113
3.6.3. Análisis de datos	113
3.7. Aspectos éticos	113
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	115
4.1. Descripción de resultados	115
4.1.1. Propiedades de los agregados utilizados en la elaboración de adoquines tipo I	115
4.1.2. Propiedades del concreto con adición de caucho granular para la producción de adoquines tipo I	121

4.1.3. Características físico mecánicas de los adoquines tipo I de concreto con adición de caucho granular reciclado	127
4.2. Contrastación de hipótesis.....	173
4.3. Discusión de resultados.....	178
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	191
5.1. Conclusiones	191
5.2. Recomendaciones y/o sugerencias	193
CAPÍTULO VI. REFERENCIAS.....	195
CAPÍTULO VII. ANEXOS	206
Anexo A. Matriz de consistencia.....	206
Anexo B. Panel fotográfico	207
Anexo C. Documentación.....	228
Anexo C. Resultado de ensayos de laboratorio	230

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Ventajas y Desventajas del Uso de Adoquines con Caucho Granular para Pavimentos de Uso Peatonal.....	48
Tabla 2 Composición y Características Generales de los Neumáticos de Automóviles	51
Tabla 3 Tipos de Adoquines.....	63
Tabla 4 Requisitos Mecánicos de los Adoquines.....	65
Tabla 5 Requisitos Dimensionales	65
Tabla 6 Requisitos de Absorción de los Adoquines.....	65
Tabla 7 Matriz de Operacionalización de Variables	75
Tabla 8 Tipo de Investigación	77
Tabla 9 Número de Adoquines Tipo I de Concreto con Caucho Granular	81
Tabla 10. Ubicación Geográfica de las Canteras.....	90
Tabla 11 Relación a/c de Acuerdo a la Resistencia.....	97
Tabla 12 Volumen de Agregado Grueso por Volumen Unitario del Concreto	98
Tabla 13 Propiedades Físico Mecánicas de los Agregados Utilizados en la Elaboración de Concreto para Adoquines Tipo I.....	115
Tabla 14 Proporción de Materiales Utilizados para la Mezcla de Concreto $f'c$ 290 kg/cm ² para Adoquines Tipo I.....	120
Tabla 15 Propiedades del Concreto con Adición de Caucho Granular	123
Tabla 16 Porcentaje en que se ven Afectadas las Propiedades del Concreto con Adición de Caucho Granular	123
Tabla 17 Características Físico Mecánicas de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de Caucho Granular Reciclado	127
Tabla 18 Variación Dimensional de los Adoquines con Caucho Granular Reciclado.....	131
Tabla 19 Alabeo de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de Caucho Granular Reciclado.....	132
Tabla 20 Absorción de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de Caucho Granular Reciclado.....	134
Tabla 21 Peso Unitario de los Adoquines con Adición de Caucho Granular Reciclado.....	135
Tabla 22 Resistencia a Compresión de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de Caucho Granular Reciclado.....	137
Tabla 23 Resistencia a Compresión de los Adoquines con 0% de Caucho Granular.....	138
Tabla 24 Resistencia a Compresión de los Adoquines con 10% de Caucho Granular	139
Tabla 25 Resistencia a Compresión de los Adoquines con 20% de Caucho Granular	140
Tabla 26 Resistencia a Compresión de los Adoquines con 40% de Caucho Granular	141

Tabla 27 Resistencia a Compresión de los Adoquines con 60% de Caucho Granular	142
Tabla 28 Esfuerzo máximo-deformación unitaria, Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 0% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 1	143
Tabla 29 Esfuerzo máximo-deformación unitaria, Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 0% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 2	144
Tabla 30 Esfuerzo máximo-deformación unitaria, Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 0% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 3	145
Tabla 31 Esfuerzo máximo-deformación unitaria, Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 0% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 4	146
Tabla 32 Esfuerzo máximo-deformación unitaria, Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 10% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 1	148
Tabla 33 Esfuerzo máximo-deformación unitaria, Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 10% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 2	149
Tabla 34 Esfuerzo máximo-deformación unitaria, Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 10% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 3	150
Tabla 35 Esfuerzo máximo-deformación unitaria, Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 10% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 4	151
Tabla 36 Esfuerzo máximo-deformación unitaria, Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 20% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 1	152
Tabla 37 Esfuerzo máximo-deformación unitaria, Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 20% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 2	153
Tabla 38 Esfuerzo máximo-deformación unitaria, Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 20% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 3	154
Tabla 39 Esfuerzo máximo-deformación unitaria, Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 20% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 4	155
Tabla 40 Esfuerzo máximo-deformación unitaria, Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 40% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 1	157
Tabla 41 Esfuerzo máximo-deformación unitaria, Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 40% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 2	158
Tabla 42 Esfuerzo máximo-deformación unitaria, Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 40% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 3	159
Tabla 43 Esfuerzo máximo-deformación unitaria, Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 40% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 4	160
Tabla 44 Esfuerzo máximo-deformación unitaria, Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 60% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 1	161
Tabla 45 Esfuerzo máximo-deformación unitaria, Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 60% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 2	162

Tabla 46 Esfuerzo máximo-deformación unitaria, Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 60% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 3	163
Tabla 47 Esfuerzo máximo-deformación unitaria, Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 60% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 4	164
Tabla 48 Resistencia a Flexión de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de Caucho Granular Reciclado.....	167
Tabla 49 Resistencia a Flexión de los Adoquines con 0% de Caucho Granular Reciclado....	168
Tabla 50 Resistencia a Flexión de los Adoquines con 10% de Caucho Granular Reciclado..	169
Tabla 51 Resistencia a Flexión de los Adoquines con 20% de Caucho Granular Reciclado..	170
Tabla 52 Resistencia a Flexión de los Adoquines con 40% de Caucho Granular Reciclado..	171
Tabla 53 Resistencia a Flexión de los Adoquines con 60% de Caucho Granular Reciclado..	172
Tabla 54 Datos de Resistencia a Compresión de los Adoquines Tipo I con Caucho Granular para el Análisis Estadístico	173
Tabla 55 Información de los Factores de Análisis	175
Tabla 56 Análisis de Varianza ANOVA de la Resistencia a Compresión del Concreto.....	176
Tabla 57 Estadísticas Descriptivas de los Adoquines con Caucho Granular	176
Tabla 58 Análisis t-Student de la Resistencia a Compresión a los 28 Días en los Adoquines con Caucho Granular	177
Tabla 59 Coeficientes de Correlación de Pearson.....	177

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Modelo de la Mezcla de Dos fases (matriz y agregado) y su Modificación con la Adición de Caucho Granular.....	42
Figura 2. Composición de las Llantas	49
Figura 3 Neumático Triturado donde se Observan los Componentes.....	51
Figura 4 Tamaños de Neumáticos Granulados según la Norma ASTM D6270-17	53
Figura 5 Proceso de Trituración Mecánica	54
Figura 6 Composición del Concreto	55
Figura 7 Propiedades del Concreto Endurecido.....	57
Figura 8 Diferentes Tamaños de Partículas de Material por Gradación	59
Figura 9. Gráfica de Gradaciones del Agregado	61
Figura 10 Adoquines de Concreto para Pisos	66
Figura 11 Tipos de Adoquines	67
Figura 12 Estructura de Diferentes Tipos de Pavimentos	71
Figura 13 Elementos Estructurales de un Pavimento de Adoquines de Concreto según la ASCE (2010).....	73
Figura 14 Diseño de Investigación: Pre test y Post test	79
Figura 15 Dimensiones de los Adoquines Tipo I con Adición de Caucho Granular	80
Figura 16 Ubicación de las Canteras en la Provincia de Chota.....	81
Figura 17 Proceso de Obtención de Información.....	85
Figura 18 Recolección de Neumáticos a las Afueras de la Ciudad de Chota	87
Figura 19 Realización de Ensayos Físicos al Caucho Granular en el Laboratorio de Mecánica de Materiales de la EPIC – UNACH	89
Figura 20 Extracción de Material de la Cantera de Arena de Conchán	91
Figura 21 Extracción de Material de la Cantera de la Piedra Chancada de Chuyabamba	91
Figura 22 Realización de Ensayos Físicos al Agregado Fino: Peso Específico.....	96
Figura 23 Realización de Ensayos Mecánicos al Agregado Grueso: Abrasión	96
Figura 24 Preparación de las Mezclas de Concreto	101
Figura 25 Ensayo de Contenido de Aire en la Mezcla de Concreto con Caucho Granular	104
Figura 26. Ensayo para Asentamiento	105
Figura 27 Ensayo de Temperatura en la Mezcla de Concreto.....	106
Figura 28 Ensayo de Peso Unitario del Concreto	107
Figura 29 Curado de los Adoquines de Concreto con Caucho Granular	110
Figura 30 Realización de Ensayos de Resistencia Mecánica en los Adoquines con Caucho Granular.....	112

Figura 31 Curva de Distribución Granulométrica de la Arena	116
Figura 32 Curva de Distribución Granulométrica del Agregado Grueso (Piedra chancada) ..	117
Figura 33 Curva de Distribución Granulométrica del Caucho Granular.....	117
Figura 34 Porcentaje en que se ven Afectadas las Propiedades del Concreto con Adición de Caucho Granular	124
Figura 35 Peso Unitario (kg/m ³) del Concreto con Caucho Granular	124
Figura 36 Asentamiento (pulg) del Concreto con Caucho Granular.....	125
Figura 37 Contenido de Aire (%) del Concreto con Caucho Granular	125
Figura 38 Temperatura (°C) del Concreto con Caucho Granular	126
Figura 39 Tiempo de Fraguado inicial (min) del Concreto con Caucho Granular.....	126
Figura 40 Resistencia a Compresión y Flexión de los Adoquines de Concreto Tipo I a los 28 días	130
Figura 41 Variación Dimensional de los Adoquines con Caucho Granular Reciclado	131
Figura 42 Alabeo de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de Caucho Granular Reciclado.....	133
Figura 43 Absorción de los Adoquines con Caucho Granular Reciclado	134
Figura 44 Peso Unitario de los Adoquines con Caucho Granular Reciclado.....	135
Figura 45 Resistencia a Compresión de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de Caucho Granular Reciclado	137
Figura 46 Resistencia a Compresión de los Adoquines con 0% de Caucho Granular	138
Figura 47 Resistencia a Compresión de los Adoquines con 10% de Caucho Granular	139
Figura 48 Resistencia a Compresión de los Adoquines con 20% de Caucho Granular	140
Figura 49 Resistencia a Compresión de los Adoquines con 40% de Caucho Granular	141
Figura 50 Resistencia a Compresión de los Adoquines con 60% de Caucho Granular	142
Figura 51 Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 0% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 1	144
Figura 52 Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 0% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 2	145
Figura 53 Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 0% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 3	146
Figura 54 Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 0% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 4	147
Figura 55 Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 0% de Caucho Granular Reciclado, Resumen de Probetas	147
Figura 56 Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 10% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 1	148

Figura 57 Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 10% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 2	149
Figura 58 Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 10% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 3	150
Figura 59 Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 10% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 4	151
Figura 60 Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 10% de Caucho Granular Reciclado, Resumen de Probetas	152
Figura 61 Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 20% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 1	153
Figura 62 Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 20% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 2	154
Figura 63 Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 20% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 3	155
Figura 64 Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 20% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 4	156
Figura 65 Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 20% de Caucho Granular Reciclado, Resumen de Probetas	156
Figura 66 Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 40% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 1	157
Figura67 Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 40% de Caucho Granular Reciclado, Probeta.2	158
Figura68 Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 40% de Caucho Granular Reciclado, Probeta.3	159
Figura69 Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 40% de Caucho Granular Reciclado, Probeta.4	160
Figura70 Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 40% de Caucho Granular Reciclado, Resumen de Probetas	161
Figura 71 Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 60% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 1	162
Figura72 Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 60% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 2	163
Figura73 Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 60% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 3	164
Figura74 Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 60% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 4	165

Figura 75 Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 60% de Caucho Granular Reciclado, Resumen de Probetas	165
Figura 76 Resistencia a Flexión de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de Caucho Granular Reciclado.....	167
Figura 77 Resistencia a Flexión de los Adoquines con 0% de Caucho Granular Reciclado ..	168
Figura 78 Resistencia a Flexión de los Adoquines con 10% de Caucho Granular Reciclado	169
Figura 79 Resistencia a Flexión de los Adoquines con 20% de Caucho Granular Reciclado	170
Figura 80 Resistencia a Flexión de los Adoquines con 40% de Caucho Granular Reciclado	171
Figura 81 Resistencia a Flexión de los Adoquines con 60% de Caucho Granular Reciclado	172
Figura 82 Prueba de Normalidad de la Resistencia a Compresión	174

RESUMEN

En la actualidad, resulta fundamental proponer materiales innovadores y sostenibles para la construcción de pavimentos peatonales, como los adoquines con caucho granular reciclado. Sin embargo, dado que este agregado reciclado puede influir en las características fundamentales del material, se planteó la presente investigación con el objetivo de caracterizar el comportamiento mecánico de adoquines tipo I con adición de caucho granular reciclado para pavimentos de uso peatonal, Chota, 2024. La metodología adoptó un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada y nivel explicativo, utilizando un diseño experimental clásico con pre-test y post-test. La muestra consistió en 180 adoquines tipo I elaborados con diferentes proporciones de caucho granular (0%, 10%, 20%, 40%, y 60%) respecto al volumen de los agregados, bajo una mezcla de concreto con $f'c$ 290 kg/cm². Los resultados mostraron que la adición de caucho granular afecta significativamente el comportamiento mecánico de los adoquines. Los adoquines con 0% y 10% de caucho cumplieron con los requisitos normativos, logrando un equilibrio entre peso, trabajabilidad y resistencia mecánica. Sin embargo, proporciones superiores al 10% generaron incrementos en la absorción de agua y reducciones en la resistencia a compresión (358.29, 308.32, 278.06, 239.43 y 193.33 kg/cm² para adoquines con 0%, 10%, 20%, 40% y 60% de caucho) y flexión (120.55, 109.11, 90.58, 85.68 y 76.83 kg/cm² para adoquines con 0%, 10%, 20%, 40% y 60% de caucho). En conclusión, la adición de caucho granular reciclado en los adoquines es viable hasta un 10%, garantizando su funcionalidad para pavimentos peatonales de acuerdo a la NTP 399.611 (2017).

Palabras clave: adoquines, caucho granular, absorción, resistencia a compresión, flexión.

ABSTRACT

Nowadays, it is essential to propose innovative and sustainable materials for the construction of pedestrian pavements, such as pavers with recycled granular rubber. However, given that this recycled aggregate can influence the fundamental characteristics of the material, the present research was proposed with the objective of characterizing the mechanical behavior of type I pavers with the addition of recycled granular rubber for pedestrian pavements, Chota, 2024. The methodology adopted a quantitative approach, applied and explanatory level, using a classical experimental design with pre-test and post-test. The sample consisted of 180 type I pavers made with different proportions of granular rubber (0%, 10%, 20%, 40%, and 60%) with respect to the volume of aggregates, under a concrete mix with f_c 290 kg/cm². The results showed that the addition of granular rubber significantly affects the mechanical behavior of the pavers. The pavers with 0% and 10% rubber met the regulatory requirements, achieving a balance between weight, workability and mechanical strength. However, proportions higher than 10% generated increases in water absorption and reductions in compressive strength (358.29, 308.32, 278.06, 239.43 and 193.33 kg/cm² for pavers with 0%, 10%, 20%, 40% and 60% rubber) and flexural strength (120.55, 109.11, 90.58, 85.68 and 76.83 kg/cm² for pavers with 0%, 10%, 20%, 40% and 60% rubber). In conclusion, the addition of recycled granular rubber in pavers is feasible up to 10%, guaranteeing its functionality for pedestrian pavements according to NTP 399.611 (2017).

Key words: pavers, granular rubber, absorption, compressive strength, bending.

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

El problema de la gestión de residuos, especialmente de neumáticos fuera de uso (NFU), ha cobrado gran relevancia debido a su impacto ambiental; anualmente, se generan millones de toneladas de neumáticos que, al finalizar su vida útil, requieren soluciones sostenibles para su disposición, una de las estrategias emergentes es la incorporación de caucho granular reciclado en materiales de construcción, lo que no solo ayuda a disminuir el volumen de residuos, sino que también puede mejorar algunas propiedades mecánicas de estos materiales (Reyes et al., 2020).

En América Latina, los países enfrentan problemas significativos relacionados con la disposición final de neumáticos, lo que genera una gran cantidad de vertederos ilegales y problemas de contaminación (Kühn et al., 2024); al mismo tiempo, existe una creciente demanda por soluciones de pavimentación duraderas y económicas para zonas peatonales (Riaz et al., 2024); por lo que, la adopción de adoquines con caucho reciclado no solo aborda la problemática ambiental al reutilizar los NFU, sino que también ofrece una opción económica y resistente para la construcción de pavimentos (Reyes & Pardo, 2022).

Perú enfrenta desafíos específicos en términos de gestión de residuos sólidos, incluidos los NFU; las políticas de gestión de residuos aún están en desarrollo, y existe la necesidad urgente de soluciones que combinen sostenibilidad ambiental y eficiencia económica (Paredes & Bartra, 2024). En este sentido, la incorporación de caucho reciclado en la fabricación de adoquines para pavimentos podría ofrecer múltiples beneficios, como la reducción en el volumen

de residuos de neumáticos, la innovación en materiales de construcción y la mejora de la infraestructura peatonal en diversas comunidades (Rea, 2022).

Los pavimentos urbanos son las superficies que se utilizan para transitar o circular en zonas urbanas, ya sea por peatones o vehículos (Angelo et al., 2023). De acuerdo a la norma nacional CE.010 del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS, 2010) en el país los pavimentos urbanos pueden ser rígidos (de concreto), flexibles (asfálticos), adoquinados o mixtos, pero los pavimentos de adoquines de concreto se clasifican en tipo I uso peatonal, tipo II tránsito vehicular ligero y tipo III tránsito vehicular pesado, cada uno con características y especificaciones técnicas particulares de acuerdo a su uso.

En el contexto local, la ciudad de Chota según la Municipalidad Provincial de Chota (MPCH, 2018) tiene 54.11% de pavimentos en mal estado de transitabilidad, de los cuales el 20.89% son pavimentos flexibles, el 25% son pavimentos rígidos, el 26.89% son vías afirmadas y el 27.22% vías sin afirmar, por tanto, no existen vías que hayan utilizado el sistema de adoquines de concreto, siendo un sistema inexplorado, que requiere de la indagación teórico práctica para el conocimiento de sus propiedades físico mecánicas, a fin de verificar si este podría ser un sistema con aplicabilidad en la ciudad de Chota, considerando que, el mismo ente gubernamental argumenta que, es necesario replantear el tipo y calidad del pavimento utilizado en las vías chotanas, para que se relacione con su capacidad, costo, duración y características de tránsito vehicular y/o peatonal, además de aportar al desarrollo sostenible de Chota.

Los adoquines de concreto son una opción popular para pavimentar áreas peatonales y de tráfico ligero debido a su durabilidad, resistencia, bajo costo y fácil mantenimiento (Solouki et al., 2022), además de su funcionalidad, también

cumplen el papel estético en el diseño de espacios públicos (Karisma et al., 2023), no obstante, actualmente con el fin de maximizar el reciclaje (sostenibilidad), proporcionar mejores prestaciones mecánicas y facilitar el mantenimiento se ha propuesto la fabricación de adoquines ligeros, remplazando los agregados usuales (arena, piedra chancada) por materiales reciclados, como el caucho (Kabir, 2023).

La inclusión de caucho granular reciclado en adoquines de concreto es una práctica cada vez más común en la construcción (Makoundou et al., 2021). Este material, proveniente de neumáticos desechados, de acuerdo a Makoundou et al. (2023) no solo contribuye a reducir los desechos en los vertederos, sino que también mejora algunas propiedades mecánicas de los adoquines, como la resistencia a compresión y la absorción de impactos, cuando se adiciona en bajos porcentajes. Así mismo, Mohamad et al. (2023) destaca que, la presencia de caucho puede mejorar la capacidad de absorción de energía de los adoquines, lo que los hace más resistentes a impactos y cargas cíclicas, además, la presencia de caucho puede contribuir a aumentar la flexibilidad de los adoquines, lo que los hace más aptos para soportar tráfico peatonal constante. Li et al. (2020) encontró que la resistencia a la compresión de los adoquines con caucho reciclado era 15% mayor que la de los adoquines tradicionales; no obstante, de acuerdo a Karimi et al. (2023), la adición de caucho reciclado también puede tener efectos negativos en algunas propiedades mecánicas de los adoquines; la resistencia a flexión puede disminuir ligeramente debido a la naturaleza menos rígida del caucho en comparación con otros agregados, pero, este efecto puede ser contrarrestado mediante un diseño adecuado de la mezcla y el correcto proceso de fabricación.

A pesar de los beneficios aparentes del uso de caucho granulado en adoquines de concreto, Karimi et al. (2023) resalta que, las propiedades finales

del concreto que se utiliza para la producción de adoquines pueden verse influenciadas por factores como la gradación y la proporción de caucho granular, así como la adhesión con los otros agregados de la mezcla, como la arena y la piedra chancada, cuyas propiedades son particularmente distintas entre un lugar y otro. En otras palabras, esta variabilidad en las propiedades de las materias primas puede afectar la resistencia y otras características fundamentales de los adoquines de concreto, lo que puede comprometer la calidad técnica de este material para su uso en pavimentos peatonales. Por tanto, resulta imprescindible llevar a cabo estudios específicos a nivel local que permitan determinar la combinación óptima de materiales para la mezcla de concreto con caucho granular, con el fin de garantizar que se cumplan los lineamientos de resistencia requeridos en adoquines para pavimentos de uso peatonal de acuerdo a la norma CE.010 (MVCS, 2010).

En este sentido, es necesario profundizar en investigaciones detalladas y realizar pruebas en laboratorio que permitan maximizar los beneficios del uso de caucho granular en adoquines de concreto y minimizar posibles riesgos, como la reducción de su capacidad mecánica. De esta manera, se podrá aprovechar al máximo el potencial del uso de caucho granular en la mezcla de concreto, contribuyendo al conocimiento científico y al desarrollo de nuevas tecnologías en el sector de la construcción. Siendo así, tomando como base lo descrito se ha propuesto el desarrollo de la investigación “Caracterización del comportamiento mecánico de adoquines tipo I con adición de caucho granular reciclado para pavimentos de uso peatonal, Chota, 2024”.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo varía el comportamiento mecánico de adoquines tipo I con adición de caucho granular reciclado para pavimentos de uso peatonal, Chota, 2024?

1.3. Justificación

a) Justificación científica

Esta investigación se centra en caracterizar el comportamiento mecánico de adoquines tipo I con caucho granular para pavimentos de uso peatonal, aportando al conocimiento sobre cómo esta adición influye en propiedades, como resistencia del material; por tanto, aborda un vacío en la información sobre los efectos del caucho reciclado en parámetros mecánicos específicos y su aplicabilidad en pavimentos peatonales. La metodología científica permite obtener datos concretos que pueden generalizarse a otros contextos, ofreciendo alternativas sostenibles y duraderas para la construcción urbana. Si los resultados son positivos, estos podrían aplicarse en proyectos similares, contribuyendo al uso de materiales reciclados y la selección de materiales de pavimentación, con un enfoque particular en la ciudad de Chota.

b) Justificación técnica

La investigación se ha planteado por la necesidad de buscar alternativas sostenibles y resistentes para pavimentos peatonales en entornos urbanos. La adición de caucho granular reciclado en adoquines tipo I representa una posible solución para mejorar algunas de sus propiedades, contribuyendo a la reutilización de materiales reciclados. Esta investigación es inexplorada en el contexto local y aborda una brecha existente en la literatura sobre la caracterización del comportamiento mecánico de adoquines con caucho reciclado para pavimentos peatonales, por tanto, con su desarrollo se obtendrá información clara sobre los efectos de esta adición en la resistencia mecánica de adoquines tipo I en Chota. La trascendencia de este estudio radica en su contribución al conocimiento científico y la sostenibilidad ambiental, promoviendo la reutilización de

materiales reciclados y mejorando la resistencia de los pavimentos peatonales, lo que beneficiará a los organismos encargados de la planificación y pavimentación urbana, así como, a las personas que tengan interés en la investigación científica de nuevos materiales de construcción, siendo así, este estudio sirve de base para futuras investigaciones acerca de la elaboración de adoquines de concreto con el uso de agregados reciclados, como caucho granular.

1.4. Delimitación de la investigación

La investigación se llevó a cabo durante el año 2024 en el distrito de Chota, provincia de Chota, región Cajamarca, Perú. Los agregados utilizados en la fabricación de los adoquines provinieron de fuentes locales: el agregado fino (arena) fue extraído de la cantera Conchán , y el agregado grueso (piedra chancada) de la cantera Chuyabamba. El caucho granular reciclado, se obtiene de materiales reciclados de neumáticos.

La población y muestra analizada consistió en 180 adoquines tipo I de concreto, diseñados para pavimentos de uso peatonal. Estos adoquines fueron fabricados con concreto de resistencia característica $f'c$ 290 kg/cm², incorporando proporciones de caucho granular reciclado como adiconante del volumen de arena y piedra chancada. Los porcentajes evaluados fueron: 0%, 10%, 20%, 40% y 60%, distribuyéndose 36 unidades por cada nivel de adición.

La investigación se centra en evaluar el comportamiento mecánico de los adoquines, examinando aspectos clave de su desempeño, como resistencia a compresión y flexión. Se analizaron las propiedades fisico-mecánicas de los materiales, como el módulo de finura, la absorción, el peso unitario y los pesos unitarios. También se evaluaron las propiedades del concreto fresco , incluyendo trabajabilidad, contenido de aire, peso unitario y tiempo de fraguado. En el

concreto endurecido, se analizaron la resistencia a compresión y flexión a edades de 7, 14 y 28 días, además de la variación dimensional, el alabeo y la absorción de agua de los adoquines fabricados.

El análisis se desarrolló con un enfoque experimental que permitió establecer conclusiones sobre la viabilidad técnica del uso de caucho granular reciclado en la elaboración de adoquines para pavimentos de uso peatonal en el contexto urbano del distrito de Chota.

1.5. Limitaciones

La adición de caucho granular se realizó exclusivamente en función del volumen de los agregados finos y gruesos. No se exploran metodologías basadas en el peso o proporciones mixtas de sustitución.

La investigación utilizó un diseño de mezcla con una resistencia característica $f_c = 290 \text{ kg/cm}^2$. No se evaluaron otros niveles de resistencia del concreto. Esto debido a que, se centra específicamente en el uso del concreto para la elaboración de adoquines tipo I de acuerdo a la norma CE.010 (MVCS, 2010).

La investigación se enfocó exclusivamente en adoquines para pavimentos de uso peatonal. No se incluyó el análisis de aplicaciones en pavimentos vehiculares o en condiciones más exigentes, como exposiciones a cargas dinámicas elevadas o entornos industriales.

Los agregados utilizados en el estudio (arena y piedra chancada) provienen de fuentes específicas en Chota: la cantera Conchán y la cantera Chuyabamba. Esto restringe la extrapolación de los resultados a materiales de otras localidades con características diferentes.

La investigación se centró en pruebas mecánicas y de desempeño (a compresión y flexión) a corto plazo (7, 14 y 28 días).

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Caracterizar el comportamiento mecánico de adoquines tipo I con adición de caucho granular reciclado para pavimentos de uso peatonal, Chota, 2024.

1.6.2. Objetivos específicos

- Determinar las propiedades físicas y mecánicas del agregado fino, grueso y caucho granular reciclado utilizado en la producción de adoquines tipo I de concreto.
- Analizar el asentamiento – slump, contenido de aire, peso unitario, temperatura, tiempo de fraguado de la mezcla de concreto con adición de caucho granular para la producción de adoquines tipo I de concreto.
- Evaluar las características físico mecánicas, como: variación dimensional, alabeo, absorción, peso unitario, peso, resistencia a la compresión, resistencia a flexión, de los adoquines tipo I de concreto con adición de caucho granular reciclado.

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. *Antecedentes internacionales*

En la revista ARACÊ, de Bastiani et al. (2024) presentaron su artículo científico traducido del inglés como “Análisis del uso del caucho procedente de la banda de ruedas de neumáticos en adoquines de concreto” tuvieron como objetivo estudiar la sustitución de agregados naturales por residuos de caucho para adoquines de concreto en Porto Alegre, Brasil. Para la mezcla base utilizaron 1:0.4:0.45 de cemento: agregado fino: agregado grueso, respectivamente, con arena de río, caucho granular y agregado grueso que presentan módulo de finura de 2.49, 3.21 y 5.89, respectivamente, y cumplen con el huso granulométrico. Utilizaron porcentajes de 5%, 10% y 15% para elaborar 160 adoquines de concreto, con aditivo plastificante del 0.3% (en base a la masa de cemento). La absorción de las mezclas con 0%, 5%, 10% y 15% de caucho granular fue 4%, 9%, 8% y 9.5%, respectivamente; superando el 6% especificado. La resistencia a compresión para adoquines con 0%, 5%, 10% y 15% de caucho granular a los 7 días fue 31 MPa (316.11 kg/cm²), 18 MPa (183.55 kg/cm²), 16 MPa (163.16 kg/cm²), 8 MPa (81.58 kg/cm²), a los 14 días fue 36 MPa (367.09 kg/cm²), 19 MPa (193.75 kg/cm²), 17 MPa (173.35 kg/cm²) y 9 MPa (91.77 kg/cm²), y a los 28 días fue 40 MPa (407.89 kg/cm²), 22 MPa (224.34 kg/cm²), 20 MPa (203.94 kg/cm²), 10 MPa (101.97 kg/cm²), respectivamente. Concluyeron que, el uso de 5%, 10% y 15% de caucho granular reduce la resistencia a compresión de los adoquines en 47.39%, 51.83% y 77.79%, respectivamente, sin embargo, aumentan la resistencia a abrasión e impacto.

Este estudio fue relevante para identificar las proporciones de caucho granular que maximizan las propiedades mecánicas deseadas en adoquines tipo I. Además, destaca el impacto del caucho en la resistencia a abrasión e impacto, lo cual es útil para aplicaciones peatonales.

En la revista TWIST, Sales et al. (2024) presentaron su artículo científico traducido como “Reutilización de tiras de revestimiento interior de neumáticos (caucho) como remplazo parcial de agregado grueso para adoquines de caucho sostenible” con el fin de determinar las propiedades del boque de adoquín de caucho (RPB) en Filipinas. Utilizaron la metodología de enfoque cuantitativo, y elaboraron 225 adoquines de concreto con piedra triturada y agregados finos de A's Sand & Gravel Supplier Belisario, Davao City, con 0%, 10%, 20%, 30% y 40% del volumen de agregado grueso remplazado por caucho de tiras de revestimiento interior de neumáticos (ILTS), con aditivo TibayMix superplastificante, para ensayarlos a los 28 días. Determinaron que, la absorción de los adoquines con 0%, 10%, 20%, 30% y 40% de caucho fue 7%, 10%, 3.79%, 4.07% y 3.73%, respectivamente, por lo que, las mezclas con 20% de caucho granular a más cumplen con la tasa de absorción máxima requerida del 6%. La resistencia a compresión de los adoquines de concreto con 0%, 10%, 20%, 30% y 40% de caucho fue 14.5 MPa (147.86 kg/cm²), 16.04 MPa (163.56 kg/cm²), 15.02 MPa (153.16 kg/cm²), 12.89 MPa (131.44 kg/cm²) y 11.29 MPa (115.13 kg/cm²). Ultimaron que, los adoquines con 20% de caucho fueron favorables, como ejemplares con baja absorción, adecuada resistencia y alta infiltración.

Ofrece datos de interés, como, los resultados sobre la mezcla con 20% de caucho que, son particularmente útiles para establecer una base comparativa en términos de absorción y resistencia para los adoquines en el contexto de Chota.

En la revista *Journal of Building Engineering*, Helal et al. (2024) en su artículo científico traducido del inglés como “Rendimiento de los adoquines ecológicos elaborados a partir de caucho granulado pretratado y polvo de cantera residual” tuvieron como objetivo analizar las propiedades de los adoquines con caucho granulado pretratado y polvo de cantera residual. El método fue cuantitativo, y utilizaron dosis de 10%, 20% y 30% de caucho granulado (CR) como remplazo parcial del cemento. Los resultados mostraron que el uso de CR sin tratamiento disminuyó las resistencias a compresión y tracción en 28.1% y 11.2%, pero aumentó la resistencia a flexión en 25.1% en símil con el concreto de control. Sin embargo, la incorporación de 20% de CR tratado físicamente mejoró la resistencia a compresión hasta en 20.1% y la resistencia a la tracción hasta en 24.4%, aunque la resistencia a flexión disminuyó en 13.4%. Concluyeron que, se puede utilizar 20% de caucho granular tratado para elaborar concreto.

Este estudio introduce la variable del tratamiento físico del caucho granular, demostrando que el pretratamiento puede mejorar significativamente la resistencia. Esto es importante para evaluar si es viable implementar métodos de pretratamiento del caucho granular en futuros proyectos para optimizar las propiedades mecánicas de los adoquines.

En la revista *Journal of Advanced Industrial Technology and Application*, Ismail et al. (2024) en su artículo científico traducido del inglés como “Resistencia a la compresión de adoquines con residuos de neumático de caucho y fibra de bambú en condiciones extremas” tuvieron como objetivo evaluar el efecto de la adición de desechos de neumáticos de caucho y fibras de bambú en bloques de adoquines. En la investigación cuantitativa utilizaron la proporción 1:2:3 de cemento: arena: piedra chancada para producir un lote de adoquines con 0%, 10%,

20%, 30%, 40% y 50% de residuos de caucho que sustituyen a la arena y otro lote con 0.2%, 0.3% y 0.4% de fibra de bambú. Determinaron que, el peso unitario de los adoquines se reduce conforme se acrecienta el porcentaje de caucho granular, adoquines con 0%, 10%, 20%, 30%, 40% y 50% de caucho alcanzaron 2500, 2450, 2250, 2000, 2050, 1950 kg/m³, respectivamente. La absorción de los adoquines con 0%, 10%, 20%, 30%, 40% y 50% de caucho fue 3.5%, 7.5%, 11%, 13.5%, 14.5% y 15%, respectivamente. La resistencia a compresión a los 28 días de los adoquines con 0%, 10%, 20%, 30%, 40% y 50% de caucho fue 33.31 MPa (339.67 kg/cm²), 15.86 MPa (161.73 kg/cm²), 6.68 MPa (68.12 kg/cm²), 4.83 MPa (49.23 kg/cm²), 2.88 MPa (29.37 kg/cm²) y 2.72 MPa (27.74 kg/cm²). Concluyeron que, si bien el uso de fibra de bambú al 0.3% mejora la resistencia, el aumento del caucho granular la disminuye la resistencia de los adoquines, a pesar de ello, son adecuados para aplicaciones estructurales que requieran resistencia inferior a 250 kg/cm².

Este antecedente permite considerar alternativas adicionales para mejorar las propiedades mecánicas y el diseño de los adoquines en condiciones extremas.

En la revista *Materials*, Na & Lee (2024) en su artículo científico traducido como “Propiedades mecánicas del concreto de azufre cauchutado utilizando caucho de neumático de desecho” tuvieron como objetivo investigar el concreto con azufre engomado (RSC) y caucho granular para la producción de adoquines en Denver de Estados Unidos. En la investigación cuantitativa, utilizaron azufre, arena, partículas de caucho y micro rellenos como cenizas volantes para el concreto. La arena de río presentó gravedad específica de 2.6 g/cm³, módulo de finura de 2.63, absorción de 2.5%; mientras que, las partículas de caucho presentan densidad de 1 g/cm³. El concreto con 0%, 10%, 20%, 30%, 40% y 50%

de partículas de caucho sin micro relleno alcanzan resistencias a compresión de 14 MPa (142.76 kg/cm²), 12 MPa (122.37 kg/cm²), 9 MPa (91.77 kg/cm²), 5 MPa (50.99 kg/cm²), 2.5 MPa (25.49 kg/cm²), 2 MPa (20.39 kg/cm²), respectivamente, mientras que, con micro relleno alcanzan 24 MPa (244.73 kg/cm²), 18 MPa (183.55 kg/cm²), 16 MPa (163.16 kg/cm²), 14 MPa (142.76 kg/cm²), 9 MPa (91.77 kg/cm²), 6 MPa (61.18 kg/cm²). Concluyeron que, el incremento del caucho condujo a la disminución en la resistencia, la mezcla con 20% de partículas de caucho producida mediante proceso de mezclado en húmedo presenta una mejor resistencia a la corrosión y al ciclo de congelación y descongelación.

Este trabajo analiza el efecto de las partículas de caucho en el concreto cauchutado, destacando cómo la adición de micro rellenos puede mitigar la pérdida de resistencia a compresión. Esto es relevante para explorar el uso de aditivos adicionales para compensar la pérdida de resistencia asociada con el caucho granular.

En la revista Discover Civil Engineering, Saeed & Hassan (2024) presentaron su artículo científico traducido como “Descripción general de las propiedades mecánicas y en estado fresco del concreto cauchutado” tuvieron como objetivo explorar el efecto de los residuos de caucho triturado en el concreto cauchutado para su uso en la elaboración de adoquines. Su investigación fue cualitativa de tipo revisión bibliográfica, donde revisaron 60 estudios anteriores acerca de concreto con caucho de desecho. Determinaron que, el uso de virutas de caucho en concentraciones volumétricas de 0, 25, 50, 75 y 100%, genera resistencias a compresión de 31.9 (325.289 kg/cm²), 19.6 (199.86 kg/cm²), 13.8 (140.72 kg/cm²), 9.9 (100.95 kg/cm²) y 7.5 MPa (76.48 kg/cm²), respectivamente, pero si el caucho granular es tratado antes de su mezcla en el concreto puede

aumentar hasta en 35% la resistencia a compresión cuando utiliza hasta 20% de caucho comprimido triturado. Respecto a la flexión, el concreto con 2.5% de caucho en polvo estipuló alcanzó 7.3 MPa (74.44 kg/cm²), pero la mezcla con 20% de caucho en polvo obtuvo el valor más bajo de 5.5 MPa (56.08 kg/cm²). En concentraciones de 5, 10, 15% y 20% de caucho granular, el peso unitario que se alcanza fue 2374, 2273, 2171 y 2069 kg/m³. Los valores de asentamiento del concreto disminuyeron de 220 a 185 mm, cuando se aumentó la cantidad de caucho granulado de 0 a 25%. Concluyeron que, la unión ineficaz del caucho y la mezcla produce una pérdida mecánica, por lo que, el concreto es inutilizable para aplicaciones estructurales.

Al basarse en una revisión bibliográfica, este antecedente ofrece un panorama amplio sobre los efectos mecánicos y en estado fresco del caucho en el concreto, subrayando la necesidad de uniones eficaces con la matriz de cemento.

En la revista *Technical Journal of University of Engineering & Technology Taxila*, Shujahat et al. (2024) en su artículo traducido del inglés como “Evaluación del desempeño mecánico del concreto mediante la integración de caucho granulado y residuos vegetales” tuvieron como fin analizar la influencia del remplazo parcial de arena con 5% y 10% de caucho granulado y 0.5% de residuos vegetales en el cemento para producir concreto para adoquines. En la investigación de enfoque cuantitativo elaboraron probetas de concreto y lo ensayaron a compresión, tracción y flexión en estado endurecido. Determinaron que, las muestras que contenían el reemplazo con caucho en un 5% y 10% y 0.5% de residuos vegetales mostraron una reducción del 47% y 61% en la compresión respectivamente, debido a que, la resistencia a compresión fue 20 MPa (203.94 kg/cm²), 10.53 MPa (107.38 kg/cm²) y 7.73 MPa (78.82 kg/cm²). Así mismo,

hubo una reducción del 33% (0.5% de residuos vegetales y 5% de caucho) y del 37% (0.5% de residuos vegetales y 10% de caucho) en la resistencia a la tracción y una disminución del 37% (0.5% de residuos vegetales y 5% de caucho) y del 58% (0.5% de residuos vegetales y 10% de caucho) en la resistencia a la flexión, alcanzando resistencias de 6.58 MPa (67.10 kg/cm²), 4.09 MPa (41.71 kg/cm²) y 2.75 MPa (28.04 kg/cm²) respectivamente para el concreto con 0%, 5% y 10% de caucho granular. Concluyeron que, hay reducción significativa de la resistencia con el aumento de las proporciones de caucho granulado en la mezcla de concreto.

Este antecedente ayuda a delimitar las proporciones de caucho para garantizar que los adoquines cumplan con los requisitos mecánicos mínimos.

En la revista *Technical Journal*, 3(ICACEE), Saleem et al. (2024) en su disertación traducida como “Efecto del caucho granulado en el comportamiento fresco y mecánico del concreto a base de OPC” tuvieron por fin analizar las propiedades frescas y endurecidas del concreto cauchutado con caucho granulado (ACRC) y fibroso (FCRC), como sustituto de los áridos gruesos al 0%, 2%, 4%, 6% y 8% en combinación con cenizas volantes y cemento en una proporción constante de 15:85. En el estudio de enfoque cuantitativo utilizaron 469.2 kg/m³ de cemento, 683.43 kg/m³ de arena, 903.2 kg/m³ de grava y 221.84 lt de agua para la dosificación base. Determinaron que, la trabajabilidad disminuyó a medida que aumentaba la cantidad de caucho, siendo inicialmente 95 mm, para ser luego 80 mm al utilizar 8% de caucho; así mismo, las partículas de caucho granulado angular y fibroso redujeron ligeramente la resistencia a compresión del concreto en comparación con la mezcla de control. La resistencia inicial (45 MPa – 458 kg/cm²) se redujo en 33% y 37.67% en ACRC y FCRC, respectivamente; sin embargo, la flexión (2.8 MPa – 28.55 kg/cm²) y la tracción (2.6 MPa – 26.51

kg/cm²) del concreto aumentaron aproximadamente en un 8% y un 43% para la dosis máxima del 8% de caucho fibroso. Concluyeron que, el uso de 8% de caucho fibroso puede beneficiar la flexión del concreto para su uso en adoquines de concreto para pavimentos.

Ofrece datos relevantes para evaluar cómo diferentes formas de caucho influyen en las propiedades mecánicas de los adoquines.

Embaye (2024) en su tesis de maestría en ciencias presentada en la Universidad Estatal de Ohio, con el título traducido del inglés como “Efectos del caucho de desecho sobre la resistencia y otras propiedades del concreto” tuvo por fin investigar el efecto del caucho de desecho en el concreto. Recogió siete tipos diferentes de caucho y los molió en tamaños comparables al cemento y la arena. Dos de los materiales de caucho eran caucho sin vulcanizar, cuatro eran caucho vulcanizado y el último material se derivaba de neumáticos desechados. Determinó que la sustitución del cemento por caucho dio lugar a una reducción significativa de la resistencia a la compresión, atribuida al tamaño de partícula más grueso del caucho en comparación con el cemento. En cambio, al utilizar el caucho como sustituto parcial de la arena, observó resultados prometedores en términos de resistencia a compresión: el rango de reducción de la resistencia fue de 2-12% para el reemplazo del 5%, de 4-20% para el reemplazo del 10% y de 13-22% para el reemplazo del 15%. Concluyó que, a pesar de la reducción en la resistencia a compresión, la evaluación de costos e impacto ambiental indicó el uso de una significativa cantidad de caucho de desecho.

Este trabajo analiza cómo diferentes tipos de caucho y sus tamaños de partícula afectan el concreto. Es útil para evaluar la influencia del tamaño del caucho granular en las propiedades mecánicas de los adoquines.

2.1.2. Antecedentes nacionales

A través de la editorial IDEOS, Mamani & Mamani (2024) presentaron su libro “Adoquines renovables: El impacto del caucho reciclado en la infraestructura urbana” con el fin de analizar los adoquines de concreto elaborados con adición de 10%, 15% y 20% de caucho reciclado. El estudio de enfoque cuantitativo, tuvo como muestra 24 adoquines de concreto $f'c$ 340 kg/cm^2 que se ensayaron a compresión a los 3, 7, 14 y 28 días. El agregado grueso presentaba peso unitario suelto y compactado de 1443 y 1626 kg/m^3 , peso específico de 2.627 g/cm^3 , absorción 0.93%, humedad 0.82%, el agregado fino presenta MF de 2.77, peso unitario suelto y compactado de 1533 y 1725 kg/m^3 , peso específico de 2.566 g/cm^3 , absorción de 0.64%, humedad de 0.36%, mientras que, el caucho granulado tenía peso unitario de 491 kg/m^3 . Plantearon la dosificación base para la relación a/c de 0.45, con 438.33 kg/m^3 de cemento, 894.30 kg/m^3 de grava, 759.37 kg/m^3 de arena, y 199 lt de agua, siendo la proporción en volumen de 1:2.04:1.73. Determinó que, al utilizar 10% de caucho, la resistencia a compresión fue de 128.9, 183.5, 253.3 y 269.05 kg/cm^2 a los 3, 7, 14 y 28 días; con 15% de caucho, la resistencia alcanzó 116.5, 142.3, 227.1 y 240.21 kg/cm^2 a los 3, 7, 14 y 28 días, correspondientemente; y finalmente, con 20% de caucho, la resistencia fue de 71.5, 96.0, 173.3 y 188.55 kg/cm^2 a los 3, 7, 14 y 28 días, exactamente. Concluyó que, a mayor caucho en volumen, la resistencia a compresión disminuye de forma lineal.

Este estudio aporta datos específicos sobre la relación lineal entre la proporción de caucho y la reducción en resistencia a compresión que ayudan a definir los límites en los que se puede incorporar caucho sin comprometer el rendimiento mecánico, directamente aplicable al contexto de pavimentos.

Trujillo & Cabrera (2024) en su tesis presentada en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, con el título de “Evaluación de las propiedades mecánicas del concreto con caucho granulado reciclado como reemplazo parcial de la arena para pavimentos rígidos” tuvo como fin estudiar el caucho granulado como sustituto parcial de la arena al 5%, 7.5% y 10% en el concreto $f'c$ 280 kg/cm² para pavimentos. En el estudio de enfoque cuantitativo utilizaron arena de MF 2.88, con peso específico de 2.605 g/cm³, humedad de 2.5%, peso unitario suelto y compactado de 1653 y 1787 kg/m³; agregado grueso de TMN 1”, peso específico de 2.713 g/cm³, absorción de 1.05%, humedad de 0.40%, peso unitario suelto y compactado de 1488 y 1626 kg/m³, caucho granulado de MF 4.59, peso específico de 1.425 g/cm³, absorción de 17.1%, peso unitario suelto y compactado de 465 y 499 kg/m³. La dosificación base fue 439 kg de cemento, 1081 kg de grava, 650 kg de arena, 3.1 kg de aditivo plastificante y 208 lt de agua por m³ de concreto, a esta dosificación se reemplazó la arena por 32.5, 48.75 y 65 kg de caucho granular al 5%, 7.5% y 10%. La mezcla de concreto fresco con 0%, 5%, 7.5% y 10% de caucho tuvo temperaturas de 28.1, 26.8, 27.5 y 29.6 °C, slump de 8”, 7 ¾”, 7” y 6”, densidad de 2381.1, 2375.4, 2368.5, 2364.8 kg/m³, respectivamente. Elaboraron 36 probetas para ensayos a compresión, 12 a flexión y 12 a tracción, determinando que, a compresión la resistencia base (435.93 kg/cm²) se reduce en 11.47%, 33.14% y 40.56% (259.1 kg/cm²), respectivamente, al utilizar 5%, 7.5% y 10% de caucho granular; mientras que, la flexión (78.86 kg/cm²) también se reduce pero en porcentajes correspondientes de 13.13%, 20% y 31.25% (52.84 kg/cm²), pero el costo de producción también disminuye, por lo que, concluyeron que, el concreto con 5% de caucho granulado puede ser utilizado en la pavimentación rígida.

Proporciona información sobre el uso de caucho como sustituto parcial de arena en el concreto, destacando su análisis de costos y el énfasis en mezclas con 5% de caucho como viables para evaluar la sostenibilidad económica y técnica.

Livia & Chero (2023) en su tesis presentada en la Universidad César Vallejo, con el título de “Diseño de adoquín incorporando fibra de caucho para mejorar la resistencia del pavimento, de la Calle Leoncio Prado, Sullana 2022” tuvo como fin determinar las características del concreto con fibras de caucho para su uso en el pavimento de la calle Leoncio Prado de Sullana. El método de investigación fue experimental y tuvo como muestra 36 probetas con 3%, 6% y 9% de caucho granular de remplazo del volumen de la arena. Determinaron que, al incorporar caucho al 0%, 3%, 6% y 9% la resistencia del concreto asciende a 223, 227, 230 y 217 kg/cm², correspondientemente, reflejando un aumento sobre el f'c esperado 210 kg/cm². Concluyeron que el concreto con caucho reciclado como remplazo parcial de la arena obtuvo mayor resistencia a compresión.

Este antecedente enfatiza el potencial del caucho granular para aumentar la resistencia del concreto cuando se utiliza en proporciones moderadas (3% y 6%). Este enfoque optimista respecto al efecto del caucho granular en las propiedades mecánicas proporciona una perspectiva diferente, útil para optimizar las proporciones en el diseño de los adoquines.

Yachas (2023) en su tesis presentada en la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, con el título de “Fibras de caucho de neumáticos reciclados en el comportamiento del concreto estructural para la utilización en las obras civiles de la provincia de Pasco- 2023” tuvo por finalidad analizar el concreto con 3%, 5% y 7% de fibras de caucho. En el estudio de enfoque cuantitativo utilizaron arena de MF 3.84, peso específico 2.616 g/cm³, absorción de 1.64%, humedad de

0.59%, peso unitario suelto y compactado de 1566.52 y 1601.27 kg/m³, grava de TMN ¾”, peso específico 2.684 g/cm³, absorción 1.52%, humedad de 0.78%, peso unitario suelto y compactado de 1406 y 1512.5 kg/m³, y caucho granular de peso específico 1.091 g/cm³ y absorción de 1.23%. Con la dosificación base de 367.12 kg de cemento, 876.76 kg de arena, 879.42 kg de grava y 220.56 lt de agua, en proporción de volumen siendo 1: 2.28: 2.56 para 1 m³ de concreto. Determinó que, el concreto base adquirió 397.24 kg/cm² de resistencia a compresión, pero al incorporar 3%, 5% y 7% de fibras su capacidad mecánica se reduce a 366.25, 353.41 y 317.95 kg/cm², y al agregar al peso del agregado grueso su capacidad se reduce a 382.03, 368.64 y 336.84 kg/cm² respectivamente; mientras que, la flexión base de 46.08 kg/cm², se reduce a 45.10, 44.82 y 42.16 kg/cm² cuando se incorpora respecto al peso de la arena y en 44.12, 44.11 y 43.17 kg/cm² cuando se incorpora respecto al peso del agregado grueso, correspondientemente. Concluyó que, la resistencia se reduce a mayor porcentaje de caucho granular en el concreto, pero que, a pesar de ello, se puede utilizar como adoquines para pavimento en dosificaciones menores a 3%.

Este antecedente es importante para evaluar los límites superiores de adición de caucho en los adoquines, asegurando que las propiedades mecánicas cumplan con los requisitos para pavimentos peatonales.

Davila (2023) en su tesis presentada en la Universidad César Vallejo con el título “Análisis de las propiedades físico-mecánicas del adoquín peatonal, adicionando caucho y PET reciclado Los Olivos, 2023” tuvo como objetivo analizar las propiedades del adoquín peatonal mediante el aditamento de caucho y PET en el distrito de Los Olivos, Lima. Empleó el método cuasi experimental, con 108 adoquines como población y muestra, a los cuales sometió a ensayos de

compresión y flexión. Los resultados indicaron que la adición de caucho y PET mejora la trabajabilidad y absorción. Respecto a las características mecánicas, se comprobó que 4% es la proporción óptima de adición para adoquines tipo I. Concluyó que, la incorporación de caucho y PET mejora las propiedades de los adoquines peatonales.

Su enfoque en adoquines tipo I proporciona un marco de referencia directo para analizar la adición de caucho granular en el contexto de Chota.

2.1.3. Antecedentes regionales

González & Asenjo (2024) en su tesis presentada en la Universidad Nacional Autónoma de Chota, con el título de “Análisis de la influencia del caucho granular en las propiedades físicas, mecánicas y termoacústicas del concreto liviano, y sus posibles usos en edificaciones de Chota” con el fin de estudiar el concreto ligero $f'c$ 175 kg/cm², elaborado con 0, 10, 25 y 50% de caucho como sustituto parcial del volumen de la grava. La investigación cuantitativa tuvo como muestra a 36 probetas cilíndricas y 12 probetas prismáticas para ensayos a compresión y flexión. Determinaron que, el contenido de aire acrecienta conforme el caucho granulado (0%, 10%, 25% y 50%), siendo 1.43%, 1.51%, 1.55% y 1.72%, respectivamente; mientras que, la densidad disminuía a 2459.71, 2320.75, 2053.45 y 1863.02 kg/m³, la temperatura aumentaba a 21.67, 23.50, 25.50 y 28 °C, mientras que la trabajabilidad se reducía a 3.51”, 3.14”, 2.79” y 2.58”. La resistencia a compresión base (261.29 kg/cm²) se reducía a 257.23, 171.80 y 73.76 kg/cm² conforme se adiciona 10%, 25% y 50% de caucho granulado, así mismo, la flexión base (6.16 kg/cm²) también se reduce a 5.25, 4.38 y 3.19 kg/cm² conforme se adiciona 10%, 25% y 50% de caucho granulado,

respectivamente. Concluyeron que, con 25% de caucho granulado se cumple los requisitos del concreto liviano y se puede aplicar en la construcción no estructural.

Este destaca cómo el porcentaje de caucho granular afecta las propiedades del concreto, lo cual es aplicable para evaluar las proporciones óptimas en la fabricación de adoquines tipo I, asegurando un balance entre peso, resistencia y aplicabilidad en pavimentos peatonales. Además, su contexto en Chota es directamente relevante para las condiciones locales.

Revilla (2024) en su tesis presentada en la Universidad Nacional de Cajamarca, con el título de “Determinación de las propiedades físico mecánicas del concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$, sustituyendo parcialmente el agregado fino por residuos de llantas de caucho”, tuvo con fin determinar las propiedades del concreto $f'c\ 210\ \text{kg/cm}^2$, reemplazando la arena con residuos de llantas de caucho. Para ello, en el estudio cuantitativo elaboró el concreto patrón de dosificación 299.71 kg de cemento, 1104 kg de arena, 701 kg de confitillo, y 204.9 lt de agua, sustituyendo el 5%, 10% y 20% de la arena por caucho, siendo respectivamente 24.42, 48.85 y 97.7 kg de caucho granular. Determinó que, la densidad ($2372.31\ \text{kg/m}^3$) se reduce en 10% al incorporar 20% de caucho ($2180.28\ \text{kg/m}^3$), pero el asentamiento aumenta a 3.5”, 3.5”, 4” y 4” para el concreto con 0%, 5%, 10% y 20% de caucho, sin embargo, se reduce la resistencia a flexión ($37.87\ \text{kg/cm}^2$) en 55%, al utilizar 20% de caucho como remplazo ($16.98\ \text{kg/cm}^2$), mientras que, la resistencia a compresión ($291.09\ \text{kg/cm}^2$) aumenta en 14% respecto al $f'c$ de diseño, al sustituir tan solo 5% de la arena por caucho granular ($239.19\ \text{kg/cm}^2$), pero disminuye en 40% al agregar 20% de caucho granular ($123.05\ \text{kg/cm}^2$). Concluyó que, es posible utilizar positivamente hasta 5% de caucho granular para elaborar concreto.

Este estudio se enfoca en el reemplazo de arena por caucho granular en concreto, mostrando que una proporción baja (5%) puede mantener las características aceptables. La información sobre la reducción de densidad y el efecto adverso de porcentajes mayores de caucho es clave para establecer límites superiores en la adición de caucho granular en adoquines peatonales. Además, el análisis del comportamiento a flexión refuerza la necesidad de considerar este parámetro en el diseño de los adoquines.

En la Universidad Nacional Autónoma de Chota, Lucano & Nuñez (2023) en su tema de investigación “Estudio del Bloque Portante de Concreto Sustituyendo Agregado Fino por Caucho Granulado de Neumáticos Reciclados, Chota-2022” tuvieron como objetivo determinar la tasa óptima de sustitución de agregados finos por gránulos de caucho en la elaboración de bloques portantes. La investigación fue de tipo aplicada, descriptiva, correlacional, con una muestra de 186 bloques específicos. Determinaron que a medida que se acrecienta la proporción de partículas de caucho que reemplazan a la arena (0%, 5%, 10%, 15%, 20% y 25%) el valor de absorción del bloque aumenta, llegando a 8.83% y 9.82%. Sin embargo, en todos los casos, el cambio dimensional y la distorsión fueron del 9.71%, 9.87%, 11.02% y 9.82%, respectivamente, pero cumplieron con el estándar normativo. Por lo anterior, concluyeron que la proporción óptima de reemplazo de arena por granos de caucho para bloques es del 13%.

Este estudio aporta valiosa información a la tesis sobre cómo la adición de caucho granular puede afectar propiedades clave como la absorción y la distorsión, asegurando que los adoquines mantengan la integridad estructural y cumplan con normas técnicas, lo que es importante para la viabilidad de su aplicación en pavimentos peatonales en Chota.

2.2. Bases teórico – científicas

2.2.1. Teoría de resistencia de materiales: Adoquines de concreto

La resistencia de materiales analiza la relación entre esfuerzos internos, deformaciones y cambios en la forma de los cuerpos bajo cargas, considerando sus enlaces y propiedades del material, por tanto, establece fórmulas que conectan las cargas con las dimensiones y características del material (Pérez et al., 1992).

Según Craig & Taleff (2020), la resistencia de materiales se basa en la teoría de la elasticidad, que describe cómo los materiales deforman y recuperan su forma original bajo la acción de fuerzas externas, siendo, sus ecuaciones:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Donde, σ esfuerzo normal, P fuerza axial aplica, A área transversal del material.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{\sigma}{E} \quad (2)$$

Donde, ε deformación longitudinal, ΔL cambio de longitud, L longitud inicial, E módulo de elasticidad del material.

$$\sigma = \frac{My}{I} \quad (3)$$

Donde, M momento flector, y distancia del eje neutro hasta la fibra considerada, I momento de inercia de la sección transversal.

En el caso de los adoquines es importante entender cómo se comportan mecánicamente para garantizar su seguridad en aplicaciones de pavimentación. Pero la relación entre la teoría de la resistencia de materiales y el comportamiento mecánico de los adoquines es compleja, ya que la inclusión de caucho granular puede alterar las propiedades del adoquín y su capacidad para soportar cargas. Por lo que, según Sales et al. (2024), es necesario realizar pruebas de laboratorio y análisis numéricos para evaluar la resistencia de estos materiales en diferentes escenarios de uso.

2.2.2. Teorías relacionadas con los materiales utilizados en adoquines

El uso de caucho granular reciclado ha emergido como una solución que promueve la reutilización de residuos y la reducción del impacto ambiental (González & Asenjo, 2024). Pero para comprender el comportamiento de los adoquines fabricados con estos materiales, es esencial fundamentarse en teorías que explican las interacciones entre los componentes.

2.2.2.1. Principio de compatibilidad de materiales

El principio de compatibilidad de materiales establece que los componentes de una mezcla deben interactuar de manera eficiente para garantizar la uniformidad y desempeño del concreto. Esta compatibilidad incluye aspectos físicos, químicos y mecánicos, tales como adherencia entre los agregados y la matriz cementante, y la distribución homogénea de los materiales reciclados, como el caucho granular (Neville & Brooks, 2010).

En el caso de los adoquines, el caucho granular puede afectar la resistencia negativamente debido a su baja rigidez en comparación con los agregados convencionales. Sin embargo, cuando se logra una buena compatibilidad, el caucho puede mejorar la resistencia al impacto (Revilla, 2024).

2.2.2.2. Modelo de la mezcla de dos fases (matriz y agregado)

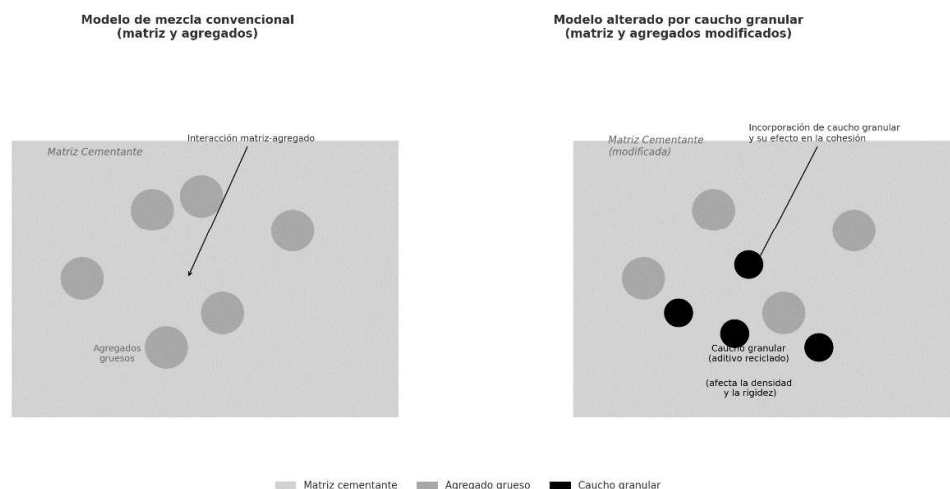
El modelo de mezcla de dos fases describe el concreto como un material compuesto formado por una matriz cementante y agregados, donde cada componente influye en las propiedades mecánicas y de durabilidad del material (Neville & Brooks, 2010). En este modelo, los agregados actúan como un esqueleto que soporta las cargas aplicadas, mientras que la matriz cementante distribuye los esfuerzos y proporciona cohesión.

En el contexto de los adoquines de concreto con caucho reciclado, el modelo de dos fases se ve modificado debido a las características del caucho, que introduce flexibilidad y reduce la densidad del material. La sustitución parcial o total de los agregados por caucho granular reduce la densidad y mejora la trabajabilidad, pero puede disminuir la resistencia y aumentar el módulo de elasticidad, atribuido a la naturaleza elástica del caucho, que absorbe parte de la energía aplicada durante las pruebas mecánicas (Saeed & Hassan, 2024).

Además, este modelo resalta la importancia de la transición entre fases, conocida como la zona de interfase, que tiene un impacto crítico en la resistencia y durabilidad del concreto. En mezclas que incluyen caucho, se ha observado que la zona de interfase puede debilitarse debido a la falta de adhesión entre las partículas de caucho y la matriz (Saleem et al., 2024). Sin embargo, el uso de micro rellenos o aditivos puede mejorar esta unión, optimizando el desempeño mecánico de los adoquines.

Figura 1

Modelo de la Mezcla de Dos fases (matriz y agregado) y su Modificación con la Adición de Caucho Granular



Nota: Modelo adaptado de (Saleem et al., 2024).

2.2.3. Modelo de Ley de Abrams: Para analizar la trabajabilidad del concreto

El modelo de la Ley de Abrams establece una relación empírica entre la relación agua-cemento (a/c) y la resistencia del concreto. Sin embargo, más allá de su uso tradicional en la predicción de resistencia, este modelo permite entender la trabajabilidad de mezclas de concreto. La trabajabilidad, definida como la facilidad con la que el concreto fresco puede ser mezclado, colocado y compactado, es una propiedad esencial para asegurar un acabado uniforme y durabilidad de los elementos de concreto (Neville & Brooks, 2010).

La Ley de Abrams plantea que, manteniendo constantes otros factores, la resistencia a compresión del concreto disminuye a medida que aumenta la relación a/c . A nivel práctico, una mayor cantidad de agua en la mezcla mejora la trabajabilidad, pero también reduce la densidad y la cohesión del concreto, lo que puede llevar a segregación de los agregados y menor resistencia mecánica (Metha & Monteiro, 2014). Esta dualidad obliga a los diseñadores de mezcla a encontrar un equilibrio entre trabajabilidad y resistencia, especialmente cuando se incorporan materiales con características particulares como el caucho granular.

La incorporación de caucho modifica las propiedades reológicas del concreto fresco. El caucho actúa como un material hidrofóbico, reduciendo la cohesión entre la matriz de cemento y los agregados; por lo que, para compensar esta pérdida de cohesión, se suele incrementar la relación a/c o adicionar aditivos superplastificantes, mejorando la trabajabilidad sin comprometer la resistencia mecánica. Por ejemplo, Gonzáles y Asenjo (2024) observaron que, al utilizar caucho granular la mezcla presentó una disminución en el asentamiento debido a la baja densidad del caucho y su incapacidad de retener agua, no obstante, ajustes en la relación a/c permitieron alcanzar la trabajabilidad adecuada.

2.2.4. Teoría de la mecánica del concreto: Resistencia a compresión y flexión

La mecánica del concreto analiza el comportamiento del concreto bajo diferentes tipos de cargas, destacando su capacidad para resistir esfuerzos a compresión y flexión. La resistencia a compresión mide la capacidad del material para soportar fuerzas axiales, mientras que la flexión evalúa su capacidad para resistir momentos y deformaciones (Neville & Brooks, 2010). Estas propiedades son esenciales para el diseño de elementos como adoquines de concreto, especialmente aquellos destinados a soportar cargas peatonales y ligeras, a fin de que cumplan con requisitos mínimos establecidos por normas.

La resistencia a compresión del concreto se define como la máxima fuerza por unidad de área que puede soportar sin colapsar. Pero, Gonzáles & Asenjo (2024) encontraron que la adición de caucho granular reciclado disminuye la resistencia a compresión de manera proporcional al porcentaje de caucho incorporado. La teoría de la mecánica del concreto explica este fenómeno a través de la zona de interfase, que actúa como el vínculo entre los agregados y la matriz cementante. En mezclas con caucho granular, esta zona puede debilitarse debido a la baja adherencia del caucho con el cemento, lo que afecta negativamente la transmisión de esfuerzos.

La resistencia a flexión, o módulo de ruptura, mide la capacidad del concreto para resistir cargas aplicadas de manera perpendicular a su eje longitudinal. Esta propiedad es particularmente relevante para adoquines de concreto, ya que están expuestos a fuerzas de flexión durante su instalación y uso. Según Mamani & Mamani (2024), la incorporación de caucho granular reduce la resistencia a flexión, pero también mejora la resistencia al impacto y la capacidad de absorción de energía, características deseables en pavimentos peatonales.

2.2.5. Efecto del caucho granular en las propiedades del concreto fresco

La utilización de caucho granular como aditivo en concretos ha sido objeto de estudios respecto a sus propiedades en estado no endurecido. En este sentido, se ha demostrado que el caucho puede afectar la trabajabilidad, temperatura, densidad y contenido de aire del concreto.

2.2.5.1.Efecto en la trabajabilidad

En cuanto a la trabajabilidad del concreto, diversos estudios han señalado que la inclusión de caucho granular puede disminuir la plasticidad y fluidez de la mezcla, lo que a su vez puede dificultar la colocación y compactación del concreto (Saeed & Hassan, 2024), esto se debe a que las partículas de caucho tienden a absorber una parte del agua de la mezcla, lo que provoca la disminución de la lubricación de la matriz de cemento y agregados.

No obstante, reemplazar los agregados finos en el concreto con más caucho triturado podría funcionar mejor, ya que Mayta (2014) muestra que el caucho es un buen agregado para las mezclas, debido a la pérdida de resistencia mecánica, pero sin laminación adicional, además son lo suficientemente buenos como para aumentar el contenido de concreto hasta en 10%.

2.2.5.2.Efecto en la temperatura

En relación a la temperatura de la mezcla, según Trujillo & Cabrera (2024) la adición de caucho granular puede reducir la temperatura de la mezcla durante el proceso de fraguado, debido a la capacidad de este material para absorber y disipar el calor de hidratación.

No obstante, según Gonzáles & Asenjo (2024) el uso del caucho granular aumenta la temperatura de la mezcla, debido a la interacción con los agregados de la matriz cementante. Diferencia debido a las características de los materiales.

También, según Castro (2019), el contenido de caucho vítreo (10% a 30%) y cal sodada en las estructuras compuestas no tienen mucho efecto sobre el rango de temperatura que varía de 21 a 27°C, siendo similar a la temperatura ambiente.

Así mismo, Mushunje et al. (2018) descubrieron que la adición de 10% de caucho fino aumentaba el rendimiento del aislamiento térmico en 23%. Estos estudios muestran que el concreto elástico con gránulos de caucho tiene una conductividad térmica menor en comparación con el hormigón convencional.

2.2.5.3.Efecto en la densidad del concreto

En lo que respecta a la densidad del concreto, estudios han encontrado que la incorporación de caucho granular puede resultar en una disminución de la densidad del concreto fresco, debido a la baja densidad de este material en comparación con los agregados convencionales (Trujillo & Cabrera, 2024).

Tung (2011) utilizó de 5% hasta 50% de contenido de caucho y determinó la densidad de los bloques de concreto, al finalizar concluyó que las partículas de caucho reciclado son importantes para mejorar los parámetros del concreto, debido a que, logran mezclas menos densas y más livianas.

2.2.5.4.Efecto en el contenido de aire

Se ha observado que la adición de caucho granular puede incrementar la cantidad de aire atrapado, debido a los espacios vacíos entre las partículas de caucho (González & Asenjo, 2024).

Agregar caucho al concreto aumenta el contenido de aire, lo que aumenta la resistencia a tracción a medida que las partículas de caucho actúan como poros en la mezcla, pero no aumenta la resistencia mecánica del concreto como los áridos finos pues el caucho es más elástico (Albano et al., 2008).

2.2.6. Efecto del caucho granular en las propiedades del concreto endurecido

La incorporación de caucho granular en el concreto ha sido objeto de interés debido a sus potenciales beneficios en términos de sostenibilidad y propiedades mecánicas mejoradas.

2.2.6.1.Efecto en la resistencia a compresión

Según Bastiani et al. (2024), se ha encontrado que la incorporación de caucho granular impacta la resistencia a compresión del concreto endurecido, a medida que aumentaba la proporción de caucho granular en la mezcla de concreto, se producía una reducción de la resistencia. Esto se atribuye a la naturaleza menos rígida y más flexible del caucho en cotejo con los agregados convencionales, lo que puede resultar en una menor capacidad de carga del concreto.

2.2.6.2.Efecto en la resistencia a flexión

Según Helal et al. (2024), la adición de caucho granular puede influir en la resistencia a flexión del concreto endurecido, la presencia de caucho granular puede mejorar la capacidad de deformación del material y, por lo tanto, aumentar su resistencia a flexión, esto se debe a la capacidad del caucho para absorber energía de deformación.

Pero, según Farfán & Leonardo (2018) las mezclas con contenidos de caucho redujeron la resistencia a la flexión, pero la mezcla con 10% de caucho logró mejores propiedades, lo cual fue un 2% menos que la muestra control.

2.2.6.3.Efecto en el peso

El caucho es compatible con el concreto porque reduce su peso, el uso de este material en obras reduce el peso de las construcciones; así mismo su uso es económico y son productos amigables con el medio ambiente, por ende, Silvestre et al. (2019) destaca que el concreto con caucho tiene buenas propiedades.

2.2.7. Beneficios, ventajas y/o desventajas del uso de adoquines con caucho granular

Los adoquines con caucho granular son una alternativa innovadora y sostenible para pavimentos de uso peatonal, ya que ofrecen una serie de beneficios en comparación con los materiales tradicionales. Entre las ventajas más destacadas se encuentran la reducción del impacto ambiental al reutilizar materiales reciclados, y la mejora en la absorción del impacto.

Según Ladino & Rubiano (2017) los adoquines con caucho tienen mayor absorción del impacto, lo que los hace ideales para áreas peatonales, contribuye a mejorar la calidad ambiental y la experiencia del usuario al caminar sobre superficies más cómodas. Además de que, presentan mayor resistencia a la degradación por agentes externos como la humedad y la radiación ultravioleta, siendo mayor la vida útil del pavimento y menor su mantenimiento. Pero, también, tiene desventajas como la falta de normativas y estándares para su uso (Tabla 1).

Tabla 1

Ventajas y Desventajas del Uso de Adoquines con Caucho Granular para Pavimentos de Uso Peonatal

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">▪ Adecuada para uso peatonal con proporciones controladas (<10% de caucho)▪ Mayor resistencia al agrietamiento por fatiga.▪ Previene la formación de marcas en la superficie de la carretera ante altas temperaturas.▪ Mayor vida útil del concreto.▪ Reducción de costes de mantenimiento.▪ Ayudar a proteger el medio ambiente.▪ Reduce el ruido generado cuando los vehículos entran en contacto con la carretera.▪ Tienen peso unitario disminuido, lo que facilita la instalación manual.	<ul style="list-style-type: none">▪ Se reduce significativamente la resistencia con altos porcentajes de caucho.▪ Reduce la adherencia de calzadas o mezclas inertes.▪ Limitada por la disponibilidad local de caucho.▪ Dependiente de proporciones controladas y ajustes en la mezcla.▪ Requiere aditivos para compensar la falta de cohesión natural.▪ Falta de normativas

Nota: Adaptado de (Ladino & Rubiano, 2017).

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Caucho granular reciclado

El caucho es el material elástico y resistente obtenido del látex natural o mediante procesos sintéticos, utilizado en diversas aplicaciones debido a su flexibilidad, impermeabilidad y resistencia a la abrasión (de Bastiani et al., 2024).

El caucho granular son fragmentos pequeños y uniformes de caucho, generalmente en forma de partículas, obtenidos mediante procesos de molienda, utilizado como material de relleno o agregado (Sales et al., 2024).

Figura 2.

Composición de las Llantas



Nota: (Carranza, 2021).

El caucho granular reciclado es un material innovador debido a sus propiedades únicas y sostenibles. Este material se produce a partir de neumáticos de desecho que son triturados en partículas de diversos tamaños, lo que permite su reutilización en una amplia gama de aplicaciones. Es uno de los productos elaborados a partir de neumáticos reciclados. El reciclaje implica recolectar neumáticos usados de sitios abandonados, cementerios de neumáticos, fábricas y minas de cemento, calles, callejones, áreas urbanas y otros lugares donde se vierten los desechos (Yachas, 2023).

Es un material duradero y reutilizable que puede soportar cargas elevadas a corto plazo y funcionar en condiciones de tensión térmica o a largo plazo. También es una adición importante a los pavimentos de hormigón utilizados en la construcción de carreteras secundarias, ya que es un material de alto índice de flexión que reduce la rigidez de los materiales tradicionales (hormigón y arcilla) durante la instalación (Ladino & Rubiano, 2017).

Según Embaye (2024), el caucho granular reciclado es una alternativa viable y rentable a los materiales convencionales en pavimentación y proyectos de infraestructura vial. Este material no solo reduce los desechos de neumáticos, sino que también posee propiedades como la capacidad de absorber impactos, lo que lo hace ideal para su uso en carreteras y pistas deportivas.

Otra ventaja importante del caucho granular reciclado es su resistencia a la intemperie, lo que lo hace ideal para su uso en entornos exteriores. Según Mamani & Mamani (2024), este material ha demostrado una vida útil prolongada en comparación con materiales convencionales, siendo atractivo para proyectos de larga duración que requieren materiales de alto rendimiento y bajo mantenimiento.

Además, la contribución ambiental del caucho granular reciclado es significativa, ya que reduce la extracción de recursos naturales y la emisión de gases de efecto invernadero asociados con la producción de materiales convencionales. Según Mamani & Mamani (2024), el uso de este material en proyectos de construcción y rehabilitación contribuye a la economía circular y al desarrollo sostenible.

2.3.1.1. Composición química de los neumáticos y el caucho granular

Según Beltrán (2020) los compuestos de los neumáticos dependerán de su uso, de su resistencia a la carga y resistencia a alta presión, etc. (Tabla 2).

Tabla 2

Composición y Características Generales de los Neumáticos de Automóviles

Elemento/ Compuesto	Contenido
Peso (kg)	6.8
Volumen (m3)	0.06
Caucho natural (%)	14
Caucho sintético (%)	27
Rellenos reforzantes (%)	28
Acero (%)	14
Antioxidantes y relleno (%)	17

Nota: (Beltrán, 2020).

El caucho granular está compuesto de caucho natural, polímeros de estireno-butadieno (SBR) y/o mezclas de estos dos materiales. Además, puede contener aditivos como antioxidantes, acelerantes de vulcanización, agentes de reticulación, rellenos minerales, plastificantes, entre otros, dependiendo de las propiedades deseadas para su aplicación específica, además pueden incluirse pigmentos para dar color al caucho granulado.

Figura 3

Neumático Triturado donde se Observan los Componentes



Nota: Componentes caucho, fibra textil y metálica (Flores, 2013).

2.3.1.2. Características del caucho granular reciclado

El caucho es plástico gris oscuro sólido o semisólido que se dobla con la temperatura y se controla mezclándolo con otras sustancias. Está fabricado en plástico viscoelástico, lo que significa que puede soportar cualquier temperatura y absorber fuerzas externas, pero una vez deformado, no volverá a su forma original. Algunas de sus características son: (González & Asenjo, 2024)

- Es resistente a la intemperie, lo que lo hace ideal para su uso en exteriores.
- Tiene propiedades antideslizantes, por lo que es un material seguro para áreas donde se requiere tracción, como áreas de juego infantiles o pistas deportivas.
- Es flexible y elástico, lo que le permite absorber impactos y reducir la posibilidad de lesiones en caso de caídas.
- Es material versátil para diversas aplicaciones, como pavimentación.
- Tiene una larga vida útil y requiere poco mantenimiento.
- Es sostenible.

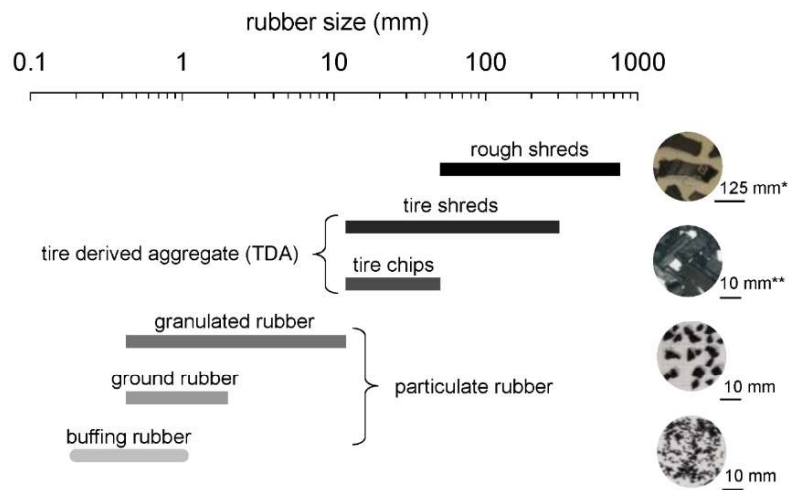
2.3.1.3. Procedimiento para obtener caucho granular reciclado de NFU

Primero, se recogen los neumáticos fuera de uso de diferentes fuentes, como talleres mecánicos o centros de reciclaje. Luego, se llevan a un centro de reciclaje donde se procede a triturar los neumáticos en máquinas específicas para obtener caucho granular. Este proceso consiste en cortar los neumáticos en trozos pequeños y separar el caucho de otros materiales como metal o fibra sintética. Una vez obtenido el caucho granular, este se puede utilizar en la fabricación de nuevos productos como suelas de zapatos, pavimentos deportivos o incluso en la construcción de carreteras. Este procedimiento contribuye a la reducción de residuos y al cuidado del medio ambiente (Carranza, 2021). Existen dos procedimientos para la obtención de caucho granular:

- a) Trituración mecánica: En este proceso, el caucho pasa por varias etapas sucesivas de compresión para producir volúmenes pequeños y partículas muy finas; luego se desmonta y se clasifica para su uso posterior (Carranza, 2021).
- ✓ Trituración primaria: Cuando los neumáticos llegan a la planta de reciclaje, se colocan en una trituradora grande.
 - ✓ Trituración secundaria: El segundo paso elimina los residuos del primer proceso de impresión, reduciéndolos a partículas de caucho de menos de 25 mm y separando el acero y el exceso de tela.
 - ✓ Granulación y molienda: Las materias de caucho reciclado que no se separan ni se venden se envían a uno o más granuladores para reducir el tamaño de partícula a menos de 10 mm y luego producir caucho inferior a 0.8 mm.
- b) Trituración criogénica: La ventaja de este proceso es que produce finas partículas de caucho. El problema es que las partículas de acero se mezclan con partículas de caucho. Los costos de instalación, inversión, mantenimiento y equipamiento son elevados y no económicos.

Figura 4

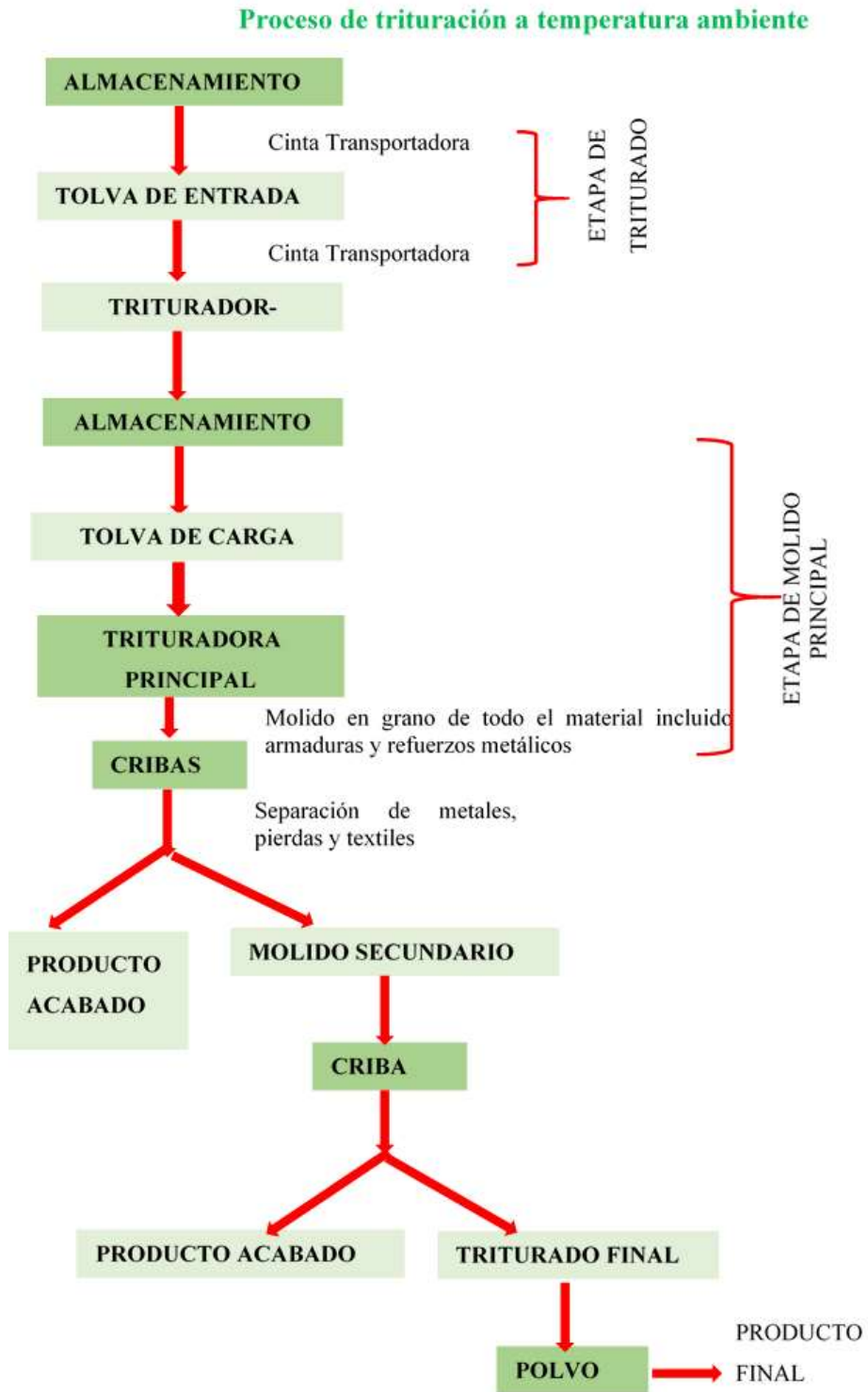
Tamaños de Neumáticos Granulados según la Norma ASTM D6270-17



Nota: (Tasalloti et al., 2021).

Figura 5

Proceso de Trituración Mecánica



Nota: Tomado y Adaptado “Alternativas de reciclaje de neumáticos en desuso” (Zarini, 2010).

2.3.2. Concreto

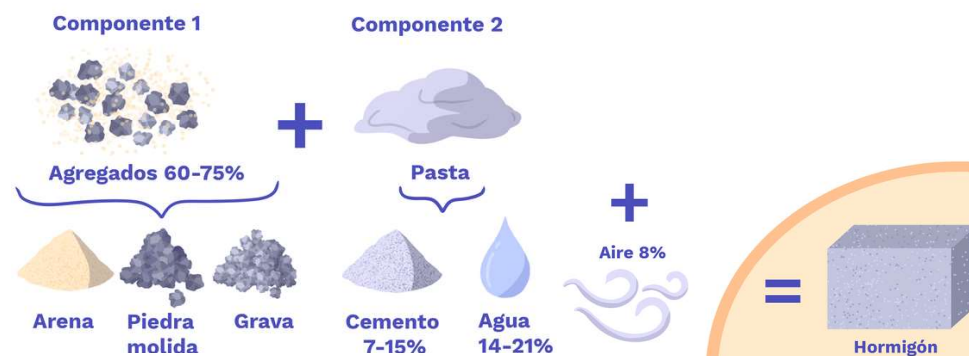
El concreto es una mezcla de dos componentes: agregado y pasta; los agregados habituales son arena y grava (grava, piedra chancada y guijarros), y el mortero o pasta está hecho de cemento Portland y agua; creando un material de calidad similar a la piedra debido a la reacción química de la pasta, lo que hace que el mortero se endurezca (Kosmatka et al., 2015).

2.3.2.1. Componentes

El concreto se compone de agua, cemento, árido fino, árido grueso, materiales cementosos y aire atrapado. El mortero constituye aproximadamente del 25 al 40% del volumen total y el contenido de aire varía del 4 al 8%, así mismo, los agregados representan el 60%-75% del volumen total (Kosmatka et al., 2015).

Figura 6

Composición del Concreto



Nota: (climatescience, 2022).

Agregado fino: También conocido como arena, se utiliza para llenar los vacíos entre las partículas de agregado grueso y cemento.

Agregado grueso: Comúnmente conocido como grava o piedra triturada, es utilizado para proporcionar resistencia mecánica al concreto. Ayuda a reducir la contracción y el agrietamiento del concreto.

Cemento: Es el ingrediente clave del concreto, ya que actúa como aglutinante para formar una mezcla homogénea, responsable de proporcionar resistencia.

Agua: Es necesaria para la reacción química que ocurre entre el cemento y otros componentes. El agua usado en la mezcla afecta la trabajabilidad y la resistencia.

Aditivos: Son sustancias químicas adicionales que se pueden añadir al concreto para mejorar ciertas propiedades. Los aditivos pueden ser aceleradores, retardadores, fluidificantes, impermeabilizantes, entre otros. Son opcionales y se utilizan según las necesidades específicas del proyecto de construcción.

2.3.2.2. Propiedades del concreto

Son las particularidades que posee el concreto como material de construcción. Estas propiedades determinan la calidad del concreto en una obra.

a) Propiedades en estado fresco

Se refieren a las características del concreto cuando se encuentra recién mezclado y antes de que se haya endurecido completamente. Estas propiedades incluyen la trabajabilidad, consistencia, segregación, entre otros.

Trabajabilidad. Determina qué tan difícil será mezclar, transportar, colocar y compactar el concreto (Paucar, 2023). Capacidad de un material para ser trabajado o manipulado de manera adecuada, permitiendo que se pueda moldear, colocar, compactar o aplicar de manera fácil y eficiente.

Tiempo de fragua. Tiempo que tarda un material, como por ejemplo un mortero o una mezcla de cemento, en endurecerse completamente después de ser aplicado, incluye el tiempo que tarda el concreto en endurecerse (Paucar, 2023).

Contenido de aire. Cantidad de aire que está presente en un material, como por ejemplo en una mezcla de concreto. Corresponde a la dispersión del aire en el concreto en forma de pequeñas burbujas (Paucar, 2023).

Temperatura. Medida de la energía cinética media de las moléculas de un material, que determina su estado físico y propiedades.

Densidad o peso unitario. Masa por volumen de un material. La densidad o peso unitario puede afectar la resistencia y comportamiento mecánico de un material en diversas aplicaciones.

b) Propiedades en estado endurecido

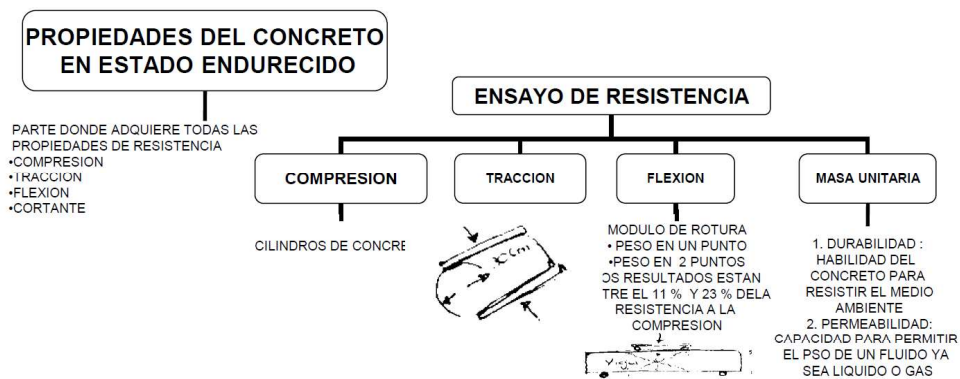
Son las particularidades del concreto una vez que ha pasado por el proceso de fraguado y endurecimiento. Estas propiedades son fundamentales para determinar la calidad y la vida útil del concreto en una estructura.

Resistencia a compresión. Capacidad del material para soportar fuerzas de compresión antes de que se produzca su fractura o colapso. Esta propiedad se mide a través de pruebas de compresión en muestras cilíndricas de concreto y se expresa en MPa (Paucar, 2023).

Resistencia a flexión. Capacidad del material para soportar fuerzas de flexión antes de que se produzca su fractura o colapso. Esta propiedad se puede medir a través de pruebas de flexión en vigas de concreto y se expresa en unidades de presión. Suele ser significativamente menor que la compresión (Paucar, 2023).

Figura 7

Propiedades del Concreto Endurecido



Nota (Salazar, 2023).

2.3.3. *Agregados para concreto*

Los agregados para concreto pueden ser de origen natural (arena y grava) o artificial (como la escoria) y de gradación fina o gruesa, son materiales granulares que se utilizan para la fabricación de concreto, ocupan del 60% al 75% del volumen de la mezcla, y son importantes porque afectan en gran medida las propiedades de fraguado del concreto (Kosmatka et al., 2015).

2.3.3.1. **Tipos de agregados según tamaño**

Agregado fino. El agregado fino es aquel que pasa por el tamiz de 4.75 mm y queda retenido en el tamiz de 0.075 mm, los áridos finos son arena natural o piedra triturada (quebrada, triturada, adoquinada, triturada) incluye materiales como la arena y polvo de piedra, y la mayoría de las partículas tienen dimensión menor a 5 mm (Kosmatka et al., 2015).

Agregado grueso. Aquel que queda retenido en el tamiz de 4.75 mm. Los agregados gruesos consisten en grava simple o piedra triturada o una combinación de estos con partículas predominantemente mayores a 5 mm, incluye materiales como la grava y piedra triturada (Huamani, 2023).

2.3.3.2. **Propiedades de los agregados**

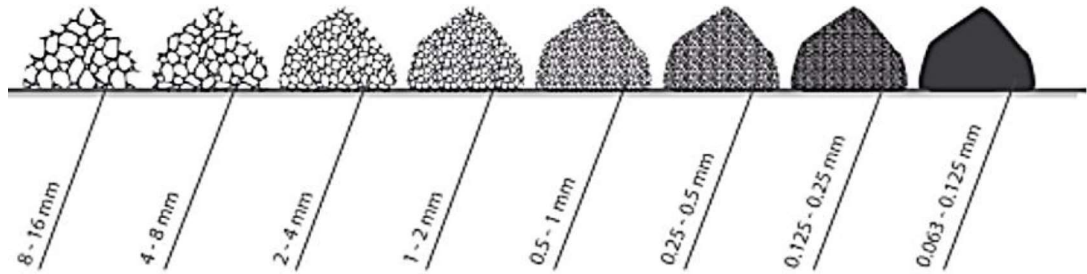
Contenido de humedad. Los agregados contienen agua interna medible, que es la humedad absorbida y retenida en la superficie de cada partícula y entre partículas (Kosmatka et al., 2015).

$$\% \text{ de humedad} = \frac{\text{Peso de la muestra} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \times 100 \quad (4)$$

Granulometría. Kosmatka et al. (2015) argumenta que es la distribución del tamaño de partículas del agregado determinada mediante análisis de tamizado, para áridos finos tienen aberturas de 150 μm a 9.5 mm, y para árido grueso se tamiza utilizando 13 tamices estándar que van desde 75 micras hasta 9.5 mm.

Figura 8

Diferentes Tamaños de Partículas de Material por Gradación



Nota: (Putzmeister, 2021).

Módulo de finura (MF). Kosmotka et al. (2015) argumenta que, es el valor numérico que indica la distribución del tamaño de las partículas de un agregado, calculado a partir de los resultados de una serie de tamizados.

$$MF_f = \frac{\sum \% \text{ret. acum. tamices (11/2", 3/4", 3/8", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100)}}{100} \quad (5)$$

$$MF_g = \frac{\sum \% \text{ret. acum. tamices (1, 3/4", 1/2", 3/8", N° 4) + 500}}{100} \quad (6)$$

Donde, MF_f módulo de finura del árido fino, MF_g del agregado grueso.

Tamaño máximo nominal en agregado grueso. El tamaño de malla nominalmente más grande que contiene entre el 5% y el 15% de la masa (Kosmatka et al., 2015).

Cantidad que pasa tamiz N° 200. Material demasiado fino que atraviesa la malla de 0.075 micrones (Paucar, 2023).

Peso específico. Se define como el peso por unidad de volumen de sólidos o partículas, excluyendo el aire entre partículas (Kosmatka et al., 2015).

Para agregado fino:

$$P_{em} = \frac{W_o}{V - V_a} \times 100 \quad (7)$$

$$P_{eSSS} = \frac{500}{V - V_a} \times 100 \quad (8)$$

$$P_{ea} = \frac{W_o}{(V - V_a) - (500 - W_o)} \times 100 \quad (9)$$

$$Ab = \frac{500 - W_o}{W_o} \times 100 \quad (10)$$

Donde, Pem peso específico de masa, PeSSS saturado superficialmente seco, Pea aparente, Ab absorción, Wo peso en el aire secado en el horno; V Volumen del frasco, Va peso o volumen de agua añadida al frasco.

Para agregado grueso:

$$Pem = \frac{A}{(B-C)} \times 100 \quad (11)$$

$$Pea = \frac{A}{(A-C)} \times 100 \quad (12)$$

$$PeSSS = \frac{B}{(B-C)} \times 100 \quad (13)$$

$$Ab(\%) = \frac{(B-A)}{A} \times 100 \quad (14)$$

Dónde, Pem peso específico de masa, Pea, aparente, PeSSS saturado, Ab absorción, A Peso de la muestra seca en el aire, B Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire, C Peso en el agua de la muestra saturada.

Absorción. Capacidad del agregado para retener agua en sus poros (Delgado & Legarda, 2011).

Peso unitario. El peso unitario suelto es la relación entre el peso del agregado en estado suelto o compactado y el volumen que ocupa, incluyendo vacíos (Loor & Menoscal, 2013).

$$PUS = \frac{\text{Peso suelto del agregado}}{\text{Volumen unitario}} \quad (15)$$

$$PUC = \frac{\text{Peso compactado del agregado}}{\text{Volumen unitario}} \quad (16)$$

Abrasión del agregado grueso. Está estrechamente conexas con la compresibilidad, la resistencia se puede lograr aplicando fuerza a la superficie utilizando bolas o ruedas de acero alternados (Solís & Chan, 2020).

$$\% \text{ desgaste} = \frac{\text{Peso original} - \text{Peso final}}{\text{Peso original}} \times 100 \quad (17)$$

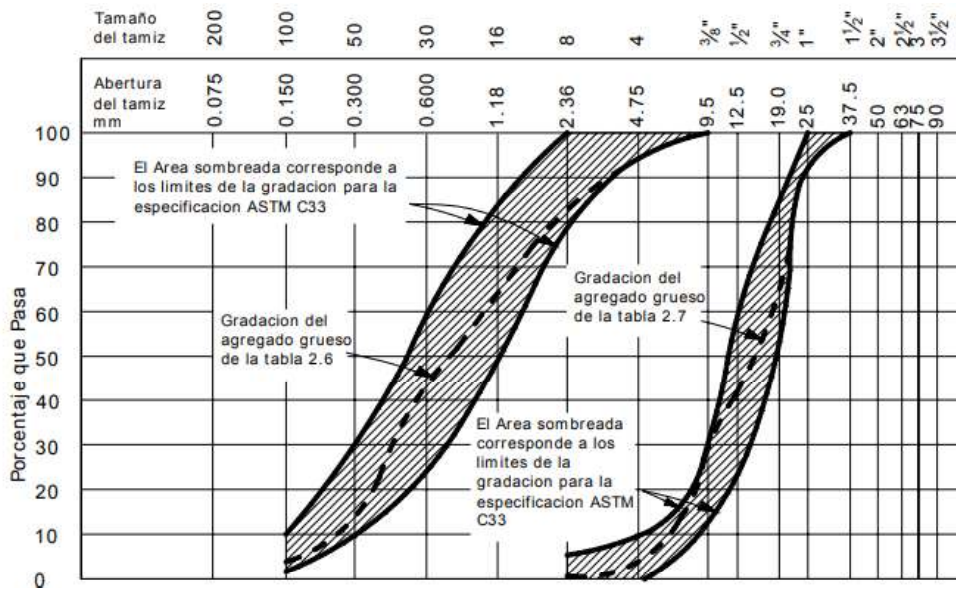
2.3.3.3. Requisitos técnicos de acuerdo con la NTP 400.037 (2021)

Según la NTP 400.037 (2021), los agregados para concreto deben cumplir con los siguientes requisitos técnicos:

Huso granulométrico. De acuerdo a la norma NTP 400.037 (2021) el agregado fino debe cumplir con un rango mínimo y máximo de porcentaje de material que pasa los tamices definidos para el análisis granulométrico, al cual se le denomina huso granulométrico y se encuentra delimitado en la Tabla 1 “Granulometría del agregado fino” de la norma especificada (NTP 400.037), mientras que, el agregado grueso tiene quince (15) posibilidades de gradación o husos granulométricos, entre los que destacan el huso #57 y # 467 y los porcentajes de material que pasa cada tamiz en el rango mínimo y máximo se encuentran definidos en la Tabla 4 “Requisitos granulométricos del agregado grueso” de la NTP 400.037.

Figura 9.

Gráfica de Gradaciones del Agregado



Nota: Gradación de la arena a la izquierda y la del agregado grueso a la derecha (Quiroz & Salamanca, 2006, pág. 41).

Módulo de finura (MF). De acuerdo a la norma NTP 400.037 (2021) el agregado fino debe presentar MF de 2.30 a 3.10. Sin embargo, también se especifica que, si el agregado no cumple con la gradación especificada igual puede ser utilizado en la producción de concreto, si se demuestra previamente que no altera la capacidad mecánica de este.

Cantidad que pasa tamiz N° 200. De acuerdo a la norma NTP 400.037 (2021) el agregado fino no debe superar el 3% de material más fino que la malla N° 200 para concreto sujeto a abrasión, y a 5% para otros concreto; mientras que, para agregado grueso no debe superar el 1%.

Forma y textura de las partículas: Las partículas de los agregados deben tener forma y textura que permita una buena adherencia con la pasta de cemento.

Limpieza: Los agregados deben estar libres de materiales extraños, como tierra, arcilla, polvo u otras impurezas que puedan afectar la calidad del concreto. Los terrones de arcilla o partículas friables no deben superar el 5% en agregado grueso y el 3% en agregado fino.

Contenido de sustancias orgánicas: Los agregados no deben contener cantidades excesivas de sustancias orgánicas, ya que éstas pueden afectar la resistencia del concreto y causar problemas de durabilidad. Los agregados que no cumplan con este criterio y presenten impurezas orgánicas de acuerdo a la NTP 400.037 (2021) solo podrán ser utilizados si se demuestra que la resistencia relativa a los 7 días, no es menor al 95%.

Resistencia al desgaste: Los agregados deben tener resistencia al desgaste suficiente para soportar las fuerzas a las que serán sometidos. Para el agregado grueso el porcentaje de desgaste a abrasión no debe ser mayor al 50% y el valor de impacto del agregado (VIA) no debe ser mayor al 30%.

2.3.4. Adoquines de concreto

Son piezas prefabricadas de forma rectangular o cuadrada que se utilizan para pavimentar áreas exteriores como calles, aceras, plazas, patios, entre otros. Están hechos de concreto de alta resistencia y/o pigmentos para darles color y suelen tener una textura antideslizante en la superficie para mayor seguridad. Los adoquines de concreto son una opción popular para pavimentar áreas peatonales y de tráfico ligero debido a su durabilidad, resistencia a las inclemencias del tiempo, bajo costo y fácil mantenimiento (Huamani, 2023).

2.3.4.1. Tipos de adoquines según uso

En la NTP 399.611 (2017) se detalla la clasificación de los adoquines según uso, siendo:

Tabla 3

Tipos de Adoquines

Tipo	I	II	III
Uso	Peatonal	Tránsito vehicular ligero	Tránsito vehicular pesado

Nota: NTP 399.611 (2017).

2.3.4.2. Componentes para su producción

Los componentes para la producción de adoquines incluyen: (Martínez & Poveda, 2015)

Agregados: Grava, la arena y/o la piedra triturada que se mezclan con cemento y agua para producir concreto. Se debe usar agregados de calidad para garantizar la resistencia de los adoquines.

Cemento: Polvo fino que se mezcla con agua para formar una pasta que se combina con los agregados para crear concreto.

Agua: Es necesaria para activar la reacción química que permite que el concreto se endurezca y se convierta en un material resistente.

Aditivos: Productos químicos que se agregan a la mezcla para mejorar ciertas propiedades del concreto. Algunos ejemplos comunes de aditivos incluyen plastificantes, retardantes y acelerantes de fraguado.

Moldes: Los moldes son de metal o plástico en las que se vierte la mezcla de concreto para dar forma a los adoquines. Los moldes pueden tener diferentes tamaños y diseños para producir una variedad de formas y patrones de adoquines.

Adhesivos: Dependiendo de las condiciones físicas, es posible que se requiera adhesivo para sellar la pieza.

Equipos de mezcla y vibrado: Se utilizan equipos de mezcla, como mezcladoras de concreto, para combinar los componentes de manera homogénea. También se utilizan equipos de vibrado para compactar la mezcla y eliminar las burbujas de aire.

2.3.4.3. Requisitos técnicos según la NTP 399.611 (2017)

Los adoquines deben cumplir con los siguientes requisitos técnicos de acuerdo con la NTP 399.611 (2017):

- Resistencia a compresión: Los adoquines deben tener mínimo de 28-35 MPa.
- Resistencia a abrasión: No mayor a 2000 g/m² después de 6000 ciclos.
- Absorción de agua: No debe superar el 6% en peso.
- Contenido de aire: No debe ser mayor al 4%.
- Resistencia al deslizamiento: Deben tener una resistencia al deslizamiento que permita un buen agarre tanto para vehículos como para peatones.
- Dimensiones y tolerancias: Los adoquines deben cumplir con las dimensiones especificadas en la norma y las tolerancias permitidas.
- Resistencia a las heladas: Los adoquines deben ser capaces de resistir las variaciones de temperatura y las heladas sin sufrir daños.

- Durabilidad: Deben ser duraderos y resistir el paso del tiempo sin deteriorarse.
- Color y apariencia: Los adoquines deben tener un color uniforme y una apariencia estética que se mantenga a lo largo del tiempo.

Según esta norma los adoquines deben cumplir con ciertos requisitos mecánicos (Tabla 4), dimensionales (Tabla 5) y de absorción (Tabla 6) dependiendo cual sea su clasificación.

Tabla 4

Requisitos Mecánicos de los Adoquines

Tipo	Espesor nominal (mm)	Resistencia a la compresión, mín. Mpa (kg/cm ²)	
		Media para 3 adoquines	1 adoquín
I (Peatonal)	40	31 (320)	28 (290)
	60	31 (320)	28 (290)
II (Vehicular ligero)	60	41 (420)	37 (380)
	80	37 (380)	33 (340)
	100	35 (360)	32 (325)
III (Vehicular pesado)	≥80	55 (561)	50 (510)

Nota: NTP 399.611 (2017).

Tabla 5

Requisitos Dimensionales

Tolerancia dimensional, Máx (mm)		
Longitud	Ancho	Espesor
± 1.6	± 1.6	± 3.2

Nota: Los requisitos dimensionales son aplicables para los tres tipos NTP 399.611 (2017).

Tabla 6

Requisitos de Absorción de los Adoquines

Tipos de adoquín	Absorción, máx. (%)	
	Media de 3 adoquines	1 adoquín
I Y II	6.00	7.50
III	5.00	7.00

Nota: NTP 399.611 (2017).

2.3.5. Adoquines tipo I para uso peatonal

Los adoquines tipo I son elementos prefabricados de concreto empleados en pavimentos para espacios peatonales. Estos adoquines se caracterizan por su forma rectangular y su tamaño estándar, generalmente de 10x20 centímetros (IECA, 2014). Estos adoquines son ideales para áreas peatonales debido a su resistencia y durabilidad, lo que los hace capaces de soportar el tráfico constante de personas. Además, su superficie rugosa proporciona un buen agarre y evita resbalones, lo que los hace seguros para caminar. Los adoquines tipo I se instalan sobre una capa de arena compactada, sin necesidad de utilizar mortero, lo que facilita su colocación y permite la permeabilidad del suelo, evitando la acumulación de agua en la superficie.

Estos adoquines pueden encontrarse en una variedad de colores y acabados, lo que les otorga una estética atractiva que se adapta a cualquier entorno urbano. Además, su mantenimiento es sencillo, ya que pueden reemplazarse individualmente en caso de daños (IECA, 2014).

Figura 10

Adoquines de Concreto para Pisos



Nota: (Norblock Prefabricados, 2019).

2.3.5.1. Tipos de adoquines peatonales

Hay dos tipos de adoquines en función de su forma y en particular del posible entrelazamiento entre las piezas: (IECA, 2014)

Los adoquines clásicos que no tienen ningún tipo de conexión entre las piezas.

Los adoquines machihembrados en planta. Debido a su forma, tienen una cierta complejidad de diseño. Se puede dividir además en revestimientos machihembrados unidireccionales y multidireccionales.

Figura 11

Tipos de Adoquines

Adoquines clásicos



Adoquines machihembrados



Nota: (IECA, 2014).

2.3.5.2. Características geométricas

A efectos prácticos, los adoquines se consideran lo suficientemente grandes y pesados como para sostenerlos con una mano. La proporción sugerida en longitud y ancho es la siguiente: (IECA, 2014)

$$\frac{\textit{Longitud}}{\textit{Anchura}} = 1.5 \textit{ a } 2.5 \textit{ con anchura entre } 8 \textit{ y } 12 \textit{ cm} \quad (18)$$

Su espesor depende de las condiciones del tráfico, normalmente de 6 a 12 cm. Los bordes de los bloques se pueden alisar para darle a las uniones una apariencia más consistente, y dependiendo de estas dimensiones, los adoquines suelen pesar entre 3 y 7 kg cada uno (IECA, 2014).

2.3.5.3. Características físicas y mecánicas

Los adoquines tipo I son un tipo de adoquines utilizados en pavimentos de uso peatonal que cuentan con las siguientes características físicas y mecánicas:

- Tienen forma de prisma rectangular con 6 a 8 cm de alto, una longitud de 20 a 25 cm y un ancho de 8 a 10 cm.
- Están fabricados con concreto de alta resistencia, lo que les permite soportar el tránsito peatonal continuo sin deteriorarse fácilmente.
- Su superficie puede ser lisa, rugosa o con algún relieve para mejorar la adherencia y evitar resbalones.
- Tienen resistencia a compresión de al menos 250 kg/cm², lo que garantiza su resistencia a la carga de los peatones y a posibles impactos.
- Su absorción de agua es inferior al 6%.
- Son fáciles de colocar y conservar, porque se pueden reemplazar individualmente en caso de necesario sin afectar al resto de la pavimentación.

2.3.5.4. Uso

Son una excelente opción para pavimentar áreas peatonales debido a su resistencia y durabilidad. Este tipo de adoquín se utiliza comúnmente en aceras, calles peatonales, plazas, parques, jardines y zonas de recreación al aire libre.

Una de las principales ventajas de utilizar adoquines de concreto tipo I es que son muy resistentes a la intemperie, al tráfico peatonal y a la abrasión. Esto los hace ideales para áreas de alto tránsito, donde se requiere un pavimento resistente que conserve su apariencia estética a lo largo del tiempo.

Además, los adoquines tipo I de concreto para uso peatonal son muy versátiles y se pueden utilizar para crear diseños personalizados y originales en el

pavimento. Su variedad de formas, tamaños y colores permite crear patrones decorativos, logrando un acabado estético y funcional.

Otro uso común, es en proyectos de paisajismo, donde se utilizan para delimitar áreas, crear senderos peatonales y zonas de descanso. Su instalación es sencilla y su mantenimiento es mínimo.

Los usos deseados de los pavimentos de concreto con adoquines tipo I se pueden dividir en dos áreas. (IECA, 2014):

- a) **Áreas urbanas con bajo tráfico:** En calles y plazas peatonales, el efecto estético de este tipo de revestimiento es el principal argumento que define su uso.
- b) **Zonas con tráfico pesado, a velocidad reducida:** En este caso, las zonas portuarias o terminales marítimas presentan menos deformaciones y mayor resistencia a productos químicos que los pavimentos asfálticos. Como se mencionó anteriormente, también tiene la ventaja de tener bajos costos de mantenimiento y reparación. Otras alternativas menos transitadas como zonas de carga industrial, gasolineras, peajes, etc., también se incluyen.

2.3.5.5.Requisitos técnico

Según la NTP 399.611 (2017) para que los adoquines sean considerados aptos para su uso, deben cumplir los requisitos:

- a) **Esfuerzo de rotura,** el valor medio medido no será inferior a 3.6 MPa y los resultados individuales no serán inferiores a 2.8 MPa.
- b) **Absorción de agua:** No debe ser mayor al 6% en promedio.
- c) **Resistencia al desgaste por abrasión:** No debe superar los 25 mm.
- d) **Variación dimensional.** La tolerancia dimensional máxima será de 1.6 mm en largo y ancho, y 3.2 mm en espesor.

2.3.6. Pavimentos de uso peatonal

Los pavimentos de uso peatonal son aquellos espacios especialmente diseñados para el tránsito y la circulación de las personas a pie. Estos pavimentos suelen estar presentes en aceras, senderos, parques, plazas y cualquier otro lugar destinado al peatón (Byond, 2013).

Los pavimentos de uso peatonal deben cumplir con una serie de requisitos para garantizar la comodidad de los peatones. Entre estos requisitos se incluyen la planificación del diseño para facilitar el paso de las personas, la nivelación adecuada para prevenir tropiezos, la resistencia y durabilidad de los materiales utilizados, así como el drenaje adecuado para evitar acumulaciones de agua que puedan generar problemas de transitabilidad (Byond, 2013).

Los pavimentos de uso peatonal pueden estar hechos de una variedad de materiales, tales como concreto, adoquines, ladrillos, asfalto, entre otros. Cada material con sus ventajas, por lo que la elección dependerá de factores como el contexto urbano, el presupuesto disponible y las necesidades específicas del lugar en cuestión (Byond, 2013).

2.3.6.1. Tipos de pavimentos

Los tipos de pavimentos son las superficies construidas para soportar el tránsito de personas o vehículos, y pueden ser: (Rueda, 2017)

Pavimentos flexibles, son aquellos compuestos por varias capas de materiales flexibles como asfalto, grava, arena y suelo cemento. Son utilizados en carreteras con un tráfico ligero a medio, ya que son capaces de soportar cargas dinámicas y distribuir las de forma efectiva.

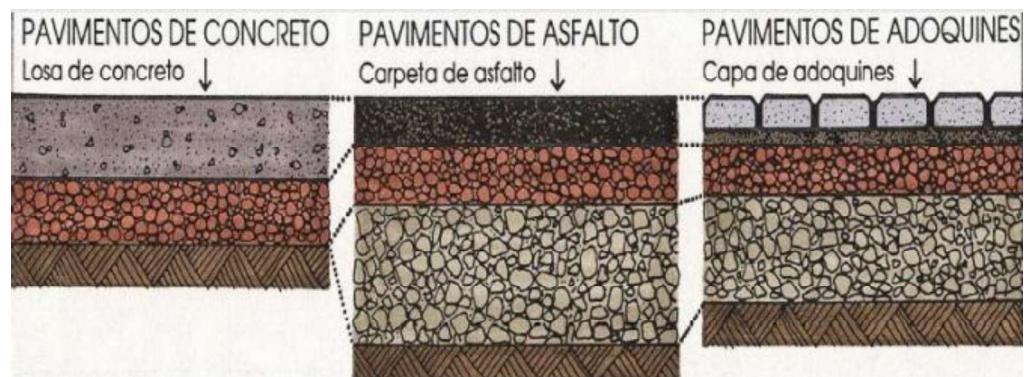
Pavimentos rígidos, están formados por una capa única de concreto o cemento que se vierte y se deja endurecer. Son más resistentes y duraderos que

los pavimentos flexibles, y se utilizan en carreteras con un tráfico pesado que requiere una mayor resistencia.

Pavimentos articulados son una combinación de pavimentos flexibles y rígidos. Estos pavimentos ofrecen resistencia y durabilidad adecuadas para soportar el tráfico pesado, pero con la capacidad de adaptarse a los cambios de temperatura y movimientos del suelo.

Figura 12

Estructura de Diferentes Tipos de Pavimentos



Nota: (Rueda, 2017).

2.3.6.2. Pavimento de adoquines de concreto

Consisten en una superficie compuesta por adoquines prefabricados de concreto que se colocan en el suelo de manera uniforme y precisa. Estos adoquines suelen tener forma cúbica, rectangular o en forma de zigzag, y pueden presentar distintos patrones de colocación para crear diseños decorativos (IECA, 2014).

Este tipo de pavimento es muy popular debido a su versatilidad, resistencia y durabilidad. Son ideales para áreas peatonales, plazas, parques, calles, aceras y otros espacios públicos, ya que soportan bien el tráfico constante y son capaces de resistir cambios de temperatura, humedad, y la acción de agentes químicos (IECA, 2014).

Los pavimentos de adoquines de concreto son fáciles de colocar y conservar, ya que permiten la sustitución individual de los adoquines en caso de daños o necesidad de reparación. Además, al ser permeables, permiten el drenaje natural del agua de lluvia, reduciendo la acumulación de charcos y evitando problemas de inundaciones (IECA, 2014).

En cuanto a su estética, los pavimentos de adoquines de concreto ofrecen una amplia gama de colores, texturas y patrones que pueden adaptarse a cualquier estilo arquitectónico y paisajístico. Están disponibles en diferentes tamaños y formas, lo que permite crear diseños personalizados y originales en los espacios donde se instalen (IECA, 2014).

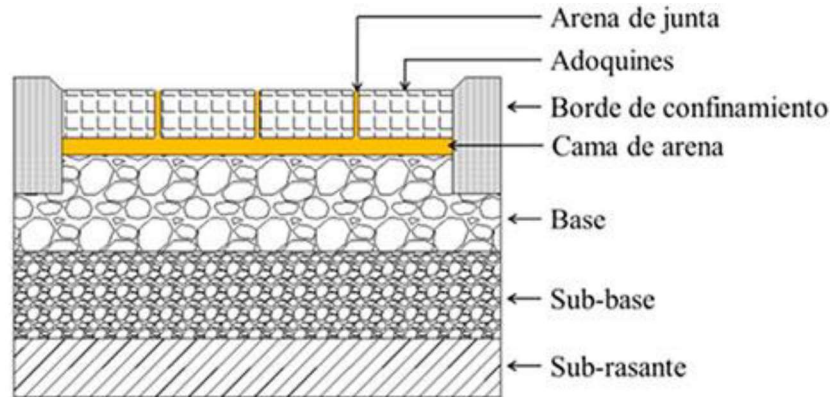
2.3.6.3. Componentes y capas del pavimento urbano

A continuación, se resume los componentes: (IECA, 2014)

- Capa de arena de lecho: Capa que actúa como soporte del adoquín, también puede realizar algunas funciones de drenaje, especialmente cuando hay una base de concreto delgada sobre la carretera.
- Arena de sellado: Se trata de una arena fina que llena el espacio entre los adoquines y ayuda a sujetar los bloques lateralmente y transferir cargas verticales entre los bloques. Proporciona una capa impermeable que reduce la infiltración de agua, tiene tamaño máximo de 1.25 mm y no más del 10% de su peso pasa por la malla de 0.08 mm.
- Borde de confinamiento: Los pavimentos requieren absolutamente restricciones laterales alrededor del perímetro para evitar el movimiento de los componentes, la expansión de las juntas y la pérdida de adherencia entre pavimentos. Su profundidad debe ser de al menos 15 cm. Este elemento debe instalarse antes de poner en funcionamiento el revestimiento.

Figura 13

Elementos Estructurales de un Pavimento de Adoquines de Concreto según la ASCE (2010)



Nota: (Bahamondes et al., 2013).

2.3.7. Viabilidad técnica y económica de un producto

La viabilidad técnica de un producto se refiere a la capacidad que tiene este para poder ser producido, implementado o utilizado de manera efectiva, considerando factores como la disponibilidad de tecnología, la infraestructura necesaria, los recursos humanos y materiales, entre otros. Por otro lado, la viabilidad económica se refiere a la posibilidad de que el producto genere los beneficios esperados en términos de costos y ganancias, considerando factores como la demanda del mercado (Clauser et al., 2014).

En el caso específico de los adoquines de concreto para pavimento, la viabilidad técnica se refiere a la capacidad de producirlos de manera eficiente, con la calidad requerida y cumpliendo con las normas y estándares de construcción. Mientras que la viabilidad económica se refiere a la posibilidad de que su producción y venta generen los ingresos suficientes para cubrir los costos de producción y obtener ganancias (Embaye, 2024).

2.4. Hipótesis

El comportamiento mecánico de adoquines tipo I varía significativamente con adición de caucho granular reciclado para pavimentos de uso peatonal, Chota, 2024.

2.5. Operacionalización de variables

2.5.1. Variable independiente: Caucho granular reciclado

El caucho granular reciclado es un material obtenido del procesamiento y trituración de neumáticos fuera de uso (NFU). Se caracteriza por su textura granulada, baja densidad y propiedades elásticas, lo que lo hace adecuado para aplicaciones en mezclas de concreto. Es considerado un material sostenible y una alternativa para reducir residuos sólidos y disminuir la explotación de recursos naturales. Este material se puede obtener de forma comercial como caucho granular, pero igual es producido por medio del reciclaje de NFU.

En esta investigación, el caucho granular reciclado es utilizado como aditivo del volumen de agregados finos (arena) y gruesos (piedra chancada) en la fabricación de adoquines tipo I de concreto. Se incorporó en cinco proporciones: 0%, 10%, 20%, 40% y 60%, respecto al volumen total de agregados en la mezcla. Su tamaño máximo nominal (TMN) es N° 4, y su dosificación fue controlada y medida para garantizar la consistencia de las mezclas.

2.5.2. Variable dependiente: Comportamiento mecánico de adoquines tipo I

El comportamiento mecánico de los adoquines tipo I se refiere a la capacidad de estos elementos constructivos para resistir esfuerzos físicos y mecánicos durante su vida útil. Incluye propiedades como la resistencia a compresión, resistencia a flexión, absorción, y la capacidad de mantener su estabilidad dimensional bajo.

Tabla 7

Matriz de Operacionalización de Variables

Variables	Definición conceptual	Dimensiones	Definición operacional	Indicadores	Ítem		
VI Caucho granular reciclado	Se refiere al material obtenido a partir de la fragmentación de neumáticos usados, el cual se ha sometido a un proceso de reciclaje para ser reutilizado en la fabricación de diferentes productos, como adoquines.	Porcentaje de adición respecto a los agregados	Cantidad de caucho granular que se añade a los agregados tradicionales en la fabricación de adoquines.	10%	%		
				20%	%		
				40%	%		
				60%	%		
		Propiedades físicas del caucho granular	Las propiedades físicas del caucho granular se refieren a las características físicas del material, como su densidad.			Granulometría	%
						Módulo de finura	%
						Peso específico	Kg/m3
						Absorción	%
						Humedad	%
						PUS	Kg/m3
PUC	Kg/m3						
VD Comportamiento mecánico de adoquines tipo I	Se refiere a las propiedades de los adoquines de acuerdo con su diseño y composición, tales como resistencia a la compresión.	Propiedades de la mezcla fresca	Las propiedades de la mezcla fresca se refieren a las características de la mezcla de caucho granular, agregados y otros materiales antes de su compactación y fraguado.	Trabajabilidad (asentamiento)	mm		
				Densidad	Kg/m3		
				Temperatura	°C		
				Contenido de aire	%		
		Propiedades geométricas de los adoquines	Las propiedades geométricas de los adoquines se refieren a su forma, tamaño, textura y diseño.			Tiempo de fraguado	Horas
						Variación dimensional	mm
						Alabeo	mm
		Propiedades físicas de los adoquines	Características físicas una vez que han sido fabricados.			Absorción	
						Peso unitario	Kg/m3
						Peso	Kg
Propiedades mecánicas de los adoquines	Capacidad para soportar cargas y resistir deformaciones bajo diferentes condiciones de carga			Resistencia a compresión	Kg/cm2		
				Resistencia a flexión	Kg/cm2		

CAPÍTULO III.

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y nivel de investigación

La investigación se ha enmarcado en un enfoque cuantitativo, lo que implica que se centró en la recopilación y estudio de datos numéricos (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018). Este enfoque se implementó a través de un proceso sistemático que incluyó ensayos de laboratorio aplicados a las materias primas, al concreto en su estado fresco y endurecido, así como a los adoquines producidos con granular. Estos procedimientos permitieron medir y evaluar objetivamente las propiedades mecánicas y físicas de los adoquines con caucho granular.

Además, se considera de tipo aplicada, porque se buscó aplicar los resultados obtenidos a partir de los ensayos a las materias primas y el diseño de mezclas por el método ACI 211.1 en la elaboración de adoquines para pavimentos de uso peatonal con adición de caucho granular en Chota. Esto implica que los hallazgos de la investigación pueden tener un impacto directo en la práctica y en la implementación de soluciones para la pavimentación de calles peatonales.

Por último, se clasifica como de nivel explicativo, ya que busca no solo describir los comportamientos mecánicos de los adoquines con caucho granular, sino también entender y explicar el porqué de dichos comportamientos. A través del estudio de posibles relaciones causales, se busca profundizar en el conocimiento sobre la influencia del caucho granular en las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido, así como su aplicabilidad en la elaboración de adoquines tipo I para su uso en pavimentos peatonales, lo a su vez contribuye al avance en el planteamiento de infraestructuras peatonales más sostenibles y eficientes.

Tabla 8*Tipo de Investigación*

Criterio	Tipo de investigación
Estrategia o enfoque metodológico	Cuantitativa
Objetivos	explicativa
Finalidad	aplicada
Contexto donde sucede	Laboratorio, campo
Fuente de datos	Primaria
Temporalidad	Transversal (sincrónica)
Control de diseño de la prueba	Experimental

Nota: (Grajales, 2000).

3.2. Diseño de investigación

En esta investigación es experimental de diseño clásico con pre test y post test porque se ha comparado el comportamiento mecánico de adoquines tipo I con y sin adición de caucho granular antes de la aplicación del tratamiento (pre test) y después de la aplicación del tratamiento (post test). La ecuación que expresa este tipo de diseño de investigación es: (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018)

$$Y = O + T + E \quad (4)$$

Donde, Y medida de la variable dependiente (comportamiento de los adoquines), O nivel inicial de la variable antes de la aplicación del tratamiento, T efecto del tratamiento (adición de caucho granular), E error experimental.

En este diseño, se realizó una medición inicial del comportamiento mecánico de los adoquines sin caucho granular (pre test), luego se aplicó el tratamiento añadiendo el caucho granular reciclado a los adoquines y finalmente se realizó una medición del comportamiento mecánico de los adoquines con el tratamiento aplicado (post test).

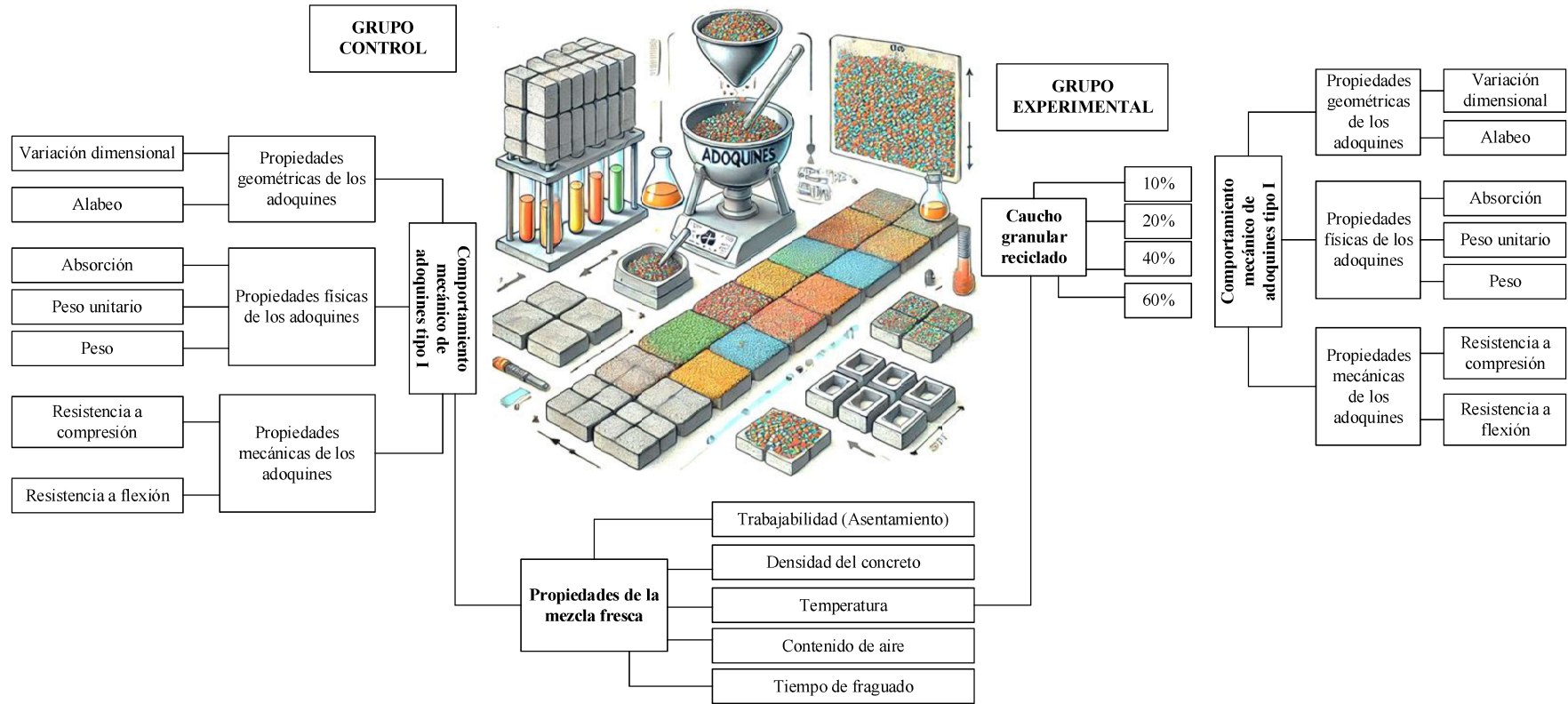
En la Figura 14 se detalla el esquema del diseño de investigación.

3.3. Métodos de investigación

Se utilizó el método deductivo inferencial porque se ha partido de premisas generales para llegar a conclusiones sobre el comportamiento de los adoquines con caucho granular. El método deductivo inferencial se define como un proceso lógico que parte de una premisa general, para luego realizar observaciones específicas y llegar a conclusiones particulares (Behar, 2008). En este caso, la investigación usa el método deductivo inferencial para partir de conocimientos previos sobre el comportamiento mecánico de los adoquines y la incorporación de caucho granular, para luego realizar pruebas y mediciones específicas en los adoquines tipo I con esta adición, y así llegar a conclusiones sobre su comportamiento mecánico particular en el contexto de pavimentos peatonales en Chota.

Figura 14

Diseño de Investigación: Pre test y Post test



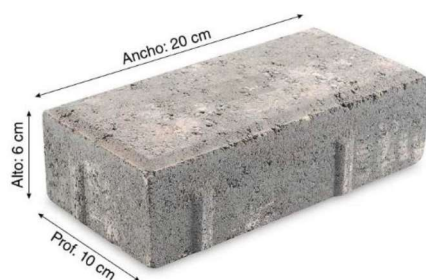
3.4. Población, muestra y muestreo

3.4.1. Población

Todos los adoquines tipo I de concreto con adición de caucho granular reciclado para pavimentos de uso peatonal en el distrito de Chota.

Figura 15

Dimensiones de los Adoquines Tipo I con Adición de Caucho Granular



3.4.2. Muestreo

No probabilístico, por conveniencia definido en relación a la NTP 399.611 (2017) que especifica un mínimo de 3 especímenes de ensayo para pruebas mecánicas, por lo que se plantearon 4 repeticiones por cada dosificación. Siendo así, la muestra estuvo compuesta por 180 adoquines tipo I de concreto con adición de caucho granular reciclado con 0%, 10%, 20%, 40% y 60% del volumen de agregados, de la arena de la cantera Conchán y la piedra chancada de la cantera Chuyabamba, utilizados en la mezcla de concreto $f'c$ 290 kg/cm², para pavimentos de uso peatonal en el distrito de Chota.

3.4.3. Muestra

No probabilístico, por conveniencia, siendo 180 adoquines tipo I de concreto con adición de caucho granular reciclado con 0%, 10%, 20%, 40% y 60% del volumen de agregados, de la arena de la cantera Conchán y la piedra chancada de la cantera Chuyabamba, utilizados en la mezcla de concreto $f'c$ 290 kg/cm², en el distrito de Chota.

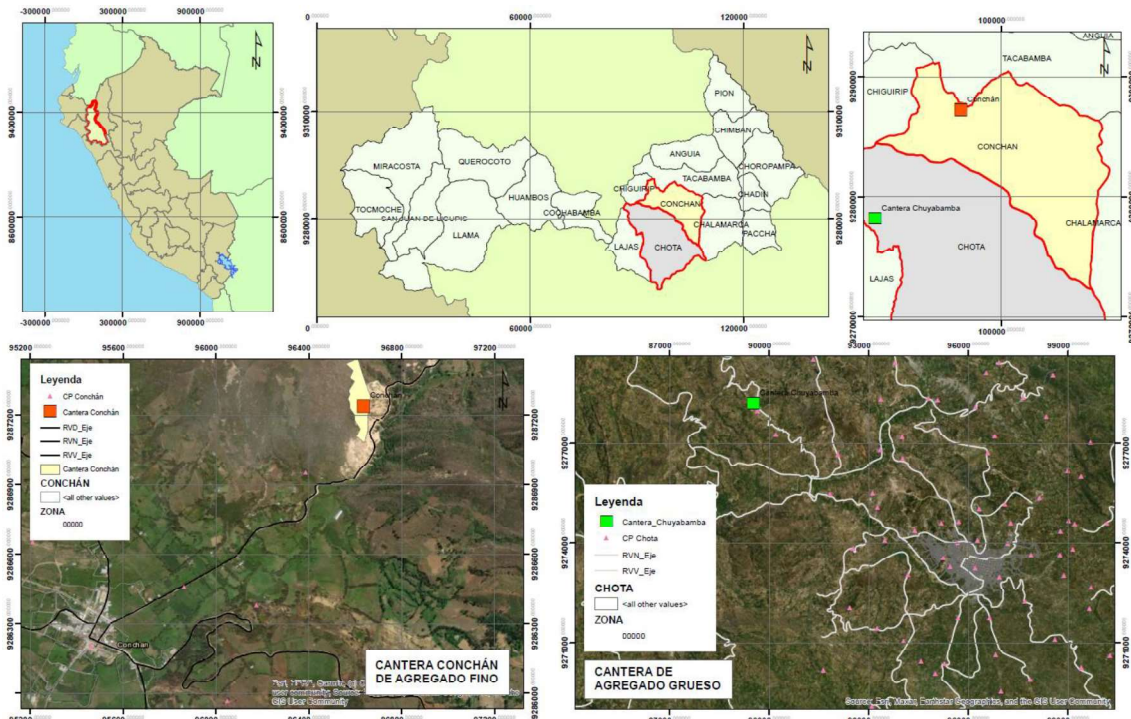
Tabla 9

Número de Adoquines Tipo I de Concreto con Caucho Granular

Propiedades físico mecánicas	Porcentaje de caucho granular					Total
	0%	10%	20%	40%	60%	
Variación dimensional y alabeo	4	4	4	4	4	20
Absorción	4	4	4	4	4	20
Peso unitario y peso	4	4	4	4	4	20
Resistencia a compresión						
7 días	4	4	4	4	4	20
14 días	4	4	4	4	4	20
28 días	4	4	4	4	4	20
Resistencia a flexión						
7 días	4	4	4	4	4	20
14 días	4	4	4	4	4	20
28 días	4	4	4	4	4	20
Total	36	36	36	36	36	180

Figura 16

Ubicación de las Canteras en la Provincia de Chota



3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1. Técnicas

Revisión documental: Se realizó una revisión documental de estudios previos, normas técnicas nacionales y libros relacionados con la incorporación de caucho granular en pavimentos de uso peatonal. Se analizaron los resultados obtenidos por otros investigadores para compararlos con los resultados.

Observación: La observación consistió en registrar el comportamiento observado por las materias primas y los adoquines con caucho granular en Chota. Se registró la trabajabilidad de la mezcla de concreto, la variación dimensional de los adoquines de concreto y otras características observables relevantes.

Ensayos de laboratorio: Se llevaron a cabo ensayos de laboratorio para evaluar las propiedades de las materias primas, las propiedades de la mezcla de concreto, y las propiedades de los adoquines tipo I con caucho granular. Los ensayos que se realizaron fueron: variación dimensional, alabeo, absorción, resistencia a compresión y flexión en el laboratorio de mecánica de materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil (EPIC) de la Universidad Nacional Autónoma de Chota (UNACH) y en el laboratorio externo CIEXLIAN S.R.L- acreditado por INDECOPI, ubicado en la ciudad de Chota.

Comparación: Se compararon los resultados de los ensayos de laboratorio con los estándares de calidad establecidos para adoquines de pavimento de uso peatonal en las normas técnicas peruanas correspondientes. También se compararon los resultados con los estudios previos encontrados en la revisión documental. La comparación ha permitido establecer si el caucho granular mejora o no las propiedades de los adoquines tipo I.

3.5.2. *Instrumentos*

Cuaderno de campo: Consiste en un documento en el que se registran todas las observaciones, mediciones y datos recolectados durante la investigación. En este caso, se utilizó para registrar algunos datos durante la producción de los adoquines, así como para anotar cualquier información relevante.

Registro documental: Consiste en la recopilación de información relevante obtenida de fuentes documentales como artículos científicos, libros, informes técnicos, normativas, entre otros. En esta investigación, se utilizó para recopilar antecedentes sobre la incorporación de caucho granular en pavimentos de uso peatonal, datos sobre normativas y estándares de calidad, y cualquier información relevante para fundamentar la investigación.

Formatos de laboratorio: Son documentos estructurados que se utilizan para registrar los resultados de los ensayos y pruebas realizados en el laboratorio. En este caso, se utilizaron para registrar de forma sistemática y ordenada los datos de los ensayos de laboratorio efectuados a las materias primas, al concreto fresco y a los adoquines tipo I con caucho granular reciclado.

Hoja de comparación: Instrumento que se utiliza para comparar datos obtenidos de diferentes fuentes o muestras. En esta investigación se utilizó para comparar los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio de adoquines con adición de caucho granular reciclado con los ensayos de adoquines convencionales, así como para realizar comparaciones con los estándares de calidad establecidos y con los estudios previos. Esto permitió evaluar si la incorporación de caucho granular mejora las propiedades de los adoquines para pavimentos peatonales.

3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

3.6.1. Proceso de obtención de los datos

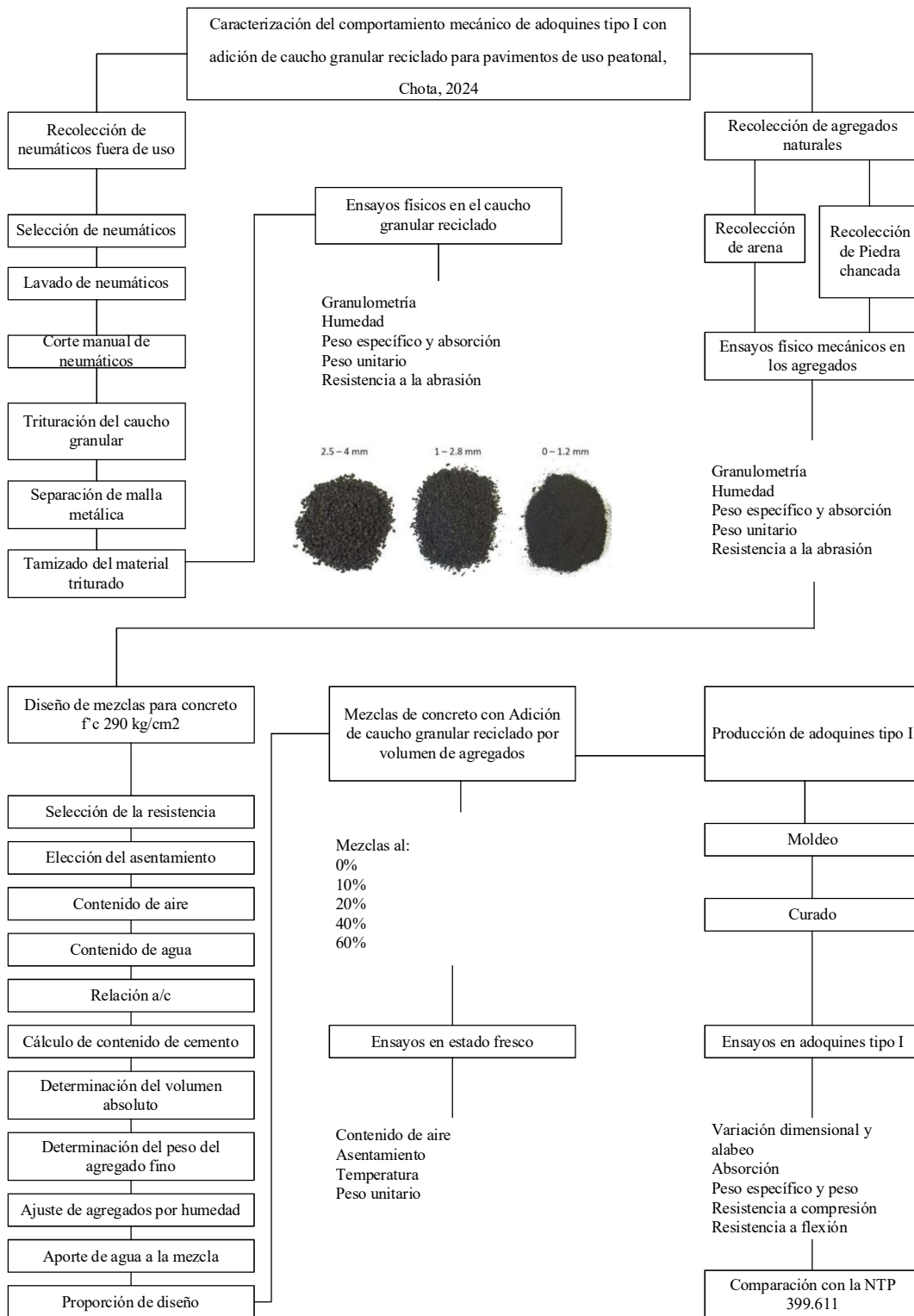
La investigación incluyó una serie de etapas clave. Primero, se recolectaron neumáticos fuera de uso (NFU) de las afueras de Chota y talleres locales, estos fueron lavados, secados, cortados en fragmentos y transportados a Cajamarca, donde fueron triturados en una planta especializada para obtener caucho granular con especificaciones determinadas. Posteriormente, se recolectaron agregados naturales (arena y piedra chancada) de canteras comerciales en Conchán y Chuyabamba, los cuales fueron sometidos a ensayos físicos y mecánicos para validar su calidad de acuerdo a la NTP 400.037 (2021).

Con estos materiales, se diseñaron mezclas de concreto utilizando el método ACI 211.1, incorporando diferentes porcentajes de caucho granular reciclado (0%, 10%, 20%, 40% y 60%) en adición del volumen de los agregados. Estas mezclas fueron evaluadas en estado fresco y endurecido mediante ensayos de contenido de aire, asentamiento, temperatura, peso unitario y tiempo de fraguado, realizados en el laboratorio de mecánica de materiales de la EPIC – UNACH.

Los adoquines elaborados con las mezclas fueron curados y sometidos a ensayos físicos y mecánicos. Se analizaron parámetros como variación dimensional, alabeo, absorción y peso unitario en el laboratorio de la EPIC – UNACH. Finalmente, las resistencias a compresión y flexión se evaluaron en el laboratorio CIEXLIAN, utilizando los estándares NTP 339.034, NTP 399.604 y NTP 339.079. Este enfoque permitió determinar el impacto de la incorporación de caucho granular reciclado en las propiedades de los adoquines peatonales.

Figura 17

Proceso de Obtención de Información



3.6.1.1. Proceso de recolección de neumáticos fuera de uso, corte manual y trituración para obtener caucho granular

Se recolectaron neumáticos fuera de uso (NFU) provenientes de las periferias de Chota y talleres dedicados a la reparación de vehículos menores. Estos neumáticos fueron sometidos a un proceso inicial que incluyó lavado y secado, tras lo cual se cortaron en secciones más pequeñas para facilitar su transporte hacia Cajamarca. En esta ciudad, fueron procesados en una planta especializada en reciclaje y recauchado, donde se trituraron, separando el caucho de los componentes metálicos. El material obtenido fue caucho granular con características específicas, capaz de pasar por el tamiz N° 4 y quedar retenido en el tamiz N° 100, cumpliendo con los requisitos de la investigación. Aunque el corte manual con herramientas como machetes, cuchillos o tijeras es una opción, la complejidad de este método llevó a optar por un proceso de trituración mecanizado en Cajamarca para mayor practicidad.

a) Equipos, materiales e instrumentos

Los equipos necesarios incluyen una recauchadora y recicladora de neumáticos para triturar y separar el caucho de la parte metálica, así como tamices para clasificar el material triturado. También se utilizaron herramientas como machetes, cuchillos, cutters y tijeras para la trituración manual de neumáticos.

b) Procedimiento

- El procedimiento comenzó con la recolección de neumáticos fuera de uso (NFU) en las afueras de la ciudad de Chota y en los talleres de reparación de vehículos menores.
- Luego, los neumáticos fueron lavados y secados antes de ser cortados en trozos más pequeños.

- Después se cortaron los neumáticos en trozos pequeños utilizando machetes, cuchillos, cutters y tijeras.
- Posteriormente, los pedazos de neumáticos fueron enviados a Cajamarca para ser triturados en la recauchadora y recicladora, separando el caucho de la parte metálica tal como, en la tesis de Bustamante (2023) quien utilizó caucho granular para mejorar las propiedades del suelo.
- El material granular resultante se sometió a pruebas de tamizado para asegurar que cumple con las condiciones especificadas para la investigación de 4 mm a 10 mm de acuerdo a las recomendaciones de Makoundou et al. (2021). Siendo el TMN N° 4.
- Finalmente, el material triturado en la ciudad de Cajamarca se trasladó a la ciudad de Chota para la realización del estudio.

Figura 18

Recolección de Neumáticos a las Afueras de la Ciudad de Chota



3.6.1.2. Ensayos físicos en el caucho granular reciclado

El caucho granular fue analizado como agregado fino, para ello, se realizaron los ensayos físicos comunes aplicados a la arena, siendo estos: NTP 400.012 (2021) análisis granulométrico, NTP 339.185 (2021) contenido de humedad, NTP 400.017 (2020) peso unitario, y NTP 400.022 (2021) peso específico y absorción. Los ensayos se realizaron en el laboratorio de mecánica de materiales de la EPIC – UNACH.

a) Equipos, materiales e instrumentos necesarios:

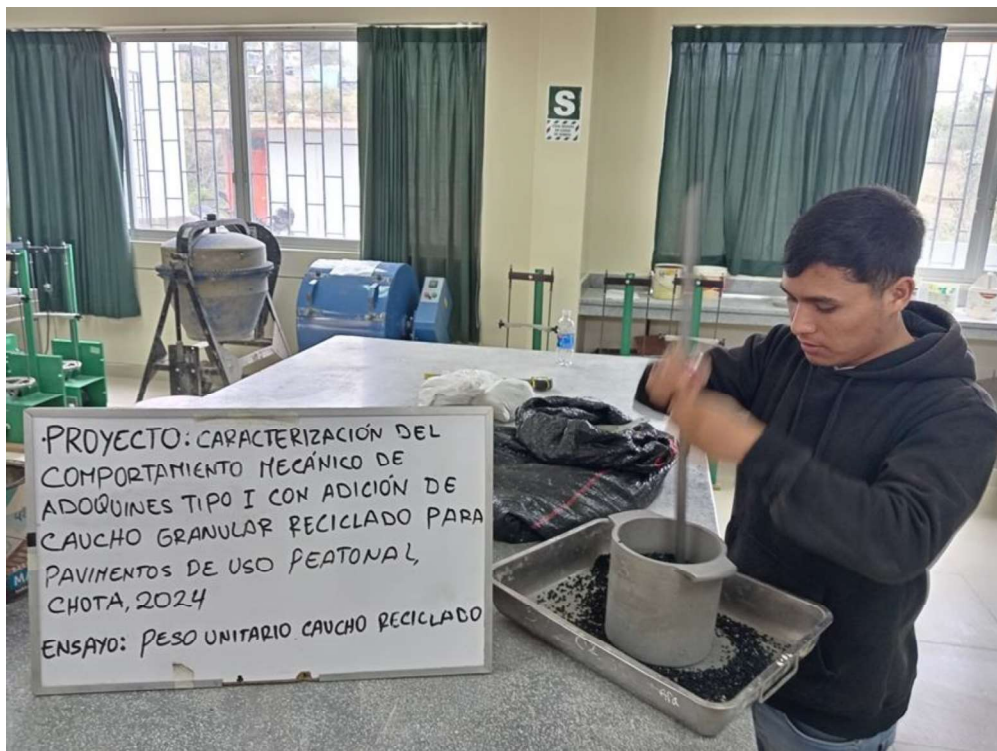
- Tamices de diferentes tamaños para el análisis granulométrico
- Balanzas digitales
- Estufa para secado de muestras
- Recipientes

b) Procedimiento:

- Para el análisis granulométrico, se tamizó una muestra representativa del caucho granular reciclado a través de los tamices, registrando el peso retenido en cada uno.
- Para determinar el contenido de humedad, se colocó una muestra del caucho en la estufa a una temperatura constante (105 °C) durante un tiempo determinado (1-2 horas) y se midió el cambio de peso.
- Para obtener el peso específico y la absorción, se sumergió una muestra del caucho en agua y se midió el peso sumergido y el peso en el aire.
- Para determinar el peso unitario suelto y compactado, se llenó un recipiente con el caucho y se compactó con una varilla, registrando los pesos antes y después del proceso.

Figura 19

Realización de Ensayos Físicos al Caucho Granular en el Laboratorio de Mecánica de Materiales de la EPIC – UNACH



3.6.1.3. Proceso de recolección de agregados naturales

Se empleó agregado fino proveniente de la cantera de Conchán, ubicada en el distrito del mismo nombre, y piedra chancada obtenido de la cantera Chuyabamba, situada en el distrito de Chota. La cantera de Conchán está localizada a 200 metros de la ciudad de Conchán, en las coordenadas UTM WGS84 17S 753234.87 m E, 9279150.13 m S, es la principal fuente de agregado fino en la provincia de Chota y la más frecuentemente utilizada para la producción de concreto. Por su parte, la cantera de piedra chancada y piedra chancada Chuyabamba se encuentra en el centro poblado de Chuyabamba, en las coordenadas UTM WGS84 17S 760481.51 m E, 9288047.27 m S, a 30 minutos de la ciudad de Chota en camioneta, siendo también una de las canteras más empleadas en la elaboración de concreto en la provincia.

Tabla 10.

Ubicación Geográfica de las Canteras

Cantera	Distrito	Tipo de material extraído	Coordenadas UTM WGS84	
			Este (m E)	Norte (m S)
Conchán	Conchán	Arena	760481.51	9288047.2
Chuyabamba	Chota	Piedra chancada	753234.87	9279150.13

Nota: Coordenadas tomadas en campo, con un GPS de mano Gramin 64sx.

Los agregados naturales necesarios para la investigación fueron recolectados mediante compra directa a los propietarios de ambas canteras comerciales. Este método de adquisición garantizó el acceso a materiales de calidad uniforme y en cantidad suficiente para su posterior análisis y uso en la elaboración de concreto para adoquines. Tras la compra, los agregados fueron transportados a las instalaciones del laboratorio de la EPIC – UNACH para ser sometidos a los ensayos correspondientes que validaran sus propiedades físicas y mecánicas antes de su incorporación en las mezclas experimentales.

Figura 20

Extracción de Material de la Cantera de Arena de Conchán



Figura 21

Extracción de Material de la Cantera de la Piedra Chancada de Chuyabamba



3.6.1.4. Ensayos físicos en los agregados naturales

Los ensayos físicos y mecánicos a los agregados naturales: NTP 400.012 (2021) análisis granulométrico, NTP 400.018 (2020) porcentaje de material que pasa tamiz N° 200, NTP 339.185 (2021) contenido de humedad, NTP 400.017 (2020) peso unitario, NTP 400.022 (2021) peso específico y absorción del agregado fino, NTP 400.021 (2020) peso específico y absorción del agregado grueso y NTP 400.019 (2020) abrasión de Los Ángeles al agregado grueso, se realizaron en el laboratorio de mecánica de materiales de la EPIC – UNACH.

a) Análisis granulométrico NTP 400.012 (2021)

Equipos y materiales:

- Tamices para AF: #3/8, #4, #8, #16, #30, #50, #100, #200.
- Tamices para AG: 1 ½”, 1”, 3/4”, 1/2”, 3/8”, #4.
- Estufa de 110°C ± 5°C.
- Balanza, recipientes y taras

Procedimiento de ensayo:

El agregado fue colocado en un horno a 110°C. Posteriormente, la muestra se dispuso sobre un conjunto de tamices ordenados en forma descendente y se tamizó según el tamaño de los orificios, tanto para el agregado fino como para el grueso. Luego, se pesó el material retenido en cada tamiz para registrar los pesos y formular la curva granulométrica

b) Peso unitario NTP 400.017 (2020)

Equipos y materiales:

- Olla cilíndrica de metal.
- Barra apisonadora de acero liso redonda.
- Balanza con sensibilidad 0.1%.

Procedimiento:

Peso unitario suelto: Se pesó la olla en la balanza, luego se llenó con agregado en tres capas (1/3, 2/3 y 3/3), apisonando cada capa con 25 golpes utilizando una varilla. Posteriormente, se enrasó el recipiente. Finalmente, se pesaron el recipiente y el agregado, y también se registró el volumen del recipiente.

Peso unitario compactado: Se pesó la olla en la balanza, luego se llenó con agregado en dos etapas (1/3 y 2/3). Después, se completó el llenado dejando caer el agregado desde una altura aproximada de 5 cm por encima del borde superior del recipiente. Finalmente, se pesaron el recipiente y el agregado, y se registró el volumen del recipiente.

c) Peso específico y absorción NTP 400.021 (2020)**Equipos y materiales:**

- Balanza, sensibilidad 0.1 gr.
- Fiola de 500 ml.
- Molde cónico metálico.
- Varilla de metal, malla de alambre
- Depósito adecuado
- Estufa de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}$

Procedimiento en agregado fino:

Se determinó el peso de la muestra en condiciones seca, saturada y superficialmente seca. Luego se determinó su volumen como peso del agua desplazada por el agregado sumergido en el matraz. Para ello, se tomaron 500 g de cada muestra de agregado fino, se dejaron secar en un horno a 110°C y luego se remojaron en agua durante 24 horas. Posteriormente, el material se colocó en

un molde cónico, se compactó con 25 golpes utilizando una varilla metálica, y se retiró el molde verticalmente hasta obtener el relleno en estado saturado. Tras realizar un lavado completo, la muestra de agregado grueso se secó en un horno a 110°C hasta alcanzar peso constante y luego se sumergió en agua durante 24 horas. Posteriormente, se dejó escurrir la muestra y se rodó sobre un paño absorbente. Finalmente, se pesó la muestra y se determinó su volumen.

Procedimiento en agregado grueso:

El ensayo comenzó cuarteando la muestra y zarandeándola a través del tamiz N° 4. El material retenido en el tamiz se pesó y la muestra fue lavada para eliminar polvo o sustancias extrañas adheridas. A continuación, se introdujo en un horno a una temperatura de 100°C a 110°C durante un día. Después, se sacó del horno y se dejó secar por un período de 1 a 3 horas. Posteriormente, la muestra se sumergió en agua durante 1 día. Al finalizar la inmersión, se retiró del agua, se secó, y se pesó. Luego, la muestra se colocó en el interior de una canastilla metálica y se determinó su peso sumergido en agua. Finalmente, se volvió a introducir en el horno por un día, se retiró para enfriar, y se obtuvo el peso de la muestra seca sin incluir el peso del recipiente.

d) Contenido de humedad NTP 339.185 (2021)

Equipos y herramientas:

- Balanza con una sensibilidad del 0.1%.
- Recipiente
- Horno/estufa de 110°C ± 5°C.

Procedimiento: Las muestras húmedas se colocaron en recipientes y se pesaron, luego se colocaron en un horno durante 24 horas, luego se retiraron, se dejaron enfriar y se pesaron nuevamente.

e) Porcentaje que pasa el tamiz N°200 NTP 400.018 (2020)

Aparatos y herramientas:

- Balanza con una sensibilidad del 0.1%.
- Recipientes y tamices para muestreo.
- Estufa de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Procedimiento:

Se colocó el agregado seco en un recipiente y se añadió suficiente agua para separar las partículas más finas que la malla N° 200. Este procedimiento se repitió hasta que el agua de lavado quedó completamente clara. Posteriormente, se secó y se pesó el material retenido en la malla N° 200 para estimar la cantidad de material que pasa dicho tamiz.

f) Abrasión NTP 400.019 (2020)

Herramientas y aparatos:

- Balanza con una sensibilidad del 0,1%.
- Recipientes y tamices 1", 3/4", 1/2", 3/8.
- Horno/ estufa de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Máquina de los ángeles.

Procedimiento:

Después de tomar la muestra descontaminada y secada en horno, se tamizó y se pesaron 5000 g. La muestra de prueba, junto con la carga abrasiva de 12 bolas, se colocó en la máquina de Los Ángeles y se sometió a 500 revoluciones. Posteriormente, se descargó y se tamizó utilizando el tamiz N° 12. El material restante se secó en estufa a 110°C durante 24 horas y, finalmente, se pesó la muestra.

Figura 22

Realización de Ensayos Físicos al Agregado Fino: Peso Específico



Figura 23

Realización de Ensayos Mecánicos al Agregado Grueso: Abrasión



3.6.1.5. Diseño de mezclas ACI para concreto $f'c$ 290 kg/cm²

El diseño de mezcla sigue las pautas del ACI 211.1 (2022) utilizando para ello una hoja de cálculo en Microsoft Excel. Determinada la mezcla, se realizó una prueba piloto a los 7 días, para verificar que la proporción cumpla el $f'c$ de diseño (290 kg/cm²).

Selección de resistencia media ($f'cr$)

$$F'cr = F'c + 84 \text{ kg/cm}^2 \quad (19)$$

$$F'cr = 290 + 84 = 374 \text{ kg/cm}^2 \quad (20)$$

Elección del Slump: 3" a 4"

Selección del TMN de partícula de los áridos gruesos: 1/2"

$$\text{Para TMN } 1/2" \rightarrow \text{agua} = 216 \text{ lt/m}^3 \rightarrow 2.5\% \text{ aire} \quad (21)$$

Contenido de aire: 2.5%

Contenido de agua: 216 lt/m³

Relación agua/cemento (A/C): 0.446

$$\text{Para } f'c \text{ 290 kg/cm}^2 \rightarrow \frac{a}{c} = 0.446 \quad (22)$$

Tabla 11

Relación a/c de Acuerdo a la Resistencia

Resistencia a compresión a los 28 días (kg/cm ²)	a/c	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
250	0.61	0.52
300	0.54	0.45

Nota: (ACI-211.1, 2022).

Cálculo del consumo de cemento:

$$\frac{\text{Cantidad de agua}}{\text{Factor C}} = A/C \quad (23)$$

$$\frac{216}{\text{Factor C}} = 0.446 \quad (24)$$

$$\text{Factor C} = 11.4 \text{ bolsas/m}^3 \quad (25)$$

Peso del agregado grueso

$$Peso A.G. = \frac{b}{b_o} \times Peso PUC \quad (26)$$

Entonces b/b_o es la relación entre el MF de la arena y el TMN de la grava.

Tabla 12

Volumen de Agregado Grueso por Volumen Unitario del Concreto

Tamaño máximo del agregado grueso (mm)	Volumen de agregado grueso (cm^3) para MF de la arena		
	2.20	2.22	2.40
12.5	0.61	$b/b_o=0.608$	0.59

Nota: (ACI-211.1, 2022).

$$Peso A.G. = 0.608 \times 1451.61 \quad (27)$$

$$Peso A.G. = 882.58 \text{ kg} \quad (28)$$

Determinación del volumen absoluto

$$Cemento = \frac{C}{Densidad} \quad (29)$$

$$Cemento = \frac{484.30 \text{ kg}/m^3}{3080 \text{ kg}/m^3} = 0.157 \text{ m}^3 \quad (30)$$

$$Agua = \frac{Contenido de agua}{Peso específico} \quad (31)$$

$$Agua = \frac{216}{1000} = 0.216 \text{ m}^3 \quad (32)$$

$$Aire = \text{contenido de aire atrapado} = 0.025 \text{ m}^3 \quad (33)$$

$$AG = \frac{Peso AG}{Peso específico} \quad (34)$$

$$AG = \frac{882.58 \text{ kg}/m^3}{2638.62 \text{ kg}/m^3} = 0.334 \text{ m}^3 \quad (35)$$

$$Volumen AF = 1 - (Cemento + agua + aire + AG) \quad (36)$$

$$Volumen AF = 1 - (0.157 + 0.216 + 0.025 + 0.334) \quad (37)$$

$$Volumen AF = 0.267 \text{ m}^3 \quad (38)$$

Determinación del peso del agregado fino

$$Peso AF = Volumen AF \times Peso específico AF \quad (39)$$

$$\text{Peso AF} = 0.267 \times 2596.40 = 693.95 \text{ kg} \quad (40)$$

Ajuste de agregados por humedad

$$\text{Agregado final} = \text{Agregado en kg} \times (\text{Contenido de humedad} + 1) \quad (41)$$

$$\text{Agregado fino} = 693.95 \times (2.53\% + 1) = 711.5 \text{ kg} \quad (42)$$

$$\text{Agregado grueso} = 882.58 \times (0.29\% + 1) = 882.58 \text{ kg} \quad (43)$$

Aporte de agua a la mezcla

$$\text{Aporte de agua} = \sum(\text{humedad} - \text{absorción}) \times \text{agregados final} \quad (44)$$

$$\text{Aporte AF} = \sum(2.53\% - 1.73\%) \times 711.5 = 5.83 \text{ lts} \quad (45)$$

$$\text{Aporte AG} = \sum(0.29\% - 0.68\%) \times 882.58 = -3.45 \text{ lts} \quad (46)$$

Agua efectiva

$$\text{Agua efectiva} = \text{Agua} - \text{aporte de agua} \quad (47)$$

$$\text{Agua efectiva} = 216 \text{ lts} - (5.83 - 3.45) = 213.6 \text{ lts} \quad (48)$$

Proporción de diseño base

$$\text{Cemento} \rightarrow \text{vol. cemento (m}^3) = \frac{\text{Peso del cemento (kg)}}{\text{PU.Cemento (kg/cm}^3)} \quad (49)$$

$$\text{A. grueso} \rightarrow \text{vol. AG (m}^3) = \frac{\text{Peso A.grueso húmedo (kg)}}{\text{PU.A.grueso húmedo (kg/cm}^3)} \quad (50)$$

$$\text{A. fino} \rightarrow \text{vol. AF (m}^3) = \frac{\text{Peso A.fino húmedo (kg)}}{\text{PU.A.fino húmedo (kg/cm}^3)} \quad (51)$$

$$\text{Agua (lts/bls)} = \frac{\text{Cantidad de agua por m}^3}{\left(\frac{\text{Peso del cemento por m}^3}{\text{Peso del cemento por bolsa}} \right)} \quad (52)$$

Proporción de diseño modificado

$$\text{Residuos de caucho granular (m}^3) = \text{Porcentaje de caucho granular} \times$$

$$\text{Volumen de agregados} \quad (53)$$

$$\text{Volumen final de agregados (m}^3) = \text{Agregados (m}^3) +$$

$$\text{Caucho granular (m}^3) \quad (54)$$

3.6.1.6. Elaboración de la mezcla base para concreto $f'c$ 290 kg/cm²

Para verificar que la mezcla base de concreto con una resistencia de diseño $f'c = 290 \text{ kg/cm}^2$, utilizando cemento Portland Tipo I de la marca Pacasmayo, piedra chancada de la cantera Chuyabamba, arena de la cantera Conchán y agua potable, cumpliera con las especificaciones esperadas, los materiales fueron combinados siguiendo las proporciones establecidas por el método ACI 211.1. Este procedimiento se llevó a cabo en el laboratorio de mecánica de materiales de la EPIC – UNACH, donde se prepararon las muestras necesarias. Posteriormente, la resistencia mecánica de la mezcla fue comprobada a los 7 días mediante ensayos realizados en el laboratorio CIEXLIAN.

Tras confirmar que la mezcla base cumplía con la resistencia requerida, se procedió a la fabricación de los adoquines de concreto. Estos fueron elaborados siguiendo la dosificación base especificada, con las respectivas modificaciones que incluían la adición de caucho granular reciclado como un porcentaje del volumen total de los agregados.

a) Equipos, materiales e instrumentos:

- Mezcladora de concreto
- Balanza de precisión
- Probetas cilíndricas para ensayos de compresión
- Máquina de ensayos de compresión
- Tamices para la clasificación de agregados
- Agregado grueso y fino
- Cemento Portland
- Agua
- Guantes y protección para los ojos

b) Procedimiento:

- Se seleccionaron los porcentajes de adición a evaluar (0%, 10%, 20%, 40% y 60%) del volumen del agregado grueso y fino, con caucho granular reciclado.
- Se pesaron los materiales (agregados, caucho, cemento, agua) en las proporciones requeridas para la mezcla $f'c$ 290 kg/cm².
- Se inició el proceso de mezclado en la mezcladora de concreto, asegurando una homogeneización completa de los materiales.
- Se vertió la mezcla en moldes y se compactó utilizando una vibradora.
- Se dejó curar la muestra por 7 días.
- Se llevaron las probetas cilíndricas al laboratorio CIEXLIAN para realizar ensayos de compresión comprobar si se cumplía con el 65% de la resistencia esperada del concreto.

Figura 24

Preparación de las Mezclas de Concreto



3.6.1.7. Ensayos en estado fresco de las mezclas para concreto f^c 290 kg/cm² con 0%, 10%, 20%, 40% y 60% de adición de caucho granular respecto al volumen de los agregados

Para realizar los ensayos en el concreto en estado fresco, se prepararon mezclas con una resistencia de diseño de $f^c = 290$ kg/cm², utilizando cemento Portland Tipo I de la marca Pacasmayo. Las mezclas incluyeron proporciones de caucho granular reciclado de 0%, 10%, 20%, 40% y 60% con respecto al volumen total de los agregados. Además, se emplearon piedra chancada proveniente de la cantera Chuyabamba, arena de la cantera Conchán y agua potable, con el fin de evaluar las propiedades del concreto fresco conforme a las Normas Técnicas Peruanas, asegurando que los procedimientos cumplieran con los estándares.

Entre los ensayos realizados se incluyó la medición del contenido de aire en el concreto fresco, conforme a la NTP 339.081 (2018). Asimismo, se evaluó el asentamiento del concreto siguiendo los lineamientos de la NTP 339.035 (2022), y se determinó la temperatura del concreto en estado fresco según lo establecido por la NTP 339.184 (2021). También se midió el peso unitario del concreto, cumpliendo con las disposiciones de la NTP 339.046 (2019), y se analizó el tiempo de fraguado del material siguiendo la NTP 339.082 (2018). Todo este proceso se desarrolló en el laboratorio de mecánica de materiales de la EPIC – UNACH.

a) Ensayo de contenido de aire en el concreto fresco, método de presión NTP 339.081 (2018)

Equipos, materiales e instrumentos

- Olla Washington
- Vibrador de inmersión

- Balanza de precisión
- Varilla de apisonado
- Platina de enrasado

Procedimiento

Varillado y golpeado suavemente: El interior del depósito fue humedecido y luego secado, logrando una apariencia opaca y húmeda. Con una cuchara, se llenó el recipiente con concreto recién preparado en dos capas de igual profundidad. Cada capa fue compactada uniformemente mediante 25 golpes con la varilla, distribuidos a lo largo de la sección. En la capa superior, la varilla fue introducida aproximadamente 1” por debajo de la superficie. Una vez que todas las capas estuvieron compactadas, se golpeó suavemente el borde del depósito con un martillo de 10 a 15 veces para sellar las áreas de contacto. La última capa o el ligero exceso de concreto quedó 1/8” (3 mm) por encima del borde.

Enrasado: Tras el paso anterior, se enrasó el exceso utilizando una barra, hasta que quedó nivelada con la superficie del depósito. Posteriormente, se limpiaron los bordes del depósito para retirar cualquier material sobrante.

Medidor tipo B: Los componentes del aparato fueron limpiados y ensamblados. Se inyectó agua en el recipiente para eliminar las burbujas de aire presentes, luego se bombeó aire hasta alcanzar la presión inicial, estabilizando el manómetro. Posteriormente, se cerraron los grifos y se abrió la válvula para leer el porcentaje de aire en el recipiente. Finalmente, los grifos fueron abiertos antes de retirar la cubierta del medidor.

$$A = A_R - C \tag{18}$$

Donde, C Factor de corrección del agregado, AR contenido de aire aparente de la muestra, A contenido de aire %.

Figura 25

Ensayo de Contenido de Aire en la Mezcla de Concreto con Caucho Granular



b) NTP 339.035 (2022) Ensayo para medir el asentamiento del concreto

Equipos, materiales e instrumentos

- Cono de Abrams
- Varilla
- Regla de medición
- Balanza
- Cronometro

Proceso:

- Se humedeció el molde y se colocó sobre una superficie lisa no absorbente. Luego se vertió el concreto en tres capas para que cada capa llene un tercio del volumen del molde.
- Se compactó todas las capas extendiendo las tiras de compactado uniformemente sobre la sección y haciendo 25 golpes.

- Después de completar los pasos anteriores, se levantó con cuidado la plantilla verticalmente. El molde se retiró a una altura de 300 mm en 5 ± 2 s y se mueve hacia arriba con fuerza. Inmediatamente después de esto, se determinó la diferencia en la altura del estándar y la superficie superior del cono.

Figura 26.

Ensayo para Asentamiento



c) Determinación de la temperatura de la mezcla NTP 339.184 (2021)

Equipos y/o materiales

- Contenedor (lo suficientemente grande).

- Termómetro con una precisión de ± 0.5 °C.

Pasos:

- El termómetro se colocó de manera que quedo rodeado por lo menos de tres pulgadas de mezcla en todas las direcciones.
- Se presionó la superficie de la mezcla cerca al termómetro.
- Se dejó el termómetro durante 2 min y cuando la temperatura se estabilizó, se anotaron las lecturas.

Figura 27

Ensayo de Temperatura en la Mezcla de Concreto



d) Peso unitario del concreto NTP 339.046 (2019)

Aparatos y/o materiales

- Moldes cilíndricos de 6" x 12"
- Balanza
- Barra de acero

- Tablero liso, tablero plano rectangular
- Mazo de goma
- Pala o cuchara

Pasos:

- Se pesó el molde que se usó y se determinó su volumen.
- Se colocó el concreto en el molde en 3 capas, cada una a un tercio de su altura total, moviendo la pala para asegurar una distribución uniforme.
- Después de 25 golpes en cada capa, se empleó un mazo de goma para golpear cada capa 15 veces con fuerza suficiente para eliminar las burbujas de aire.
- Cuando la tercera capa estuvo lista, se alisó el borde superior, asegurándose de que quede plano y completamente relleno.
- Se alisó y limpió las paredes del contenedor y se determinó su peso.

Figura 28

Ensayo de Peso Unitario del Concreto



e) Ensayo de tiempo de fraguado del concreto NTP 339.082 (2018)

Equipos, materiales e instrumentos:

- Equipo de penetración para medir el tiempo de fraguado (aparato de Vicat).
- Recipientes cilíndricos o moldes para preparar las muestras.
- Varilla metálica para compactar el concreto.
- Balanza para pesar los materiales.
- Cronómetro para registrar el tiempo.
- Mezcladora de concreto.

Procedimiento:

- Se prepararon las mezclas de concreto siguiendo la dosificación especificada y considerando las proporciones de adición de caucho granular (0%, 10%, 20%, 40% y 60% respecto al volumen de los agregados).
- El concreto recién preparado se colocó en moldes cilíndricos, llenándolos en tres capas. Cada capa fue compactada con 25 golpes de una varilla metálica para asegurar la eliminación de burbujas de aire.
- Una vez compactadas todas las capas, la superficie de cada muestra fue enrasada cuidadosamente y los moldes fueron cubiertos para evitar la pérdida de humedad.
- Las muestras se dejaron reposar bajo condiciones controladas de temperatura y humedad para evitar variaciones en los resultados.
- Se utilizó un aparato de penetración (aparato de Vicat) para medir el tiempo de fraguado. Las lecturas se realizaron a intervalos regulares de tiempo, comenzando desde el momento en que el agua fue añadida a la mezcla.

3.6.1.8. Elaboración de adoquines tipo I f'c 290 kg/cm² con 0%, 10%, 20%, 40% y 60% de adición de caucho granular respecto al volumen de los agregados

Para elaborar los bloques de adoquín se ha realizado las mezclas de concreto f'c 290 kg/cm² con cemento Portland Tipo I de la marca Pacasmayo, 0%, 10%, 20%, 40% y 60% de adición de caucho granular respecto al volumen de los agregados, piedra chancada de la cantera Chuyabamba, arena de la cantera Conchán y agua potable. Este proceso se llevó a cabo en el laboratorio de mecánica de materiales de la EPIC – UNACH.

a) Equipos, materiales e instrumentos:

- Mezcladora de concreto
- Balanza de precisión
- Molde para fabricación de adoquines
- Tamices para la clasificación de agregados
- Agregado grueso y fino
- Caucho granular reciclado
- Cemento Portland
- Agua
- Guantes y protección para los ojos

b) Procedimiento:

- Se seleccionaron los porcentajes de adición a evaluar (0%, 10%, 20%, 40% y 60%) del agregado grueso y fino con caucho granular reciclado.
- Se pesaron los materiales (agregados, caucho, cemento, agua) en las proporciones requeridas para la mezcla de concreto f'c 290 kg/cm².
- Se inició el proceso de mezclado en la mezcladora de concreto, asegurando una homogeneización completa de los materiales.

- Se vertió la mezcla en moldes para adoquines y se compactó utilizando la vibradora.
- Se dejó curar la muestra por 7,14 y 28 días.
- Se trasladaron los adoquines elaborados al laboratorio CIEXLIAN para realizar ensayos de compresión y flexión. Y los ensayos físicos se realizaron en el laboratorio EPIC – UNACH.
- Se repitió el procedimiento para cada porcentaje de adición evaluado.

Figura 29

Curado de los Adoquines de Concreto con Caucho Granular



3.6.1.9. Ensayos en adoquines tipo I de concreto $f'c$ 290 kg/cm² con 0%, 10%, 20%, 40% y 60% de adición de caucho granular respecto al volumen de los agregados

En el laboratorio de mecánica de materiales de la EPIC – UNACH se realizaron ensayos geométricos y físicos de variación dimensional, alabeo, absorción, peso unitario y peso de los adoquines tipo I de concreto $f'c$ 290 kg/cm² con 0%, 10%, 20%, 40% y 60% de adición de caucho granular respecto al volumen de los agregados. Así mismo, los adoquines fueron trasladados al laboratorio CIEXLIAN para realizar ensayos mecánicos a compresión y flexión de acuerdo a la NTP 399.604 (2015) y NTP 339.079 (2023), respectivamente.

Equipos, materiales e instrumentos:

- Máquina de ensayo universal
- Balanza
- Cinta métrica
- Instrumento para medir alabeo
- Baño de agua para ensayo de absorción
- Adoquines tipo I de concreto

Procedimiento:

- Se seleccionaron los adoquines tipo I con diferentes porcentajes de adición de caucho granular.
- Se procedió a realizar los ensayos de variación dimensional, alabeo, absorción, peso unitario y peso en los adoquines con 0%, 10%, 20%, 40% y 60% de caucho granular en el laboratorio de mecánica de materiales de la EPIC – UNACH de acuerdo a la NTP 399.611 (2017).
- Se pesaron los adoquines en la balanza y se midió su peso unitario.

- Se midieron los adoquines para determinar la variación dimensional de estos.
- Se utilizó el instrumento para medir alabeo para determinar las posibles deformaciones en los adoquines.
- Se sumergieron los adoquines en el baño de agua para realizar el ensayo de absorción y se registraron los resultados.
- En el laboratorio CIEXLIAN se colocaron los adoquines en la máquina de ensayo universal para medir la resistencia a compresión de acuerdo a la NTP 399.604 (2015) y flexión de acuerdo a la NTP 339.079 (2023).

Figura 30

Realización de Ensayos de Resistencia Mecánica en los Adoquines con Caucho Granular



3.6.2. *Procesamiento de datos*

Para evaluar si los adoquines tipo I de concreto con caucho granular cumplen con las normas técnicas peruanas, se utilizaron diversas técnicas como asociación, agrupación y comparación, a fin de determinar las características físicas y mecánicas de los adoquines peatonales.

Los resultados de estas evaluaciones se presentan de manera visual y sintetizada a través de tablas y gráficos de resumen. Para ello, se empleó la herramienta de Microsoft Excel 2022, que facilitó la organización y visualización de los datos recopilados.

3.6.3. *Análisis de datos*

El análisis de los adoquines tipo I de concreto con caucho granular se realizó para verificar si cumplen con la norma NTP 399.611 (2017) establecida para este tipo de material de construcción.

Para analizar la información recopilada, se utilizaron programas de inferencia estadística como Minitab 22, verificando inicialmente si los datos siguen una distribución normal. Comprobada la normalidad de los datos se procedió a realizar pruebas paramétricas para comparar si el valor p (probabilidad) es superior a 0.05 (nivel de significancia) para un nivel de confianza del 95%, de ser así, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1).

3.7. Aspectos éticos

Considerar aspectos éticos en la investigación contribuye a garantizar la integridad, la responsabilidad y el respeto en el proceso investigativo, fortaleciendo la credibilidad y el valor social de los resultados obtenidos, por ello, de acuerdo a Noreña et al. (2012) se han considerado los siguientes aspectos éticos:

Valor social: La caracterización del comportamiento mecánico de adoquines con caucho reciclado para pavimentos peatonales contribuye a la sostenibilidad ambiental, al fomentar el reusó de materiales y la eficiencia en la construcción de infraestructuras urbanas.

Valor científico: La investigación está fundamentada en metodologías y teorías científicas sólidas y actualizadas.

Validez de resultados: Se fundamenta la fiabilidad de los datos obtenidos en la investigación, mediante el uso de técnicas y herramientas adecuadas.

Divulgación de resultados: Los resultados de la investigación son divulgados de forma accesible, para su aprovechamiento por la comunidad científica. Asimismo, se ha fomentado la transparencia en la comunicación de los hallazgos, para evitar sesgos o interpretaciones erróneas.

Integridad académica: Se ha evitado el plagio, la manipulación de datos o cualquier forma de mala conducta académica, asegurando la honestidad y la transparencia en la presentación de sus resultados.

Criterios de rigor científico: El estudio cumple con estándares de rigor científico, como la replicabilidad de los experimentos, la citación adecuada de fuentes bibliográficas, la inclusión de controles experimentales y la objetividad en la interpretación de los resultados. Estos criterios son fundamentales para garantizar la validez y solidez del estudio.

CAPÍTULO IV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción de resultados

4.1.1. *Propiedades de los agregados utilizados en la elaboración de adoquines tipo I*

En la Tabla 13, se evidencian diferencias significativas entre los materiales analizados: agregado fino (arena) de la cantera Conchán, agregado grueso (piedra chancada) de la cantera Chuyabamba y caucho granular reciclado.

Tabla 13

Propiedades Físico Mecánicas de los Agregados Utilizados en la Elaboración de Concreto para Adoquines Tipo I

Propiedades de los agregados	Agregado fino	Agregado grueso	Caucho
	Arena	Piedra chancada	reciclado
Cantera	Conchán	Chuyabamba	
Módulo de finura (MF)	2.22	2.91	3.03
TMN	Nº 4	1/2"	Nº 4
Humedad (%)	2.53	0.29	0.01
Cantidad que pasa tamiz Nº 200 (%)	6.61	0.28	0
Peso específico de masa (g/cm ³)	2.597	2.64	1.04
Peso específico SSS (g/cm ³)	2.64	2.66	1.04
Peso específico aparente (g/cm ³)	2.72	2.69	1.04
Absorción (%)	1.71	0.68	0.25
PUS (kg/m ³)	1477.38	1347.67	466.67
PUC (kg/m ³)	1588.1	1451.61	528.57
Abrasión (%)		25.07	

El agregado fino presenta MF de 2.22, valor que lo clasifica como una arena de granulometría fina, además de que se encuentra fuera del rango dado en la NTP 400.037 (2021), donde se especifica que, el módulo de finura del agregado fino debe estar entre 2.30 a 3.10, sin embargo, a pesar de ello, la norma también especifica que, el agregado puede ser utilizado incluso si no se encuentra en este límite si logra un concreto que cumpla con los requisitos de diseño (f'c), por lo

que, igual se ha utilizado este árido fino aun cuando su gradación es fina; mientras que la piedra chancada, con MF de 2.91, refleja una granulometría más gruesa y dentro de los límites dados en la normatividad. En contraste, el caucho granular reciclado exhibe un módulo de finura de 3.03, sugiriendo que su distribución de tamaño se sitúa por encima de la arena y en un rango comparable a la piedra chancada. Así mismo, de acuerdo a la distribución granulométrica, solamente el agregado reciclado, caucho granular, cumple completamente con el huso granulométrico dado en la NTP 400.037 (2021) para agregado fino, lo que asegura una distribución granulométrica proporcional entre los diferentes tamices; mientras que, la arena de Conchán y la piedra chancada de Chuyabamba presentan algunos porcentajes de material fuera del rango granulométrico dado.

Figura 31

Curva de Distribución Granulométrica de la Arena

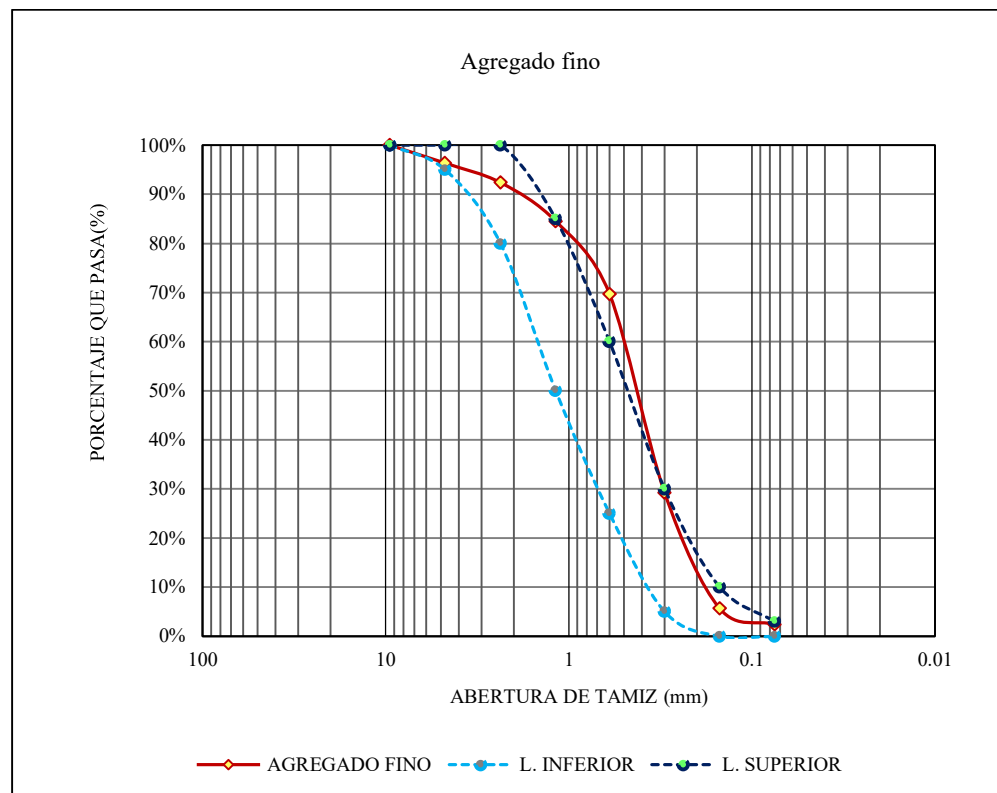


Figura 32

Curva de Distribución Granulométrica del Agregado Grueso (Piedra chancada)

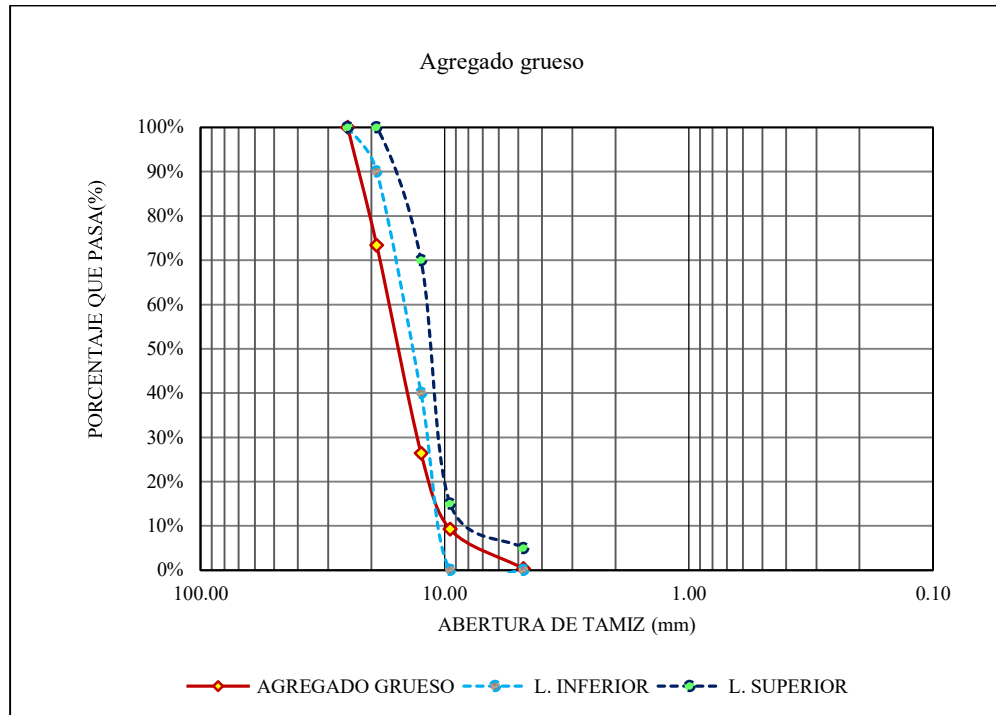
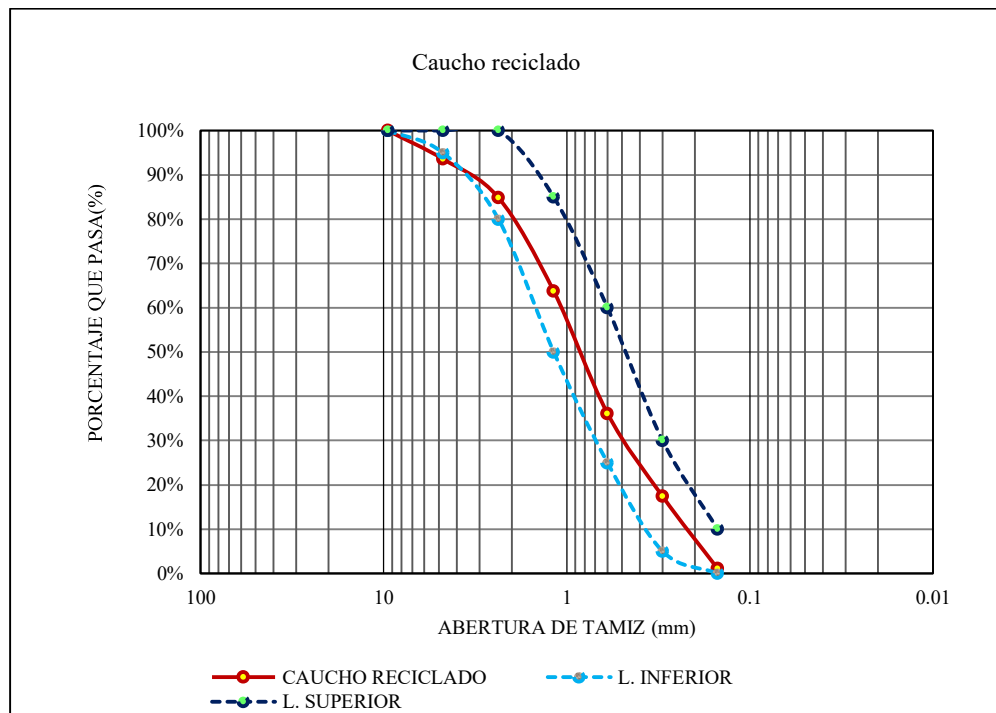


Figura 33

Curva de Distribución Granulométrica del Caucho Granular



En cuanto a la humedad, el agregado fino posee contenido del 2.53%, mientras que el agregado grueso registra apenas 0.29%, lo que evidencia su baja capacidad de retención de agua. El caucho granular reciclado, por su parte, presenta un valor mínimo de 0.01%, lo que indica una casi nula absorción de humedad. Esta característica del caucho es significativa, ya que, al incorporarse en la mezcla de concreto, no influye en el equilibrio hídrico, manteniendo inalterado el contenido de agua.

Respecto al peso unitario, el caucho granular presenta significativamente valores más bajos en comparación con los agregados naturales: 466.67 kg/m³ en estado suelto y 528.57 kg/m³ compactado. Estos valores contrastan con los 1477.38 y 1588.1 kg/m³ registrados para la arena, y los 1347.67 y 1451.61 kg/m³ de piedra chancada. Por tanto, la baja densidad del caucho introduce una reducción de peso en la mezcla.

El peso específico del agregado fino es 2.597 g/cm³, y el de la piedra chancada alcanza 2.64 g/cm³, lo cual es típico de los materiales pétreos. Sin embargo, el caucho granular reciclado presenta peso específico de 1.04 g/cm³, siendo considerablemente menor. Esta diferencia reduce la densidad global del concreto, lo que conlleva a una disminución del peso unitario del material final.

Por otra parte, los valores de absorción confirman las diferencias en las propiedades intrínsecas de los materiales. La arena absorbe 1.71%, y la piedra chancada 0.68% de su masa, mientras que el caucho granular solo absorbe 0.25%, reafirmando su comportamiento hidrófobo. Este aspecto cobra relevancia en las mezclas de concreto, ya que materiales con baja absorción limitan la pérdida de agua durante el proceso de fraguado, siendo favorable para no afectar el volumen de agua que se requiere en la preparación de la mezcla de concreto.

La cantidad de material que pasa por el tamiz N° 200 en la arena es del 6.61%, superando el límite máximo de 5% establecido en la NTP 400.037 (2021) para concretos; este resultado indica que la arena requiere un proceso de tamizado previo a su uso en la elaboración de concreto, con el fin de reducir el exceso de partículas finas presentes en su composición, las cuales pueden afectar la trabajabilidad y resistencia del material final. Por otro lado, el porcentaje de material que pasa por el tamiz N° 200 en el agregado grueso es de 0.28%, valor que se encuentra por debajo del límite de 1% estipulado en la misma norma; esto demuestra que la piedra chancada cumple con los requisitos para sustancias deletéreas, confirmando su idoneidad para la producción de concreto. En cuanto al caucho granular reciclado, este material presenta una gradación uniforme y carece de partículas finas que pasen la malla N° 200, lo cual refleja su estabilidad granulométrica y su naturaleza particular como agregado no pétreo, además de que cumple con la NTP 400.037 (2021).

El TMN de la piedra chancada de la cantera Chuyabamba es de ½”, mientras que, el tamaño máximo de la arena de la cantera Conchán y el caucho reciclado granular es el tamiz N° 4, por lo que, estos dos últimos agregados son considerados finos; pero, la piedra chancada es considerada agregado grueso.

Respecto a la abrasión de la piedra chancada, la NTP 400.037 (2021) establece un límite máximo del 50% para el desgaste por abrasión. La piedra chancada proveniente de la cantera Chuyabamba registra un valor de 25.07%, cumpliendo con holgura este criterio. Este resultado evidencia que el agregado grueso posee una alta resistencia al desgaste, lo que lo califica como un material de calidad adecuado para soportar las cargas y efectos abrasivos a los que será sometido en su aplicación en concreto estructural.

En lo que respecta a la proporción de materiales mostrada en la Tabla 14, se observa que, la mezcla base en peso por tanda está conformada por 1 bolsa de 42.5 kg de cemento, 18.75 lts de agua, 62.44 kg de arena, y 77.67 kg de piedra chancada por bolsa de cemento, siendo, la proporción en volumen de 1: 1.46: 2.03 de cemento: arena: piedra chancada y 18.75 lts de agua. La adición de caucho granular reciclado se incrementa progresivamente desde 0% hasta 60%, sin modificar la cantidad de cemento, agua y agregados naturales, debido a que no se está sustituyendo los agregados por este componente, sino que se está adicionando para la producción de concreto. Este incremento del caucho, al no sustituir directamente los agregados pétreos, se integra como un volumen adicional en la mezcla, permitiendo elaborar más de 1 m³ de concreto cuando se adiciona el caucho granular a la mezcla. Pero también, la mayor inclusión de caucho granular implica una reducción en la densidad total del concreto, lo cual es previsible debido al bajo peso específico del material. Para proporciones con 10%, 20%, 40% y 60% de caucho granular, se ha adicionado en tanda respectivamente 2.7, 5.49, 10.98 y 16.50 kg de caucho granular para 1 m³ de concreto.

Tabla 14

Proporción de Materiales Utilizados para la Mezcla de Concreto $f'c$ 290 kg/cm² para Adoquines Tipo I

Materiales	Proporción de materiales en peso por tanda para 1 m ³ de concreto					
	Porcentaje de caucho granular	0%	10%	20%	40%	60%
Cemento (kg/bolsa)		42.5	42.5	42.5	42.5	42.5
Agua (lts/bolsa)		18.75	18.75	18.75	18.75	18.75
A. Fino (kg/bolsa)		62.44	62.44	62.44	62.44	62.4
A. Grueso (kg/bolsa)		77.67	77.67	77.67	77.67	77.7
Caucho (kg/bolsa)		0.00	2.7	5.49	10.98	16.5

4.1.2. Propiedades del concreto con adición de caucho granular para la producción de adoquines tipo I

La incorporación de caucho granular reciclado en las mezclas de concreto para la producción de adoquines tipo I genera variaciones significativas en las propiedades físicas y reológicas del material. En cuanto al peso unitario, se observa una disminución constante conforme aumenta la adición de caucho granular. El peso unitario pasa de 2373.89 kg/m³ en la mezcla sin caucho (0%) a 2156.67 kg/m³ cuando se incorpora un 60% de caucho, significando una reducción de 9.15% del peso unitario. Esta reducción es atribuida a la baja densidad del caucho granular en comparación con los agregados pétreos convencionales, lo que hace que el concreto sea más ligero. Esta propiedad es beneficiosa en aplicaciones donde se requiera concreto de menor peso.

El asentamiento de la mezcla de concreto muestra una ligera tendencia de disminución, pasando de 4 pulgadas en la mezcla sin caucho a 3.1 pulgadas al incorporar el 60% de este material, lo que significa una disminución del 22.5% en el slump de la mezcla. Esto muestra una clara disminución en la fluidez de la mezcla del concreto, atribuida a la textura y naturaleza del caucho granular, que reduce la fricción interna entre las partículas y dificulta el flujo de la mezcla. Sin embargo, es fundamental controlar este aspecto, ya que una trabajabilidad baja podría afectar la cohesión y estabilidad de la mezcla; no obstante, en este caso, todas las mezclas de concreto con 0%, 10%, 20%, 40% y 60% se encuentran en el rango electo de asentamiento de 3 a 4 pulgadas.

Por otro lado, el contenido de aire presenta un aumento gradual con la adición de caucho granular, pasando de 2% en la mezcla sin adición a 3.1% al 60% de caucho granular, lo que, representa un incremento del 55% del contenido

de aire. Este fenómeno se explica por la textura porosa y la irregularidad del caucho, que tiende a atrapar más aire en la mezcla, incrementando así la cantidad de vacíos ocluidos. Un mayor contenido de aire tiene efectos negativos sobre la resistencia mecánica, por lo que es necesario realizar ajustes en el diseño para mitigar este efecto, considerando que, el contenido de aire electo en la mezcla fue de 2.5%, siendo así, las mezclas con 40% y 60% de caucho granular superan este límite dado. No obstante, mezclas de concreto con 10% y 20% de caucho granular aun alcanzan los porcentajes de contenido de aire esperados, con 2.1% y 2.3%, respectivamente, lo que, tan solo representa un incremento de 5% y 15% del contenido de aire, respecto al contenido de aire del concreto base.

La temperatura de la mezcla también experimenta un aumento progresivo conforme se incrementa el porcentaje de caucho granular, pasando de 18.1 °C en la mezcla sin adición a 19.4 °C con un 60% de caucho, lo que, significa un aumento del 7.18% de la temperatura del concreto. Este comportamiento se atribuye a la capacidad del caucho de retener calor, dado su menor conductividad térmica en comparación con los agregados naturales. Esta característica influye también en el proceso de fraguado y endurecimiento del concreto.

Finalmente, el tiempo de fraguado inicial aumenta de manera constante a medida que aumenta la proporción de caucho granular. El tiempo de fraguado inicial varía de 45 minutos en la mezcla sin adición de caucho (0%) a 61 minutos cuando se incorpora un 60% de caucho granular. Este comportamiento se debe principalmente a la interferencia física que produce el caucho granular en la mezcla de concreto. Al actuar como un agregado no absorbente y con características hidrófobas, el caucho no participa en la reacción de hidratación del cemento, dejando un mayor contenido de agua disponible en la mezcla. Este

exceso de agua libre retarda la formación de los productos de hidratación, prolongando así el tiempo necesario para que la mezcla comience a endurecerse. Además, el caucho granular presenta una textura irregular y de menor densidad, lo genera vacíos oclusos que dificultan la compactación y cohesión del concreto, contribuyendo indirectamente a un fraguado más lento. Este efecto es más evidente conforme se incrementa el porcentaje de caucho, como lo reflejan los tiempos registrados en el estudio, con 35.56% de incremento en el tiempo.

Por lo tanto, la adición de caucho granular reciclado en las mezclas de concreto para adoquines tipo I reduce el peso unitario y tiempo de fraguado inicial, disminuye la trabajabilidad e incrementa el contenido de aire y la temperatura.

Tabla 15

Propiedades del Concreto con Adición de Caucho Granular

Propiedades del concreto	Porcentaje de caucho granular en el concreto				
	0%	10%	20%	40%	60%
Peso unitario (kg/m ³)	2373.89	2314.44	2272.78	2211.94	2156.67
Asentamiento (pulg)	4	3.9	3.7	3.5	3.1
Contenido de aire (%)	2	2.1	2.3	2.6	3.1
Temperatura (°C)	18.1	18.2	18.6	18.9	19.4
Tiempo de fraguado inicial (min)	45	48	50	55	61

Tabla 16

Porcentaje en que se ven Afectadas las Propiedades del Concreto con Adición de Caucho Granular

Porcentaje de afectación de las propiedades del concreto	Porcentaje de caucho granular en el concreto				
	0%	10%	20%	40%	60%
Peso unitario (kg/m ³)	0.00%	-2.50%	-4.26%	-6.82%	-9.15%
Asentamiento (pulg)	0.00%	-2.50%	-7.50%	-12.50%	-22.50%
Contenido de aire (%)	0.00%	5.00%	15.00%	30.00%	55.00%
Temperatura (°C)	0.00%	0.55%	2.76%	4.42%	7.18%
Tiempo de fraguado inicial (min)	0.00%	9.84%	18.03%	22.59%	32.79%

Figura 34

Porcentaje en que se ven Afectadas las Propiedades del Concreto con Adición de Caucho Granular

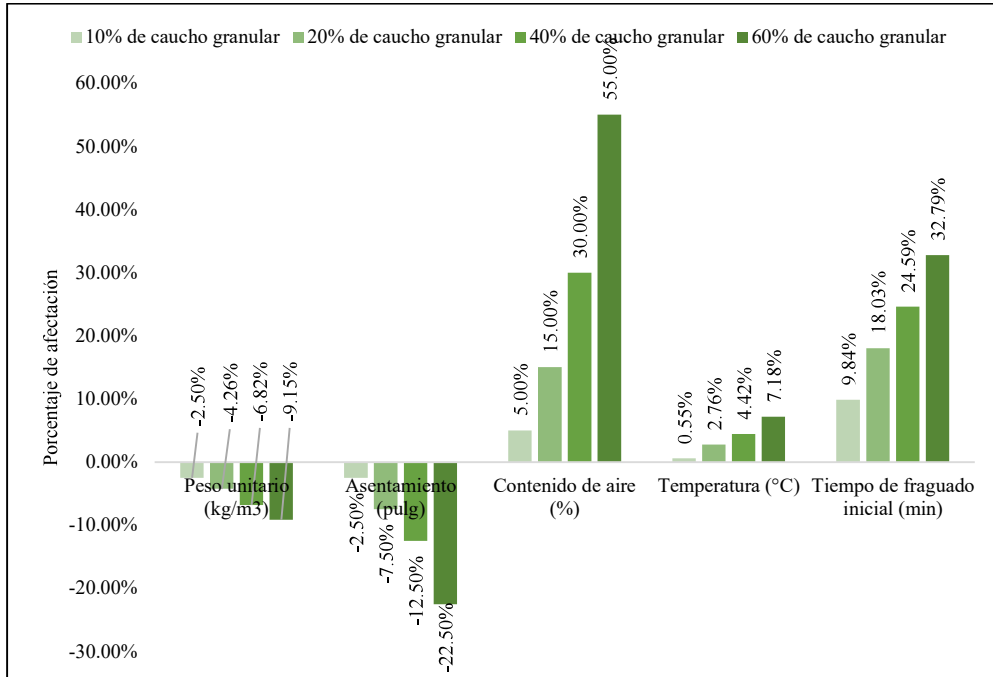


Figura 35

Peso Unitario (kg/m³) del Concreto con Caucho Granular

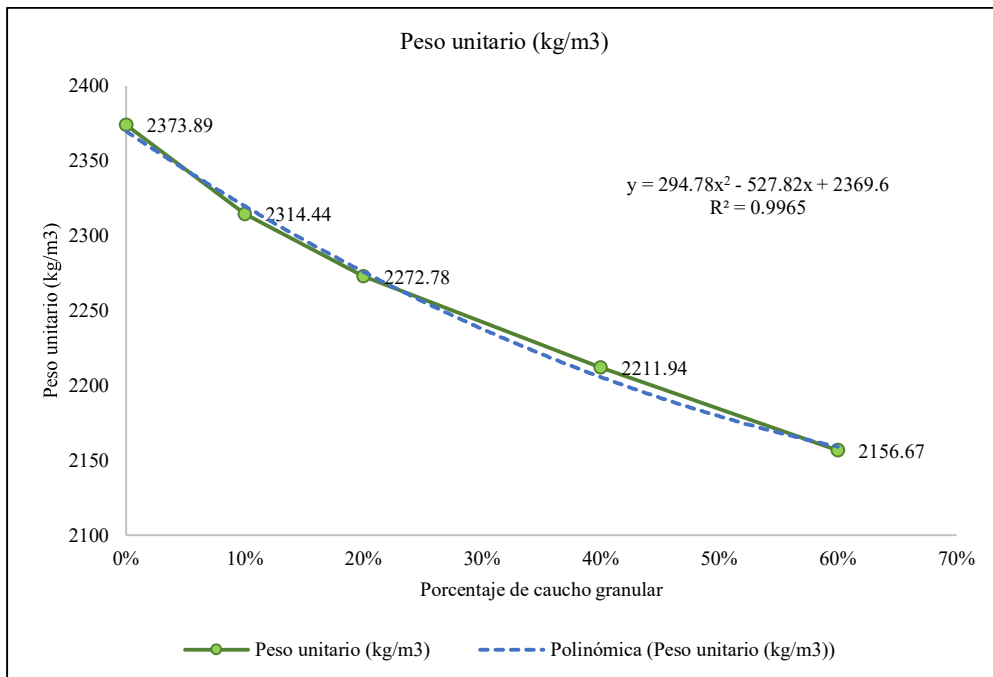


Figura 36

Asentamiento (pulg) del Concreto con Caucho Granular

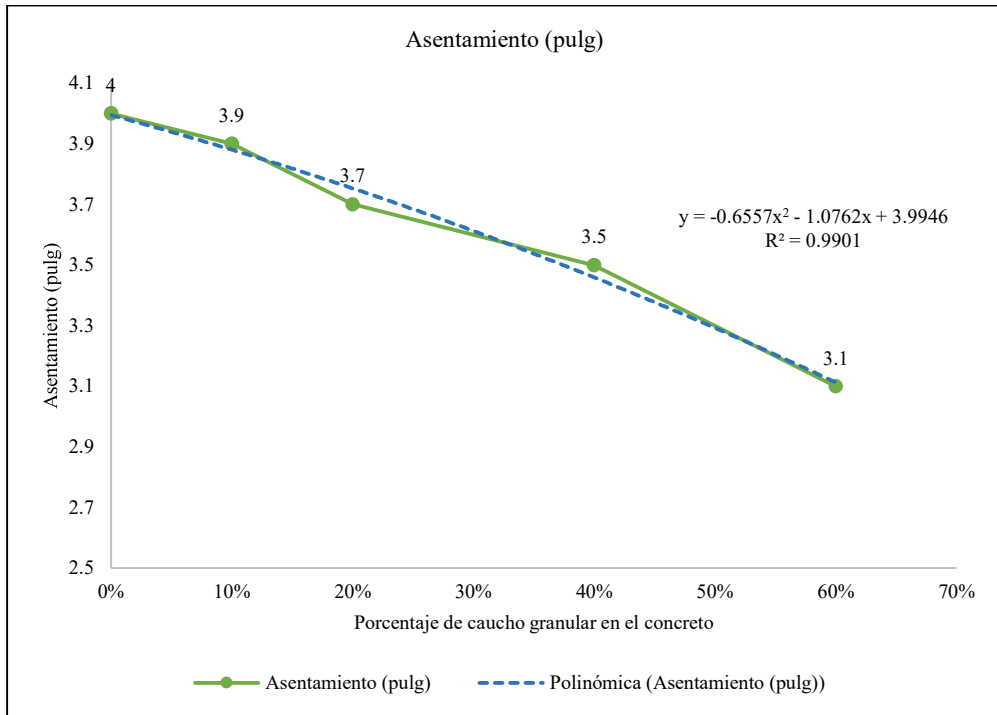


Figura 37

Contenido de Aire (%) del Concreto con Caucho Granular

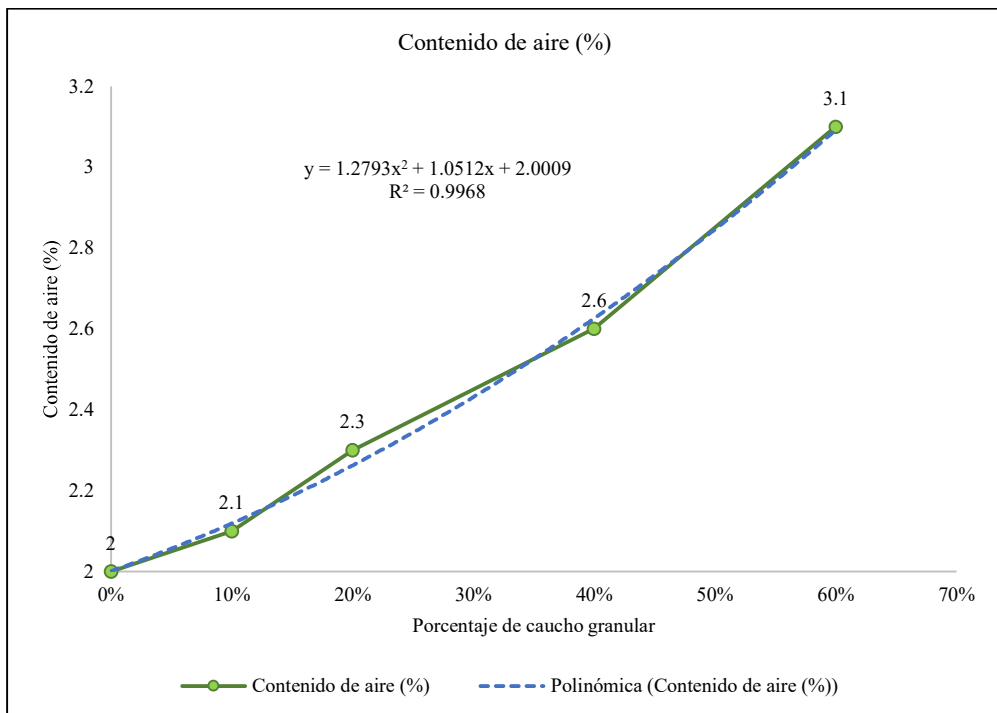


Figura 38

Temperatura (°C) del Concreto con Caucho Granular

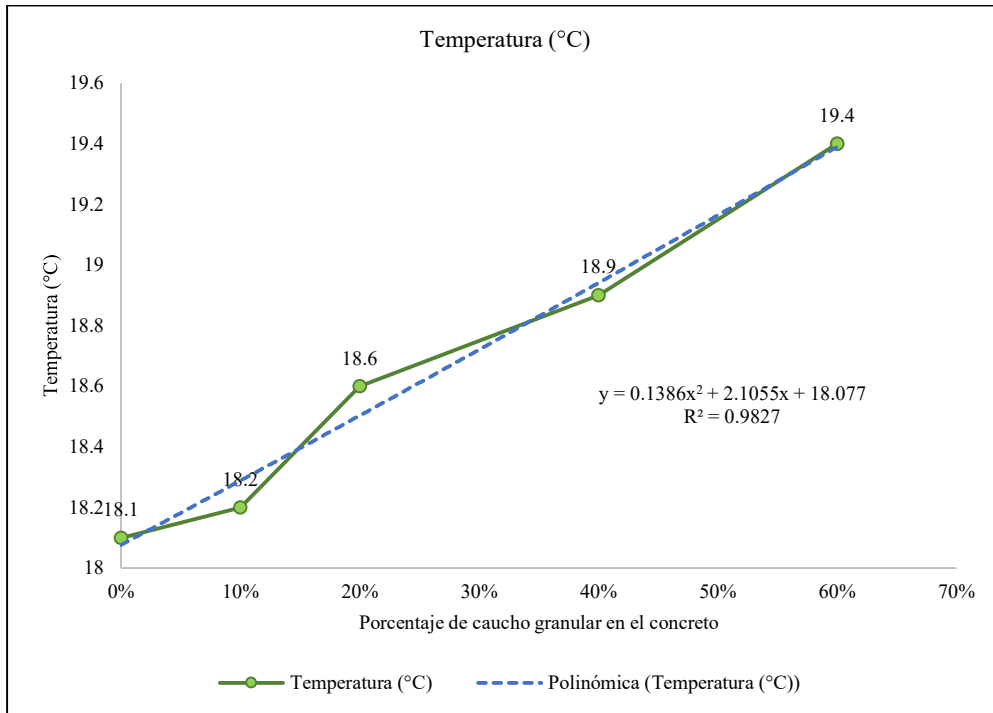
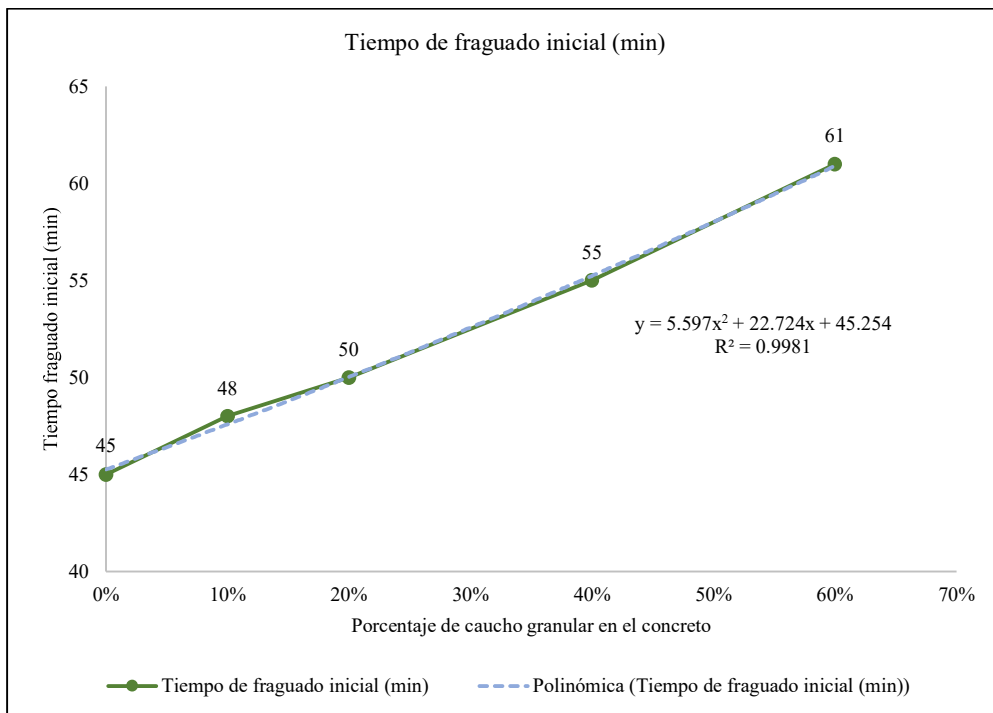


Figura 39

Tiempo de Fraguado inicial (min) del Concreto con Caucho Granular



4.1.3. Características físico mecánicas de los adoquines tipo I de concreto con adición de caucho granular reciclado

Los adoquines tipo I con 0% y 10% de caucho granular reciclado cumplen con los requisitos normativos, garantizando un equilibrio entre peso y resistencia mecánica. Sin embargo, porcentajes mayores al 10% generan limitaciones significativas en la absorción de agua y la resistencia, lo que compromete su uso en aplicaciones exigentes.

Tabla 17

Características Físico Mecánicas de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de Caucho Granular Reciclado

Propiedades físico mecánicas	Bloques de concreto de acuerdo al porcentaje de caucho granular					Requisitos de la NTP 399.611 (2017)
	0%	10%	20%	40%	60%	
Variación dimensional						
Longitud (mm)	0.25	0.25	0.25	0.75	0.50	Máx. ± 1.6 mm
Ancho (mm)	-0.63	0.75	-0.50	0.25	0.00	Máx. ± 1.6 mm
Alto (mm)	-0.50	-0.25	-1.25	-1.00	-1.25	Máx. ± 3.2 mm
Alabeo						
Convexo (mm)	0.13	0.50	0.50	0.50	0.25	Máx. 2 mm
Cóncavo (mm)	0.00	0.25	0.13	0.13	0.38	Máx. 2 mm
Absorción	5.47%	6.67%	7.73%	7.90%	8.23%	Máx. 7.5%
Peso unitario (kg/m ³)	2271.20	2185.54	2111.90	2055.77	1989.40	
Resistencia compresión						
7 días (kg/cm ²)	282.99	270.65	258.22	218.23	161.84	
14 días (kg/cm ²)	317.54	289.97	269.90	226.25	168.65	
28 días (kg/cm ²)	358.29	308.32	278.06	239.43	193.33	Mín. 290 kg/cm ²
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)	285,270.78	263,293.43	251,281.82	232,996.72	212,350.64	Mín. 257,143.73 kg/cm ²
Resistencia a flexión						
7 días (kg/cm ²)	98.72	83.94	75.75	72.56	65.65	
14 días (kg/cm ²)	112.27	95.74	78.54	76.88	72.18	
28 días (kg/cm ²)	120.55	109.11	90.58	85.68	76.83	

Las características de los adoquines tipo I con adición de caucho granular reciclado muestran diferencias importantes dependiendo del porcentaje incorporado, destacando que solo los adoquines con 0% y 10% de caucho cumplen con la NTP 399.611 (2017). En cuanto a la variación dimensional, todos los adoquines evaluados se encuentran dentro de los límites permitidos de ± 1.6 mm para longitud y ancho, y ± 3.2 mm para altura, lo que garantiza su compatibilidad en aplicaciones prácticas. Sin embargo, se observa un incremento leve en las variaciones de longitud y altura a medida que aumenta el caucho, atribuible a la dificultad en el moldeo de los adoquines debido a la textura y menor densidad del caucho granular. A pesar de estas variaciones, los resultados se mantienen dentro de los rangos aceptables, asegurando la funcionalidad y uniformidad de los adoquines. Respecto al alabeo, los resultados obtenidos muestran que todos los adoquines cumplen con el límite máximo de 2 mm en convexidad y concavidad. El mayor valor registrado fue de 0.50 mm en convexidad para los adoquines con adición de caucho, lo cual evidencia que la incorporación de este material no afecta significativamente la estabilidad superficial, permitiendo una instalación adecuada y una superficie uniforme.

La absorción de agua incrementa progresivamente con el contenido de caucho granular. Los adoquines con 0% y 10% de caucho presentan valores de 5.47% y 6.67%, respectivamente, cumpliendo con el límite normativo de 7.5% dado en la NTP 399.611 (2017). Sin embargo, las mezclas con 20%, 40% y 60% de caucho superan este umbral, alcanzando 7.73%, 7.90% y 8.23%, respectivamente. Este aumento en la absorción se debe a la naturaleza porosa del caucho, que introduce vacíos accesibles en la matriz de concreto. Aunque porcentajes bajos de caucho no comprometen la absorción, niveles superiores

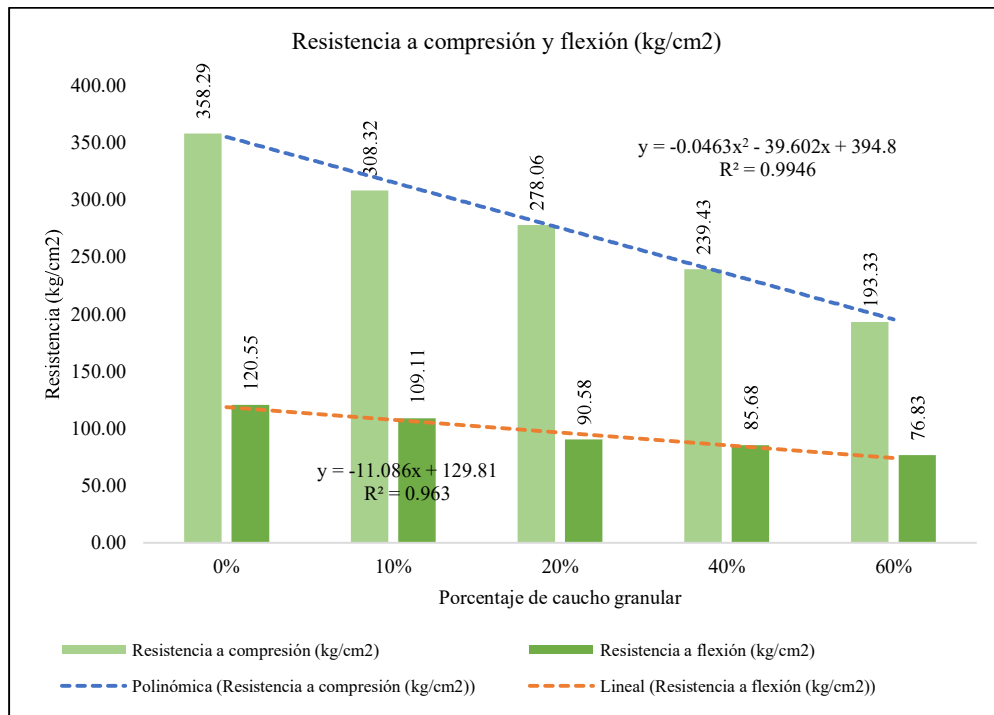
afectarían negativamente la resistencia de los adoquines en ambientes húmedos o bajo condiciones agresivas. Por otro lado, el peso unitario de los adoquines se reduce a mayor porcentaje de caucho, variando de 2271.20 kg/m³ en la mezcla sin caucho a 1989.40 kg/m³ en la mezcla con 60%. Así mismo, los adoquines con 10%, 20% y 40% caucho granular alcanzan 2185.54, 2111.90 y 2055.77 kg/m³, respectivamente. Esta reducción responde a la baja densidad del caucho granular en comparación con los agregados pétreos tradicionales, lo que da como resultado un material más ligero, esto facilita el transporte y la instalación de los adoquines en obra.

La resistencia a compresión de los adoquines también presenta una disminución progresiva conforme aumenta el contenido de caucho granular. A los 7 días, todos los adoquines, excepto aquellos con 60% de caucho, superan el 60% del $f'c$ de diseño (290 kg/cm²), equivalente a 174 kg/cm². A los 14 días, solo las mezclas con 40% y 60% de caucho no cumplen con el 90% del $f'c$ de diseño (290 kg/cm²), equivalente a 261 kg/cm², siendo así, los adoquines con 0%, 10%, 20%, 40% y 60% de caucho granular alcanzan resistencias a compresión de 317.54, 289.97, 269.90, 226.25 y 168.65 kg/cm², respectivamente. Finalmente, a los 28 días, únicamente las mezclas con 0% y 10% de caucho alcanzan o superan los 290 kg/cm² requeridos por la NTP 399.611 (2017), registrando valores de 358.29 y 308.32 kg/cm², respectivamente. Las mezclas con 20%, 40% y 60% de caucho presentan resistencias significativamente menores, alcanzando 278.06 kg/cm², 239.43 kg/cm² y 193.33 kg/cm², respectivamente. Este comportamiento refleja que la inclusión de caucho en proporciones superiores al 10% afecta de manera adversa la capacidad de los adoquines para resistir esfuerzos compresivos, limitando su uso en pavimentos peatonales.

En cuanto a la resistencia a flexión, todos los adoquines cumplen con el requisito técnico de que esta sea al menos el 10% de la resistencia a compresión de acuerdo a Marín-Urbe & Navarro-Gaete (2021). Sin embargo, se evidencia una reducción gradual en este parámetro conforme aumenta el contenido de caucho. A los 28 días, las resistencias registradas fueron de 120.55 kg/cm² para adoquines sin caucho, y de 109.11 kg/cm², 90.58 kg/cm², 85.68 kg/cm² y 76.83 kg/cm² para los adoquines con 10%, 20%, 40% y 60% de caucho, respectivamente. Estas disminuciones reflejan que, aunque la resistencia a flexión es proporcional a la resistencia a compresión, el incremento de caucho afecta la rigidez del material y su capacidad para resistir esfuerzos de tracción.

Figura 40

Resistencia a Compresión y Flexión de los Adoquines de Concreto Tipo I a los 28 días



4.1.3.1. Variación dimensional

La evaluación de la variación dimensional en los adoquines tipo I de concreto con diferentes porcentajes de caucho granular reciclado revela que todas las mezclas cumplen con la NTP 399.611 (2017). Según la norma, la variación permitida en longitud y ancho es de ± 1.6 mm, mientras que en altura no debe exceder ± 3.2 mm. Los valores observados, tanto para longitud (0.25 a 0.75 mm) como para ancho (-0.63 a 0.75 mm) y altura (-1.25 a -0.25 mm), se encuentran dentro de estos rangos aceptables.

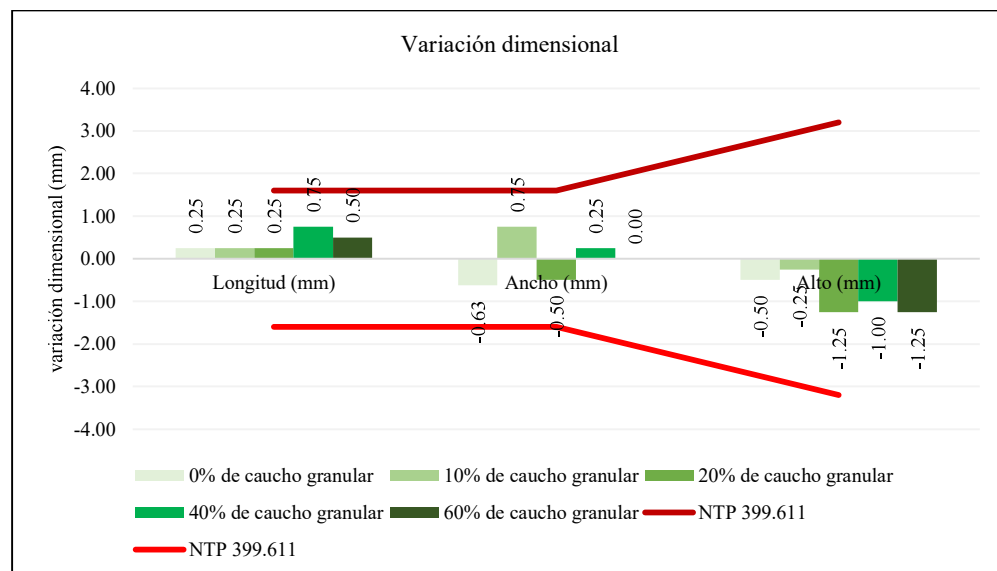
Tabla 18

Variación Dimensional de los Adoquines con Caucho Granular Reciclado

Variación dimensional	Bloques de acuerdo al porcentaje de caucho granular					NTP 399.611	
	0%	10%	20%	40%	60%	Límite inferior	Límite superior
Longitud (mm)	0.25	0.25	0.25	0.75	0.50	-1.6	1.6
Ancho (mm)	-0.63	0.75	-0.50	0.25	0.00	-1.6	1.6
Alto (mm)	-0.50	-0.25	-1.25	-1.00	-1.25	-3.2	3.2

Figura 41

Variación Dimensional de los Adoquines con Caucho Granular Reciclado



Estos resultados son indicativos de un control dimensional adecuado durante el proceso de elaboración de los adoquines tipo I, independientemente de la proporción de caucho utilizado. La capacidad de mantener las dimensiones dentro de los límites establecidos garantiza que los adoquines serán funcionales y podrán instalarse sin problemas en los patrones requeridos para pavimentos, incluso con adición de caucho.

4.1.3.2. Alabeo

El alabeo, propiedad que mide la planicidad de los adoquines, también se encuentra dentro de los valores aceptables según la NTP 399.611 (2017), que permite un máximo de 2 mm tanto para deformaciones convexas como cóncavas. Los valores observados van desde 0.00 mm (cóncavo) hasta 0.50 mm (convexo), indicando que los adoquines tienen una excelente estabilidad superficial incluso al aumentar la cantidad de caucho granular reciclado.

Este comportamiento sugiere que el caucho, pese a ser un material de baja densidad y mayor elasticidad que los agregados pétreos, no afecta significativamente la estabilidad dimensional del producto final. Esto es especialmente relevante para garantizar que los adoquines conserven un contacto adecuado entre piezas, reduciendo la formación de irregularidades en la superficie del pavimento.

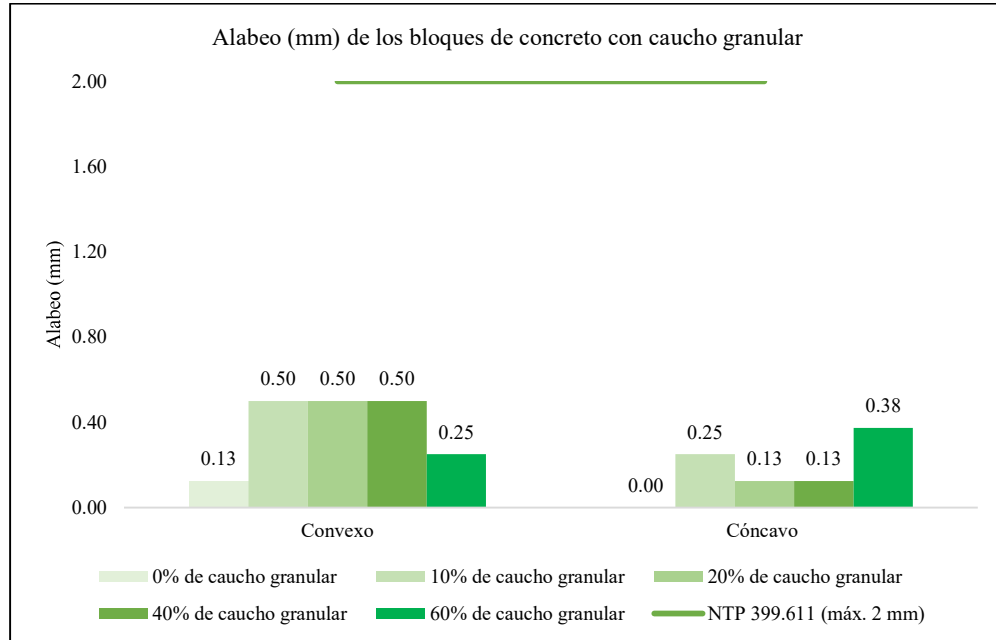
Tabla 19

Alabeo de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de Caucho Granular Reciclado

Alabeo promedio (mm)	Bloques de acuerdo al porcentaje de caucho granular					NTP 399.611
	0%	10%	20%	40%	60%	
Convexo	0.13	0.50	0.50	0.50	0.25	2.00
Cóncavo	0.00	0.25	0.13	0.13	0.38	2.00

Figura 42

Alabeo de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de Caucho Granular Reciclado



4.1.3.3. Absorción

La absorción de agua, propiedad que afecta la durabilidad de los adoquines en entornos húmedos, muestra un incremento progresivo conforme aumenta el porcentaje de caucho granular en la mezcla de concreto utilizada para la producción de los adoquines de concreto tipo I. Según la norma NTP 399.611 (2017), la absorción máxima permitida es del 7.5%, límite que los adoquines con 20% o más de caucho superan (7.73% a 8.23%).

En promedio los adoquines con 0%, 10%, 20%, 40% y 60% de caucho granular alcanzan respectivamente absorciones de 5.47%, 6.67%, 7.73%, 7.90% y 8.23%, por tanto, solamente los adoquines con 0% y 10% de caucho granular cumplen con la NTP 399.611 (2017), mientras que, los otros porcentajes superan el rango de absorción, lo que significa que son menos resistentes a entornos húmedos y no se pueden utilizar en pavimentos urbanos.

Este comportamiento se debe a la textura irregular del caucho granular, que introduce vacíos accesibles en la mezcla, aumentando la porosidad del material, por lo que, cantidades excesivas pueden comprometer la resistencia a ciclos de congelamiento y deshielo, así como la resistencia a la penetración de agentes agresivos como sulfatos o cloruros. Por lo tanto, es fundamental limitar la proporción de caucho en mezclas destinadas a ambientes húmedos o expuestos.

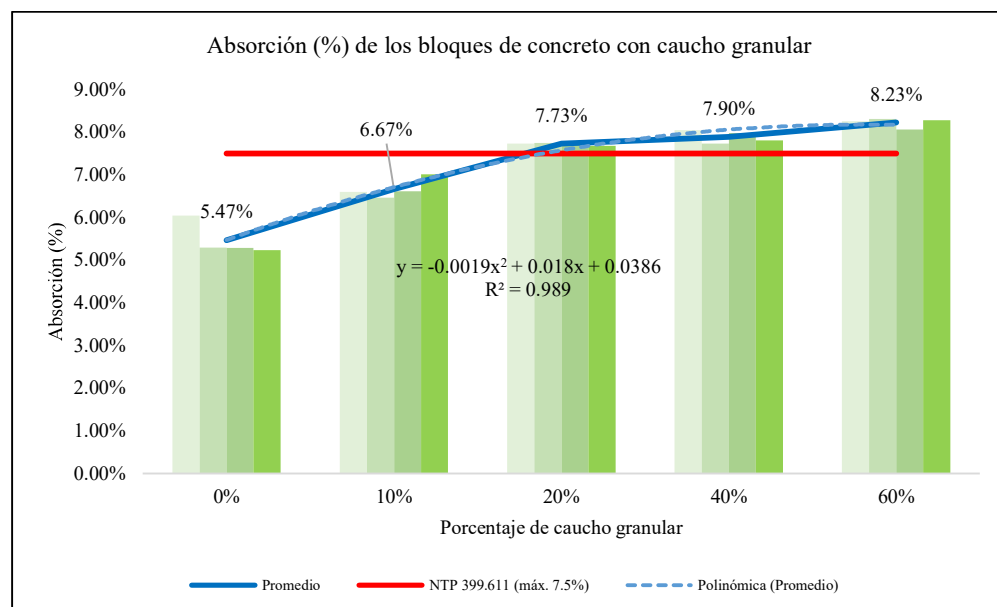
Tabla 20

Absorción de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de Caucho Granular Reciclado

Absorción (%)	Bloques con caucho granular				
	0%	10%	20%	40%	60%
1	6.04%	6.60%	7.73%	8.05%	8.26%
2	5.30%	6.47%	7.75%	7.74%	8.31%
3	5.29%	6.62%	7.75%	7.99%	8.07%
4	5.24%	7.01%	7.68%	7.81%	8.28%
Promedio	5.47%	6.67%	7.73%	7.90%	8.23%

Figura 43

Absorción de los Adoquines con Caucho Granular Reciclado



4.1.3.4. Peso unitario

El peso unitario de los adoquines disminuye de manera consistente con la adición de caucho granular reciclado, pasando de 2271.20 kg/m³ en adoquines sin caucho a 1989.40 kg/m³ en aquellos con un 60%. Esta reducción es un efecto directo de la baja densidad del caucho en comparación con los agregados pétreos tradicionales, lo que resulta en un producto más ligero.

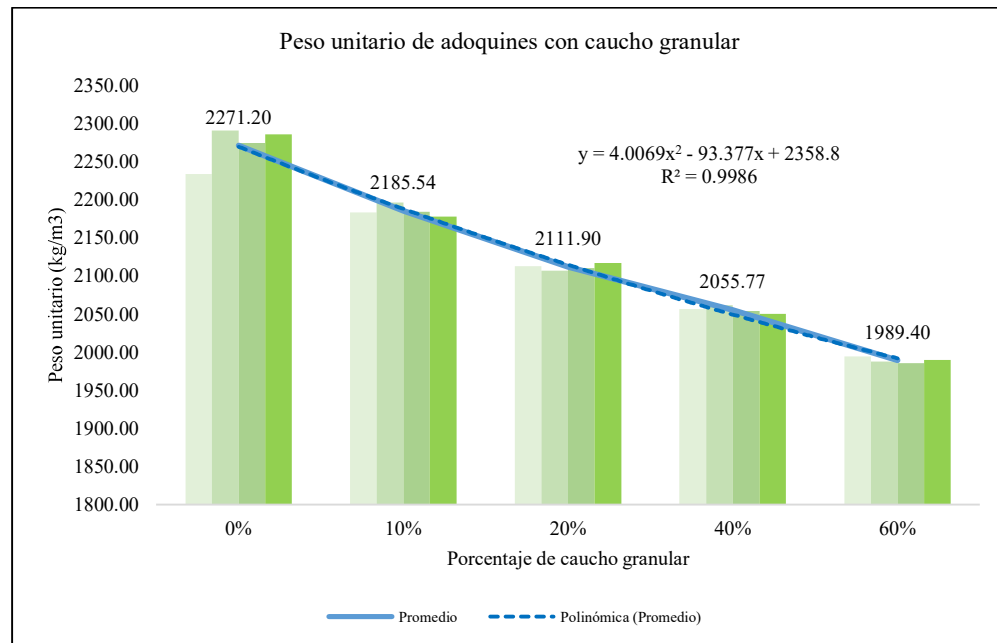
Tabla 21

Peso Unitario de los Adoquines con Adición de Caucho Granular Reciclado

Peso unitario (kg/cm3)	Bloques con caucho granular				
	0%	10%	20%	40%	60%
1	2233.75	2183.52	2112.81	2056.95	1994.31
2	2290.93	2196.52	2107.09	2061.56	1987.49
3	2274.28	2184.11	2110.59	2054.02	1985.63
4	2285.83	2177.99	2117.10	2050.56	1990.18
Promedio	2271.20	2185.54	2111.90	2055.77	1989.40

Figura 44

Peso Unitario de los Adoquines con Caucho Granular Reciclado



4.1.3.5. Resistencia a compresión

La resistencia a compresión de los adoquines tipo I disminuye significativamente con la adición de caucho granular. A los 28 días, los adoquines con 20% o más de caucho no cumplen con el requisito normativo de 290 kg/cm², alcanzando valores de 278.06 kg/cm² (20%), 239.43 kg/cm² (40%) y 193.33 kg/cm² (60%), siendo así, solamente los adoquines sin caucho granular (358.285 kg/cm²) y con 10% de caucho granular (308.32 kg/cm²) superan la capacidad mecánica a compresión dada en la NTP 399.611 (2017). Además, la resistencia a compresión en edades tempranas también se ve comprometida. Según la norma, a los 14 días, los adoquines deben alcanzar al menos el 90% del f^c de diseño (261 kg/cm²), pero las mezclas con 40% y 60% de caucho no cumplen con este criterio, alcanzando respectivamente 226.25 y 168.65 kg/cm², mientras que, las otras dosificaciones alcanzan 317.54 kg/cm² (0%), 289.97 kg/cm² (10%) y 269.90 kg/cm² (20%). A los 7 días, el límite de 60% del f^c de diseño (174 kg/cm²) solo no es superado por la mezcla con 60% de caucho granular que, alcanza 161.84 kg/cm², las otras mezclas alcanzan resistencias a compresión de 282.99, 270.65, 258.22 y 218.23 kg/cm² para adoquines de concreto con 0%, 10%, 20% y 40% de caucho granular, respectivamente, lo que, significa que, la resistencia de los adoquines disminuye a mayor porcentaje de caucho granular en la mezcla de concreto. Estos resultados indican que, aunque la adición de caucho mejora ciertas propiedades como el peso, su impacto en la resistencia a compresión limita su uso en aplicaciones que requieren altos niveles de carga, siendo posible utilizar únicamente los adoquines tipo I con 10% de caucho granular.

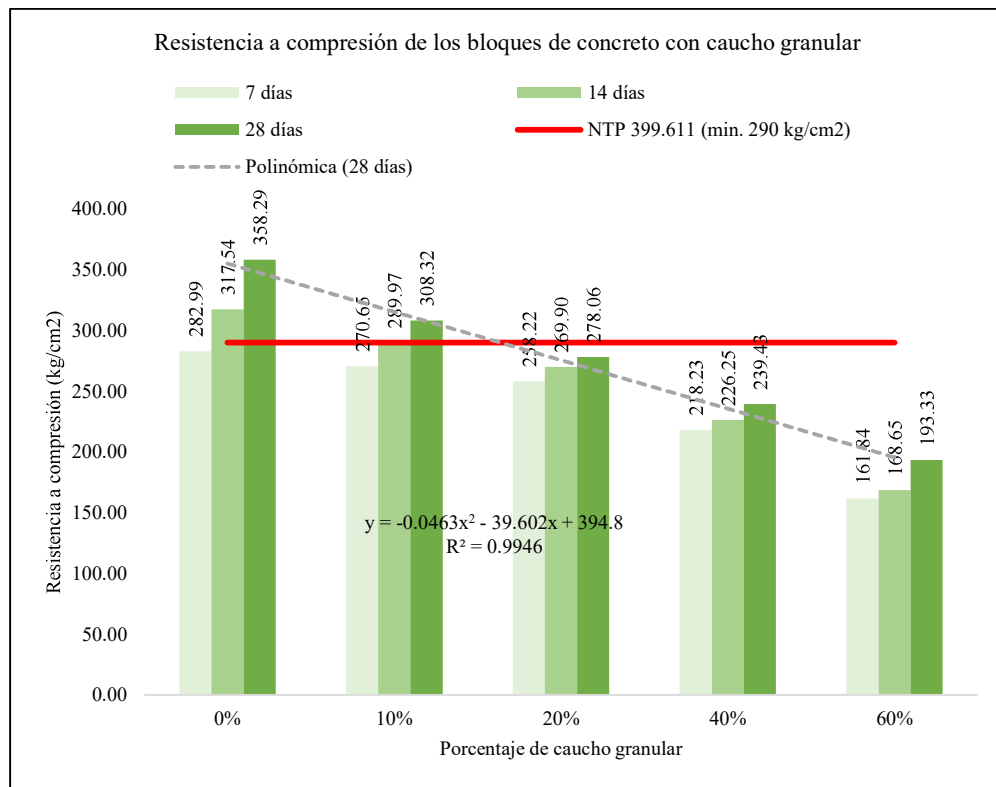
Tabla 22

Resistencia a Compresión de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de Caucho Granular Reciclado

Resistencia a compresión (kg/cm2)	Bloques con caucho granular				
	0%	10%	20%	40%	60%
7 días	282.99	270.65	258.22	218.23	161.84
14 días	317.54	289.97	269.90	226.25	168.65
28 días	358.29	308.32	278.06	239.43	193.33

Figura 45

Resistencia a Compresión de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de Caucho Granular Reciclado



Nota: La ecuación de regresión representa la variación de la resistencia a compresión de los adoquines de concreto Tipo I de acuerdo al porcentaje de caucho granular en la mezcla de concreto a los 28 días de curado.

a) Adoquines de concreto sin caucho granular

En los adoquines sin caucho, la resistencia a compresión promedio a los 7, 14 y 28 días fue de 282.99 kg/cm², 317.54 kg/cm² y 358.29 kg/cm², lo que representa, respectivamente el 97.58%, 109.50% y 123.55% del f'c esperado. Estos valores cumplen con la NTP 399.611 (2017), que estipula un mínimo de 290 kg/cm² a los 28 días. El coeficiente de variación (C.V.) para esta mezcla fue consistentemente bajo, con valores de 3.75%, 2.52% y 2.21%, lo que refleja una alta homogeneidad en los resultados.

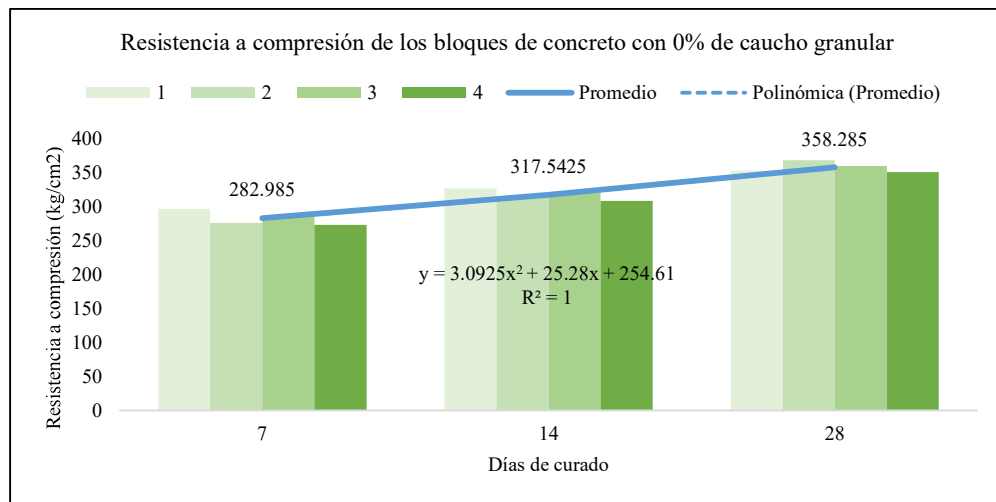
Tabla 23

Resistencia a Compresión de los Adoquines con 0% de Caucho Granular

Adoquines con 0% de caucho granular	Resistencia (kg/cm ²) según tiempo de curado (días)		
	7	14	28
1	296.87	327.04	353.08
2	276.23	313.64	368.63
3	285.51	320.7	360.24
4	273.33	308.79	351.19
Promedio	282.985	317.5425	358.285
D.E.	10.61	8.00	7.92
C.V. (%)	3.75	2.52	2.21

Figura 46

Resistencia a Compresión de los Adoquines con 0% de Caucho Granular



b) Adoquines de concreto con 10% de caucho granular

En los adoquines con 10% de caucho granular, la resistencia a compresión promedio también cumple con los requisitos normativos, registrando valores de 270.65 kg/cm² a los 7 días, 289.97 kg/cm² a los 14 días y 308.32 kg/cm² a los 28 días. Aunque ligeramente inferior a la mezcla sin caucho, la resistencia sigue siendo adecuada para aplicaciones convencionales. Los coeficientes de variación se mantuvieron bajos (1.04%, 3.62% y 1.54%), indicando buena uniformidad.

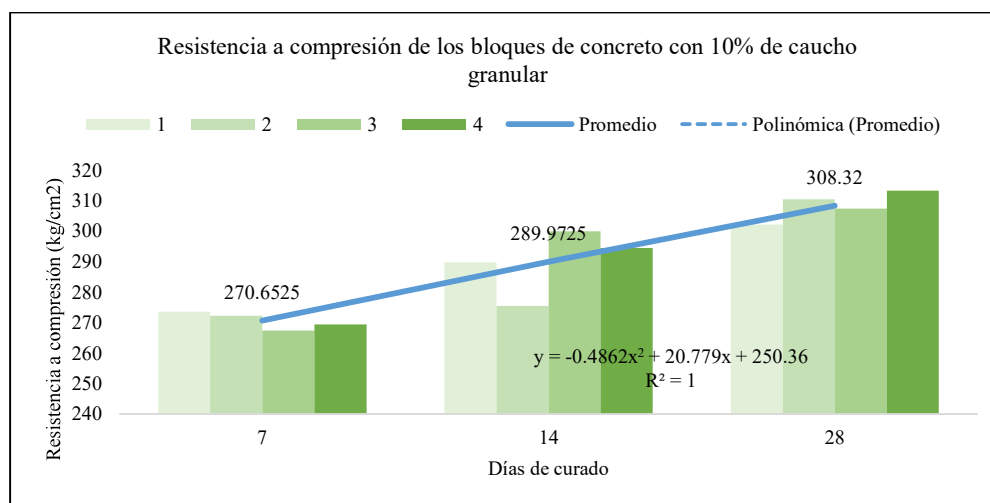
Tabla 24

Resistencia a Compresión de los Adoquines con 10% de Caucho Granular

Adoquines con 10% de caucho granular	Resistencia (kg/cm ²) según tiempo de curado (días)		
	7	14	28
1	273.63	289.83	302.14
2	272.18	275.52	310.45
3	267.35	300	307.45
4	269.45	294.54	313.24
Promedio	270.653	289.9725	308.32
D.E.	2.80	10.49	4.75
C.V. (%)	1.04	3.62	1.54

Figura 47

Resistencia a Compresión de los Adoquines con 10% de Caucho Granular



c) Adoquines de concreto con 20% de caucho granular

En la mezcla con 20%, los valores promedio fueron de 258.22 kg/cm², 269.90 kg/cm² y 278.06 kg/cm² a los 7, 14 y 28 días, respectivamente. Aunque la resistencia a los 7 días supera el 60% del f_c de diseño (174 kg/cm²) ya los 14 días cumple con el 90% del f_c (261 kg/cm²), a los 28 días no alcanza el mínimo requerido de 290 kg/cm². El coeficiente de variación fue bajo (4.11%, 2.19% y 1.21%), demostrando estabilidad en los resultados.

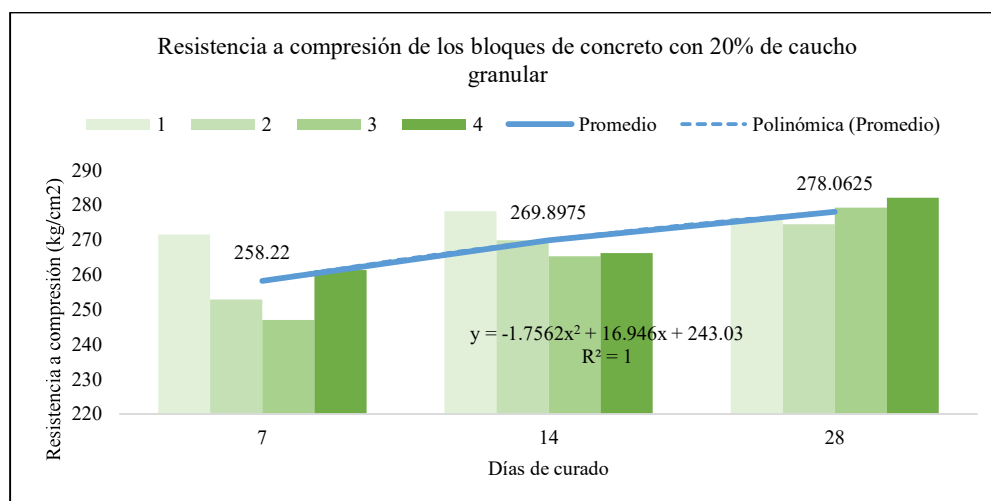
Tabla 25

Resistencia a Compresión de los Adoquines con 20% de Caucho Granular

Adoquines con 20% de caucho granular	Resistencia (kg/cm ²) según tiempo de curado (días)		
	7	14	28
1	271.51	278.24	276.41
2	252.93	269.84	274.45
3	247.09	265.3	279.25
4	261.35	266.21	282.14
Promedio	258.22	269.8975	278.0625
D.E.	10.62	5.90	3.36
C.V. (%)	4.11	2.19	1.21

Figura 48

Resistencia a Compresión de los Adoquines con 20% de Caucho Granular



d) Adoquines de concreto con 40% de caucho granular

En los adoquines con 40% de caucho, la resistencia a compresión disminuye aún más, alcanzando valores promedio de 218.23 kg/cm² a los 7 días, 226.25 kg/cm² a los 14 días y 239.43 kg/cm² a los 28 días, incumpliendo los estándares normativos en todas las edades. Los coeficientes de variación para esta mezcla también fueron bajos (1.82%, 2.87% y 1.13%), lo que indica uniformidad en los resultados pese al bajo desempeño.

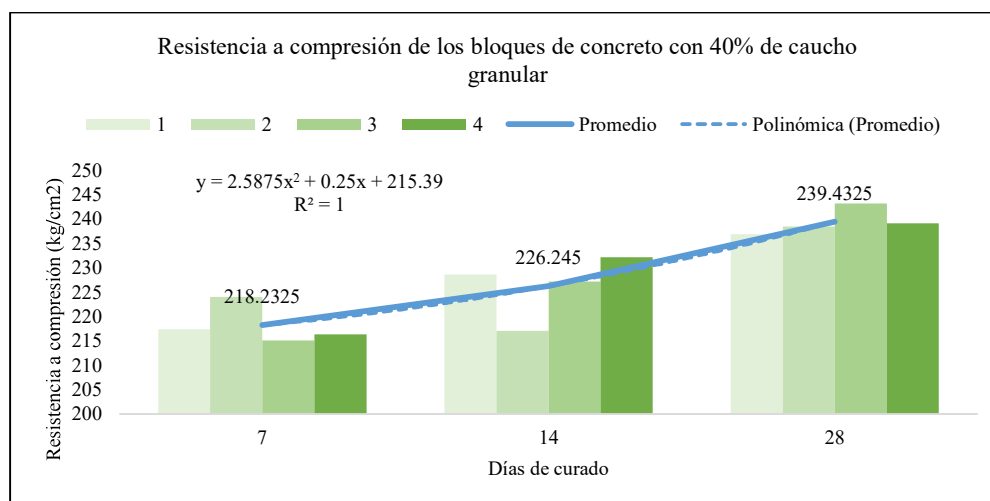
Tabla 26

Resistencia a Compresión de los Adoquines con 40% de Caucho Granular

Adoquines con 40% de caucho granular	Resistencia (kg/cm ²) según tiempo de curado (días)		
	7	14	28
1	217.45	228.66	236.88
2	224	217.02	238.45
3	215.12	227.16	243.24
4	216.36	232.14	239.16
Promedio	218.233	226.245	239.4325
D.E.	3.96	6.49	2.71
C.V. (%)	1.82	2.87	1.13

Figura 49

Resistencia a Compresión de los Adoquines con 40% de Caucho Granular



e) Adoquines de concreto con 60% de caucho granular

La mezcla con 60% de caucho presentó los valores más bajos de resistencia a compresión, registrando 161.84 kg/cm² a los 7 días, 168.65 kg/cm² a los 14 días y 193.33 kg/cm² a los 28 días. Estos valores no cumplen con ningún requisito normativo de resistencia a compresión. Los coeficientes de variación fueron ligeramente mayores que en otras mezclas (4.38%, 2.39% y 1.76%), aunque se mantuvieron dentro de los límites aceptables.

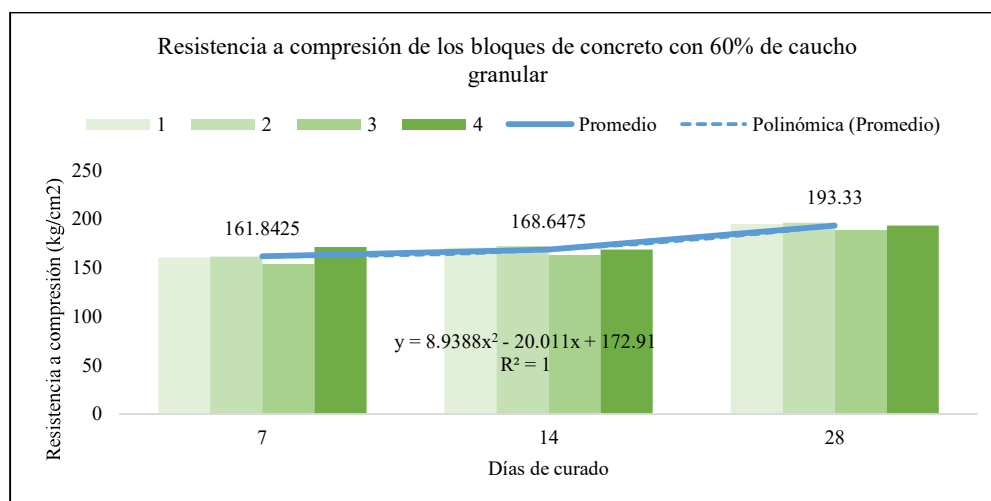
Tabla 27

Resistencia a Compresión de los Adoquines con 60% de Caucho Granular

Adoquines con 60% de caucho granular	Resistencia (kg/cm ²) según tiempo de curado (días)		
	7	14	28
1	160.5	170.62	195.14
2	161.49	172.35	196.27
3	154.11	163.06	188.55
4	171.27	168.56	193.36
Promedio	161.843	168.6475	193.33
D.E.	7.09	4.03	3.40
C.V. (%)	4.38	2.39	1.76

Figura 50

Resistencia a Compresión de los Adoquines con 60% de Caucho Granular



4.1.3.6. Módulo de elasticidad (MOE)

Los resultados del MOE de los adoquines tipo I de concreto con adición de caucho granular reciclado muestran una tendencia decreciente conforme se incrementa el porcentaje de caucho en la mezcla. La reducción del módulo de elasticidad con el aumento del contenido de caucho se debe a la menor densidad y elasticidad inherente del caucho en comparación con los agregados pétreos convencionales. Este comportamiento implica que, aunque el caucho granular puede mejorar ciertas propiedades como la absorción de impactos y la reducción del peso unitario, compromete la capacidad de los adoquines para resistir deformaciones bajo carga. Por lo tanto, solo los adoquines con 0% y 10% de caucho cumplen con el valor de referencia para el módulo de elasticidad, mientras que los que contienen 20% o más presentan una reducción significativa, lo que puede afectar su desempeño estructural en pavimentos peatonales.

Tabla 28

Esfuerzo máximo-deformación unitaria, Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 0% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 1

Nº	Carga máxima (Kg-f) P	Deformación ΔD (mm)	Deformación unitaria ($\Delta D/D$)	Esfuerzo máximo (Kg/cm ²)
1	0	0	0	0
2	10197.00	0.39	0.0064	51.24
3	20394.00	0.57	0.0093	102.48
4	30591.00	0.71	0.0116	153.72
5	40788.00	0.84	0.0138	204.96
6	50985.00	0.97	0.0159	256.21
7	61182.00	1.11	0.0182	307.45
8	70617.14	1.29	0.0211	354.86
9	68622.12	1.4	0.0230	344.83

Figura 51

Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 0% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 1

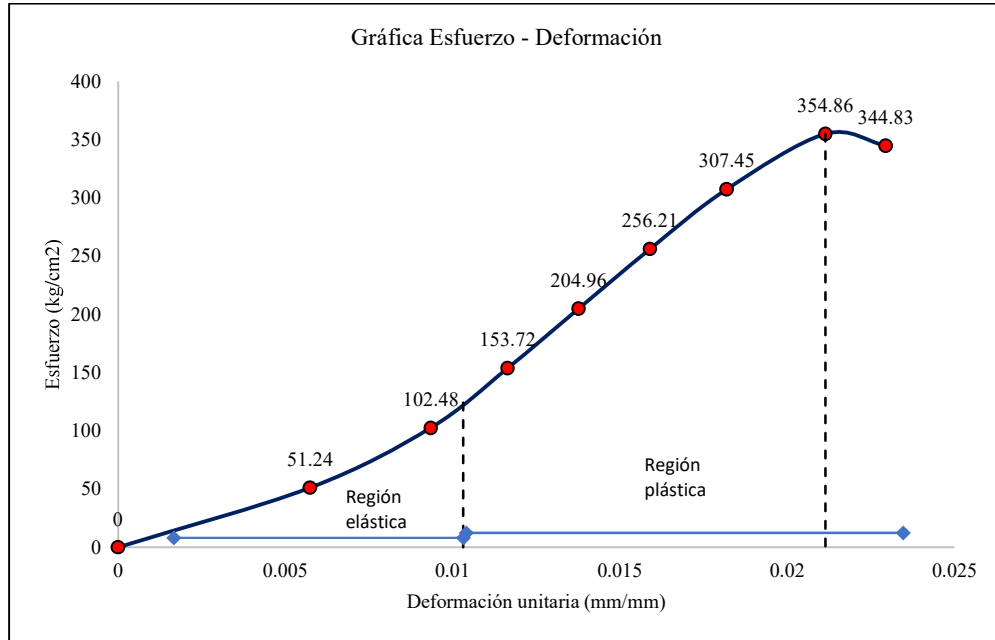


Tabla 29

Esfuerzo máximo-deformación unitaria, Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 0% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 2

N°	Carga máxima (Kg-f) P	Deformación ΔD (mm)	Deformación unitaria ($\Delta D/D$)	Esfuerzo máximo (Kg/cm ²)
1	0	0	0	0
2	10197.00	0.4	0.0067	50.73
3	20394.00	0.57	0.0095	101.47
4	30591.00	0.7	0.0117	152.20
5	40788.00	0.82	0.0137	202.94
6	50985.00	0.95	0.0158	253.67
7	61182.00	1.08	0.0180	304.40
8	74090.94	1.30	0.0217	368.63
9	72095.92	1.39	0.0232	358.70

Figura 52

Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 0% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 2

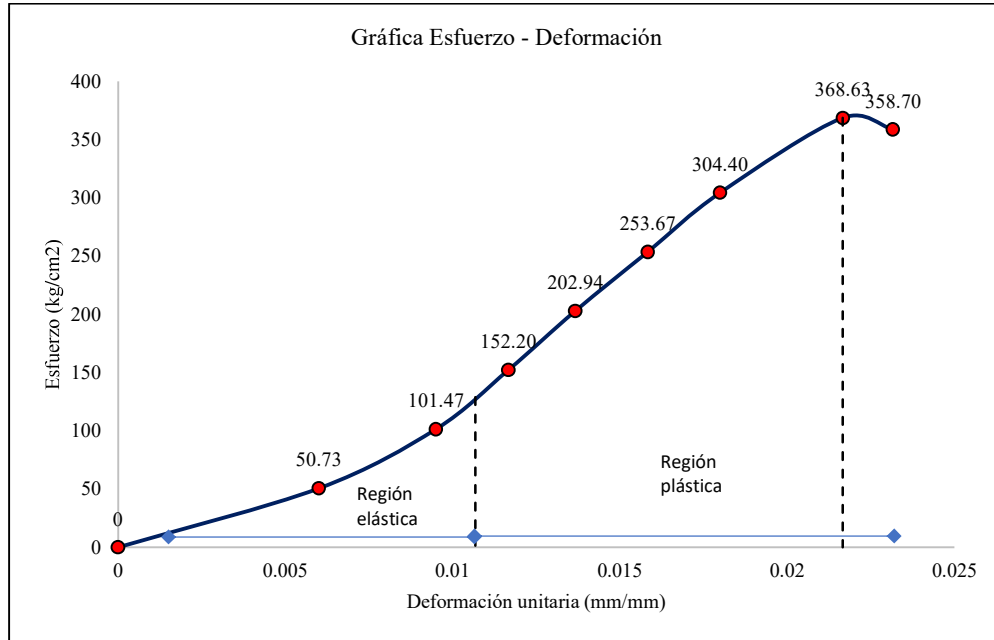


Tabla 30

Esfuerzo máximo-deformación unitaria, Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 0% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 3

N°	Carga máxima (Kg-f) P	Deformación ΔD (mm)	Deformación unitaria (ΔD/D)	Esfuerzo máximo (Kg/cm ²)
1	0	0	0	0
2	10197.00	0.38	0.0062	50.99
3	20394.00	0.55	0.0090	101.97
4	30591.00	0.69	0.0113	152.96
5	40788.00	0.82	0.0134	203.94
6	50985.00	0.94	0.0154	254.93
7	61182.00	1.08	0.0177	305.91
8	72048.00	1.28	0.0210	360.24
9	69052.98	1.4	0.0230	345.26

Figura 53

Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 0% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 3

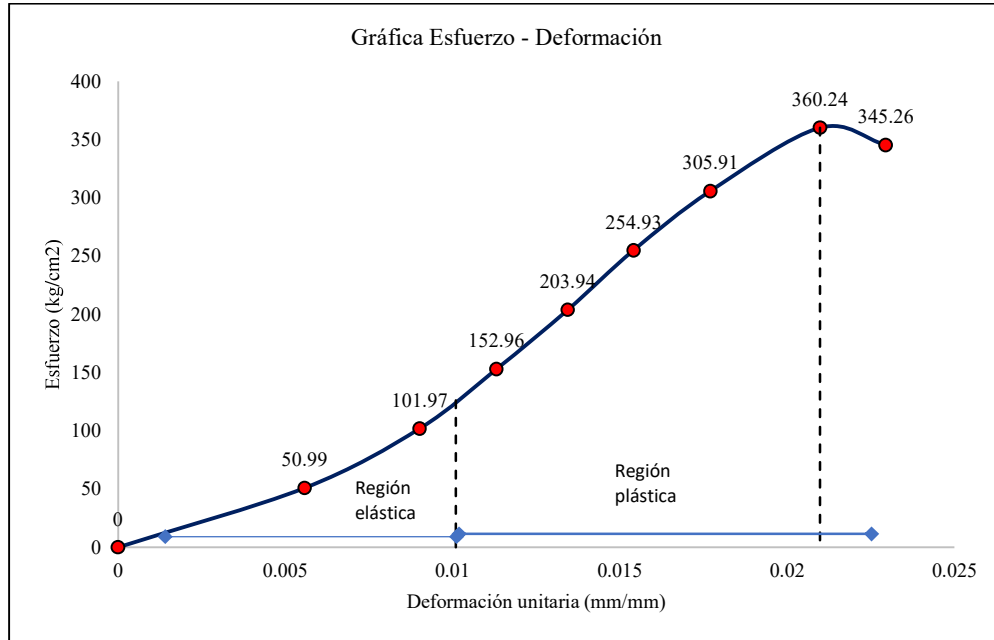


Tabla 31

Esfuerzo máximo-deformación unitaria, Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 0% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 4

Nº	Carga máxima (Kg-f) P	Deformación ΔD (mm)	Deformación unitaria ($\Delta D/D$)	Esfuerzo máximo (Kg/cm ²)
1	0	0	0	0
2	10197.00	0.41	0.0068	47.01
3	20394.00	0.57	0.0095	94.02
4	30591.00	0.71	0.0118	141.03
5	40788.00	0.84	0.0140	188.04
6	50985.00	0.96	0.0160	235.05
7	61182.00	1.07	0.0178	282.06
8	76176.62	1.28	0.0213	351.19
9	73181.60	1.44	0.0240	337.38

Figura 54

Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 0% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 4

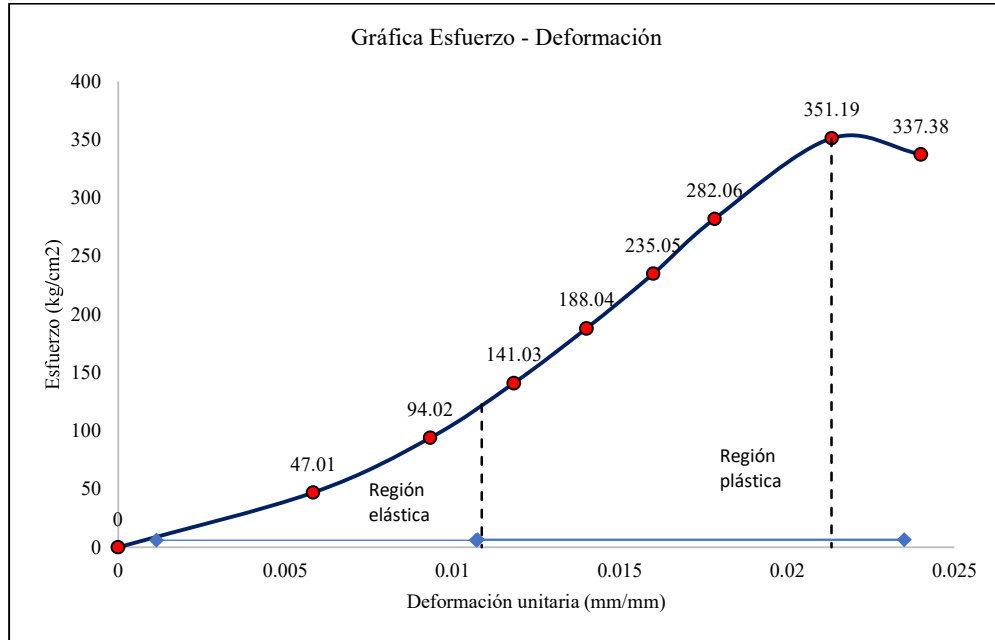


Figura 55

Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 0% de Caucho Granular Reciclado, Resumen de Probetas

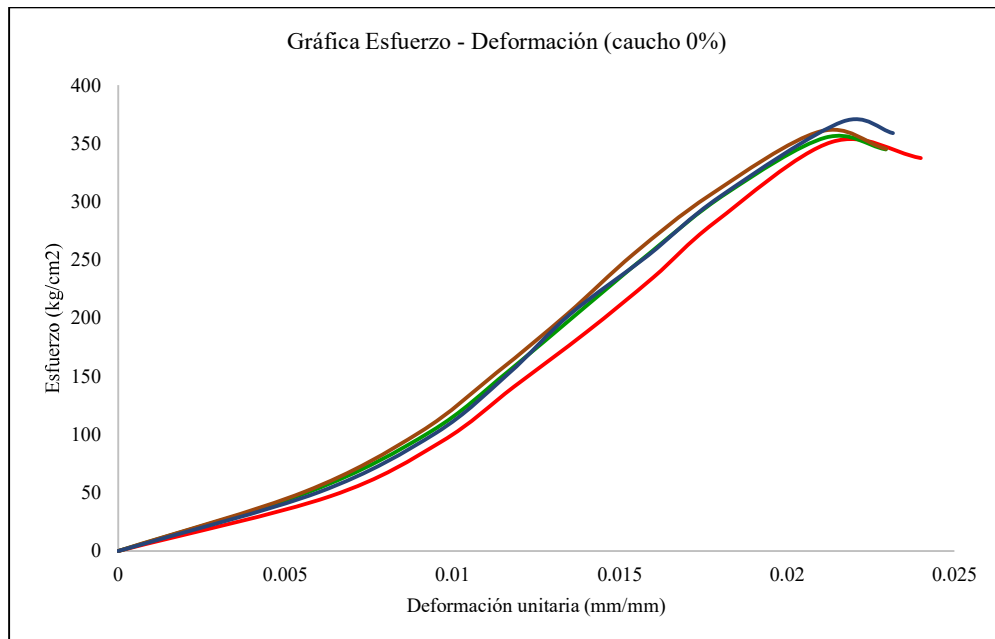


Tabla 32

Esfuerzo máximo-deformación unitaria, Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 10% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 1

Nº	Carga máxima (Kg-f) P	Deformación ΔD (mm)	Deformación unitaria ($\Delta D/D$)	Esfuerzo máximo (Kg/cm ²)
1	0	0	0	0
2	10197.00	0.51	0.0084	51.50
3	20394.00	0.7	0.0115	103.00
4	30591.00	0.86	0.0141	154.50
5	40788.00	1.02	0.0167	206.00
6	50985.00	1.19	0.0195	257.50
7	59823.72	1.35	0.0221	302.14
8	55828.70	1.44	0.0236	281.96

Figura 56

Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 10% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 1

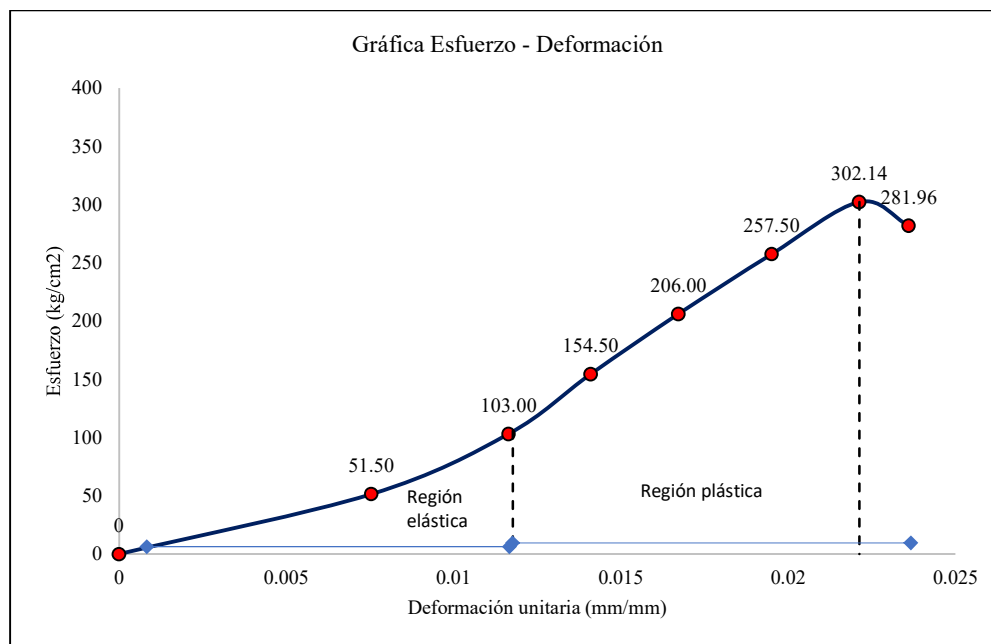


Tabla 33

Esfuerzo máximo-deformación unitaria, Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 10% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 2

Nº	Carga máxima (Kg-f) P	Deformación ΔD (mm)	Deformación unitaria ($\Delta D/D$)	Esfuerzo máximo (Kg/cm ²)
1	0	0	0	0
2	10197.00	0.43	0.0069	50.63
3	20394.00	0.65	0.0105	101.26
4	30591.00	0.83	0.0134	151.89
5	40788.00	0.99	0.0160	202.52
6	50985.00	1.15	0.0185	253.15
7	62524.63	1.33	0.02145	310.45
8	58529.61	1.48	0.0239	290.61

Figura 57

Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 10% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 2

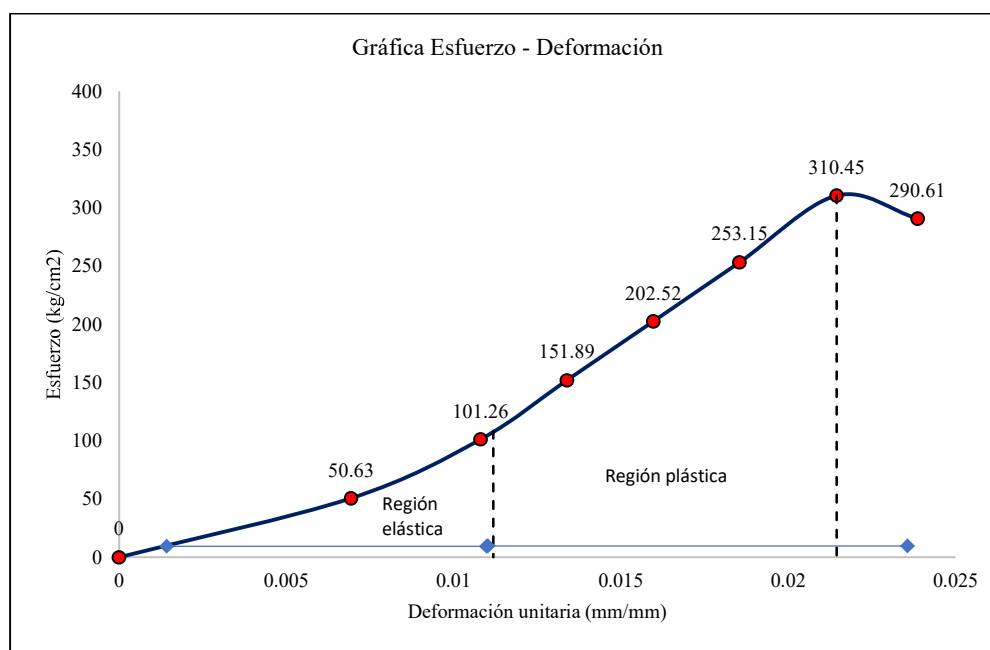


Tabla 34

Esfuerzo máximo-deformación unitaria, Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 10% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 3

N°	Carga máxima (Kg-f) P	Deformación ΔD (mm)	Deformación unitaria ($\Delta D/D$)	Esfuerzo máximo (Kg/cm ²)
1	0	0	0	0
2	10197.00	0.44	0.0075	50.24
3	20394.00	0.66	0.0112	100.47
4	30591.00	0.83	0.0141	150.71
5	40788.00	1.00	0.0169	200.95
6	50985.00	1.16	0.0197	251.18
7	62406.20	1.34	0.0227	307.45
8	60411.18	1.46	0.0247	297.62

Figura 58

Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 10% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 3

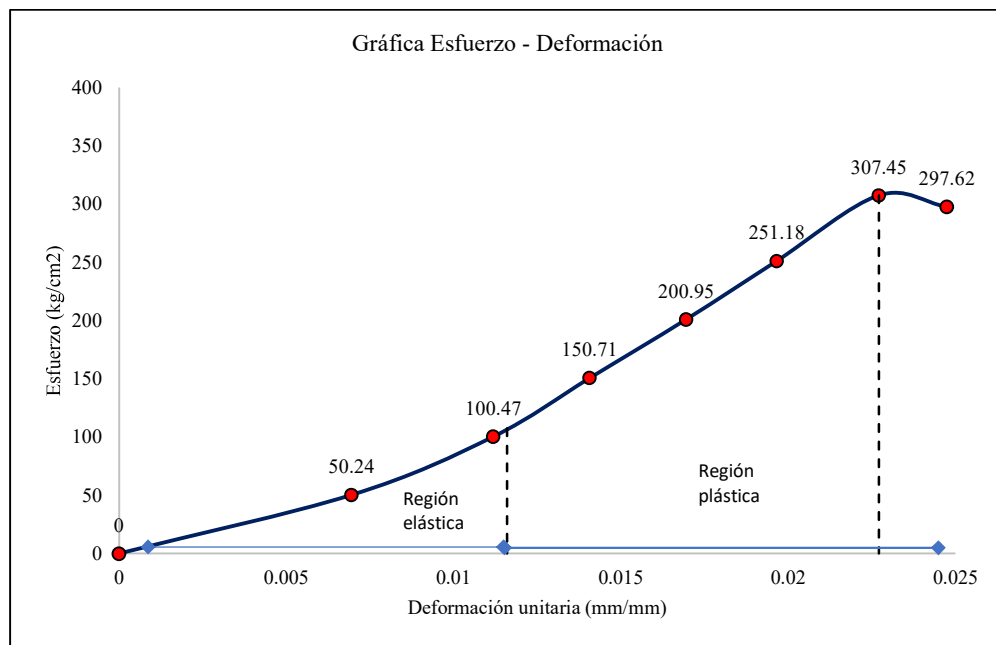


Tabla 35

Esfuerzo máximo-deformación unitaria, Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 10% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 4

N°	Carga máxima (Kg-f) P	Deformación ΔD (mm)	Deformación unitaria ($\Delta D/D$)	Esfuerzo máximo (Kg/cm ²)
1	0	0	0	0
2	10197.00	0.42	0.0071	50.99
3	20394.00	0.63	0.0107	101.97
4	30591.00	0.83	0.0141	152.96
5	40788.00	1.00	0.0169	203.94
6	50985.00	1.17	0.0198	254.93
7	62648.00	1.37	0.0232	313.24
8	60652.98	1.51	0.0256	303.26

Figura 59

Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 10% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 4

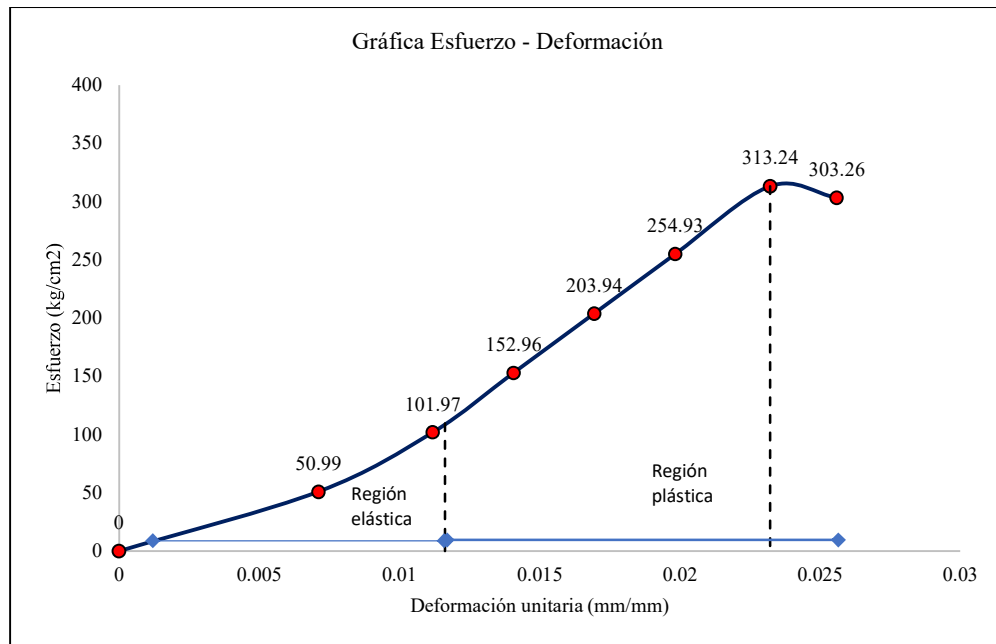


Figura 60

Esfuerzo máximo-deformación unitaria, Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 10% de Caucho Granular Reciclado, Resumen de Probetas

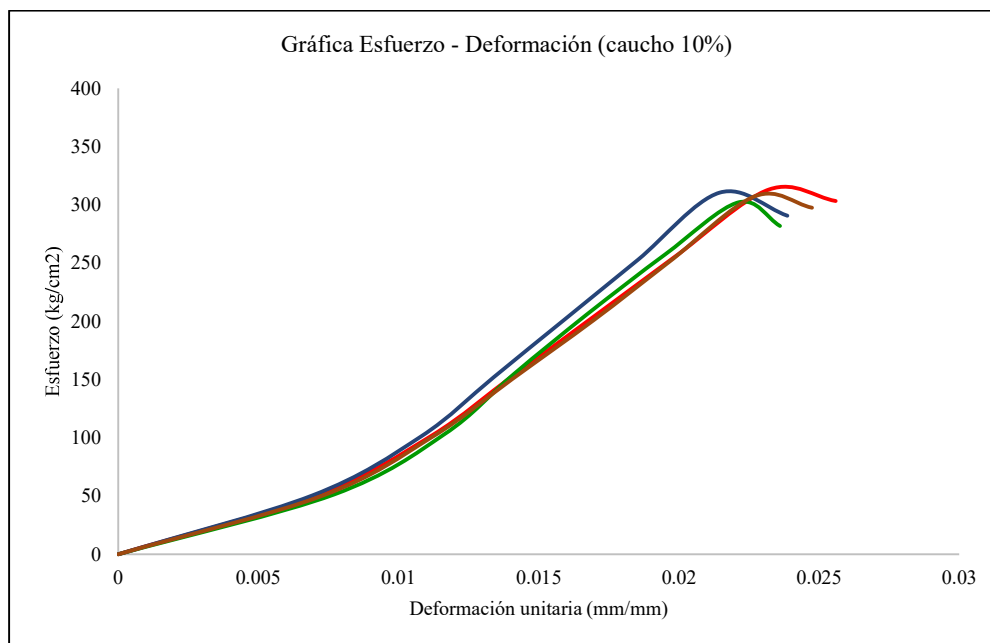


Tabla 36

Esfuerzo máximo-deformación unitaria, Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 20% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 1

N°	Carga máxima (Kg-f) P	Deformación ΔD (mm)	Deformación unitaria ($\Delta D/D$)	Esfuerzo máximo (Kg/cm ²)
1	0	0	0	0
2	5098.50	0.31	0.0052	25.49
3	10197.00	0.48	0.0080	50.99
4	20394.00	0.75	0.0125	101.97
5	30591.00	0.96	0.0160	152.96
6	40788.00	1.18	0.0197	203.94
7	55282.00	1.48	0.0247	276.41
8	51286.98	1.61	0.0268	256.43

Figura 61

Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 20% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 1

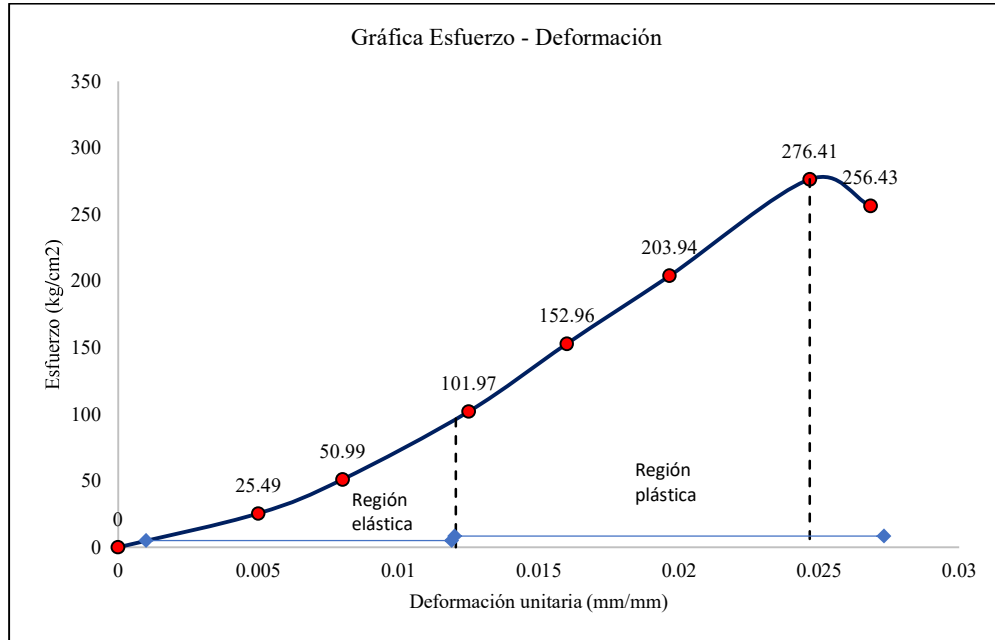


Tabla 37

Esfuerzo máximo-deformación unitaria, Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 20% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 2

Nº	Carga máxima (Kg-f) P	Deformación ΔD (mm)	Deformación unitaria ($\Delta D/D$)	Esfuerzo máximo (Kg/cm ²)
1	0	0	0	0
2	5098.50	0.34	0.0057	25.62
3	10197.00	0.51	0.0085	51.24
4	20394.00	0.77	0.0128	102.48
5	30591.00	0.98	0.0163	153.72
6	40788.00	1.19	0.0198	204.96
7	54615.55	1.50	0.0250	274.45
8	50620.53	1.65	0.0275	254.37

Figura 62

Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 20% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 2

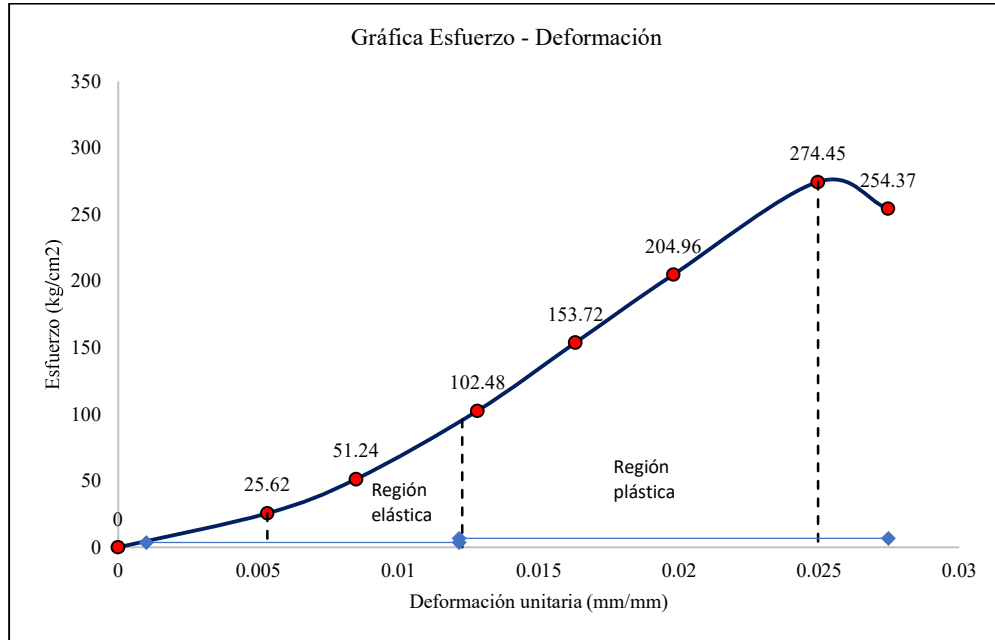


Tabla 38

Esfuerzo máximo-deformación unitaria, Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 20% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 3

N°	Carga máxima (Kg-f) P	Deformación		Esfuerzo máximo (Kg/cm ²)
		ΔD (mm)	Deformación unitaria ($\Delta D/D$)	
1	0	0	0	0
2	5098.50	0.36	0.0058	25.24
3	10197.00	0.51	0.0082	50.48
4	20394.00	0.77	0.0124	100.96
5	30591.00	0.98	0.0158	151.44
6	40788.00	1.21	0.0195	201.92
7	56408.50	1.51	0.0244	279.25
8	53413.48	1.67	0.0269	264.42

Figura 63

Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 20% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 3

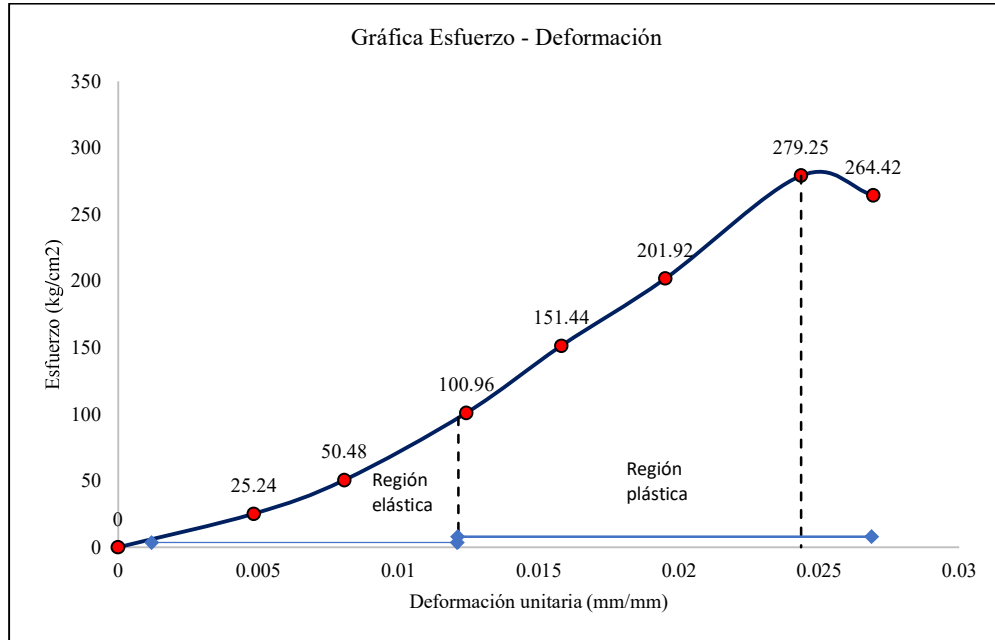


Tabla 39

Esfuerzo máximo-deformación unitaria, Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 20% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 4

N°	Carga máxima (Kg-f) P	Deformación	Deformación	Esfuerzo máximo (Kg/cm ²)
		ΔD (mm)	unitaria ($\Delta D/D$)	
1	0	0	0	0
2	5098.50	0.27	0.0046	25.62
3	10197.00	0.45	0.0076	51.24
4	20394.00	0.73	0.0124	102.48
5	30591.00	0.98	0.0166	153.72
6	40788.00	1.22	0.0207	204.96
7	56145.86	1.49	0.0253	282.14
8	53150.84	1.61	0.0273	267.09

Figura 64

Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 20% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 4

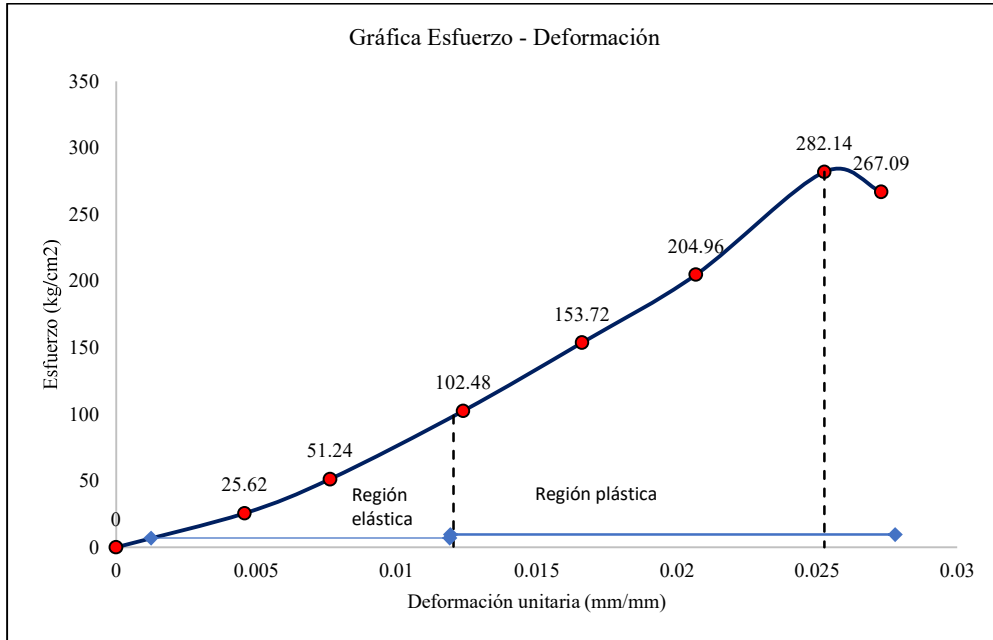


Figura 65

Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 20% de Caucho Granular Reciclado, Resumen de Probetas

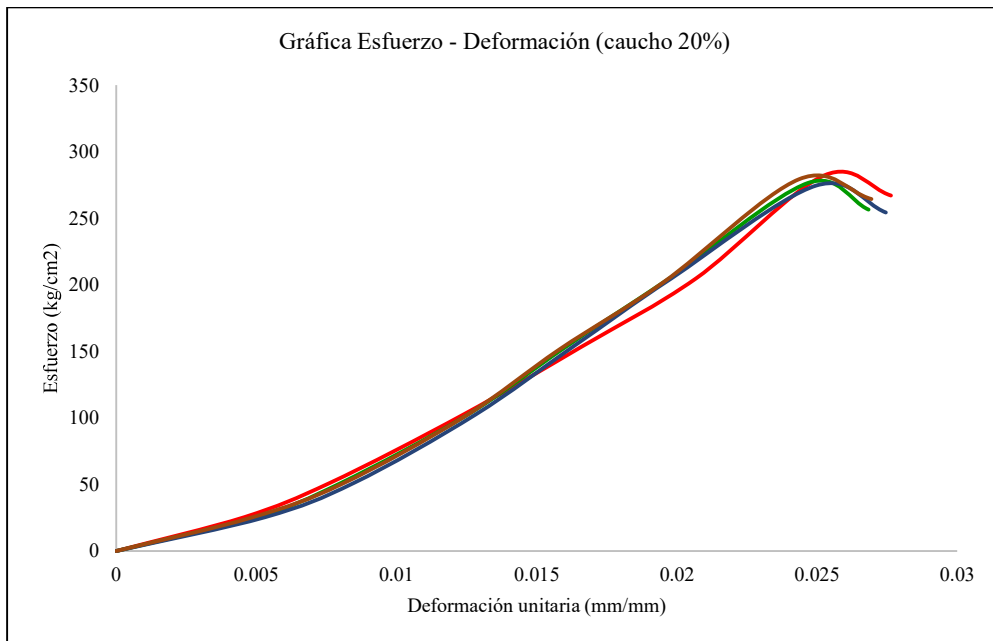


Tabla 40

Esfuerzo máximo-deformación unitaria, Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 40% de Caucho Granular Reciclado, Probeta I

Nº	Carga máxima (Kg-f) P	Deformación ΔD (mm)	Deformación unitaria ($\Delta D/D$)	Esfuerzo máximo (Kg/cm ²)
1	0	0	0	0
2	5098.50	0.44	0.0073	24.99
3	10197.00	0.69	0.0115	49.99
4	20394.00	1.10	0.0183	99.97
5	30591.00	1.42	0.0237	149.96
6	40788.00	1.73	0.0288	199.94
7	48323.52	1.99	0.0332	236.88
8	46328.50	2.25	0.0375	227.10

Figura 66

Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 40% de Caucho Granular Reciclado, Probeta I

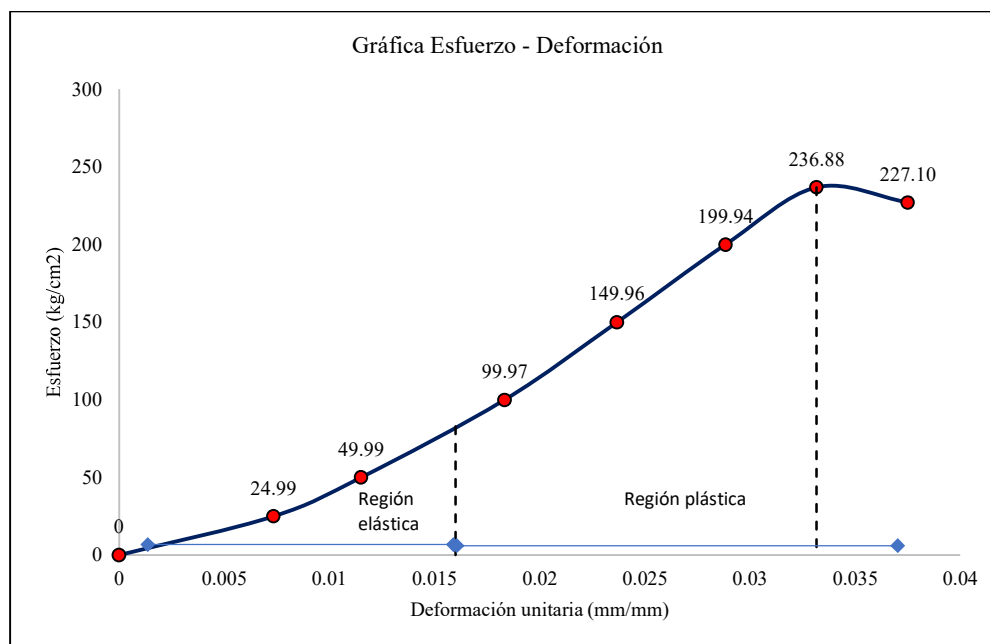


Tabla 41

Esfuerzo máximo-deformación unitaria, Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 40% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 2

Nº	Carga máxima (Kg-f) P	Deformación ΔD (mm)	Deformación unitaria ($\Delta D/D$)	Esfuerzo máximo (Kg/cm ²)
1	0	0	0	0
2	5098.50	0.46	0.0075	25.24
3	10197.00	0.71	0.0116	50.48
4	20394.00	1.13	0.0185	100.96
5	30591.00	1.44	0.0236	151.44
6	40788.00	1.73	0.0284	201.92
7	48166.90	1.97	0.0323	238.45
8	46171.88	2.13	0.0349	228.57

Figura67

Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 40% de Caucho Granular Reciclado, Probeta.2

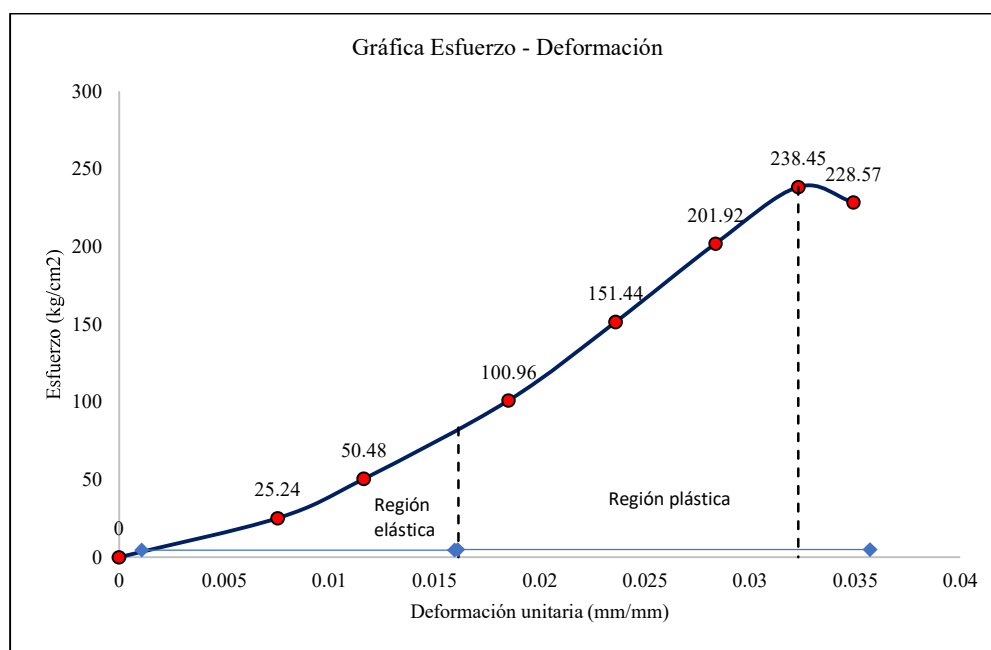


Tabla42

Esfuerzo máximo-deformación unitaria, Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 40% de Caucho Granular Reciclado, Probeta3

Nº	Carga máxima (Kg-f) P	Deformación ΔD (mm)	Deformación unitaria ($\Delta D/D$)	Esfuerzo máximo (Kg/cm ²)
1	0	0	0	0
2	5098.50	0.35	0.0058	25.11
3	10197.00	0.64	0.0107	50.23
4	20394.00	1.12	0.0187	100.46
5	30591.00	1.43	0.0238	150.69
6	40788.00	1.71	0.0285	200.92
7	49380.15	1.94	0.0323	243.24
8	47385.13	2.12	0.0353	233.41

Figura68

Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 40% de Caucho Granular Reciclado, Probeta.3

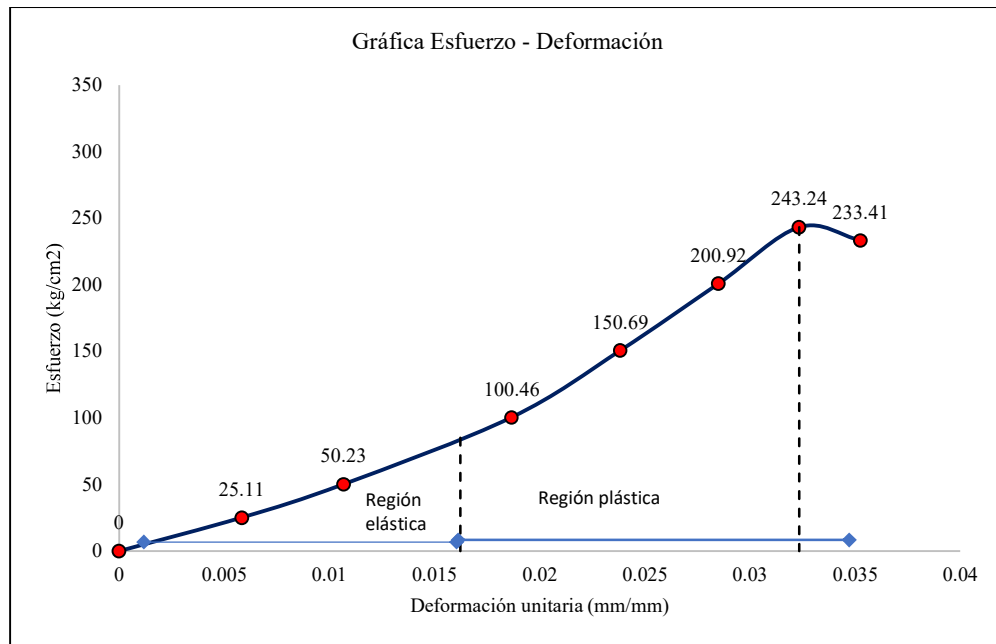


Tabla 43

Esfuerzo máximo-deformación unitaria, Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 40% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 4

Nº	Carga máxima (Kg-f) P	Deformación ΔD (mm)	Deformación unitaria ($\Delta D/D$)	Esfuerzo máximo (Kg/cm ²)
1	0	0	0	0
2	5098.50	0.43	0.0069	25.11
3	10197.00	0.68	0.0110	50.23
4	20394.00	1.07	0.0173	100.46
5	30591.00	1.39	0.0224	150.69
6	40788.00	1.72	0.0277	200.92
7	48551.87	1.96	0.0316	239.16
8	46556.85	2.20	0.0355	229.33

Figura69

Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 40% de Caucho Granular Reciclado, Probeta.4

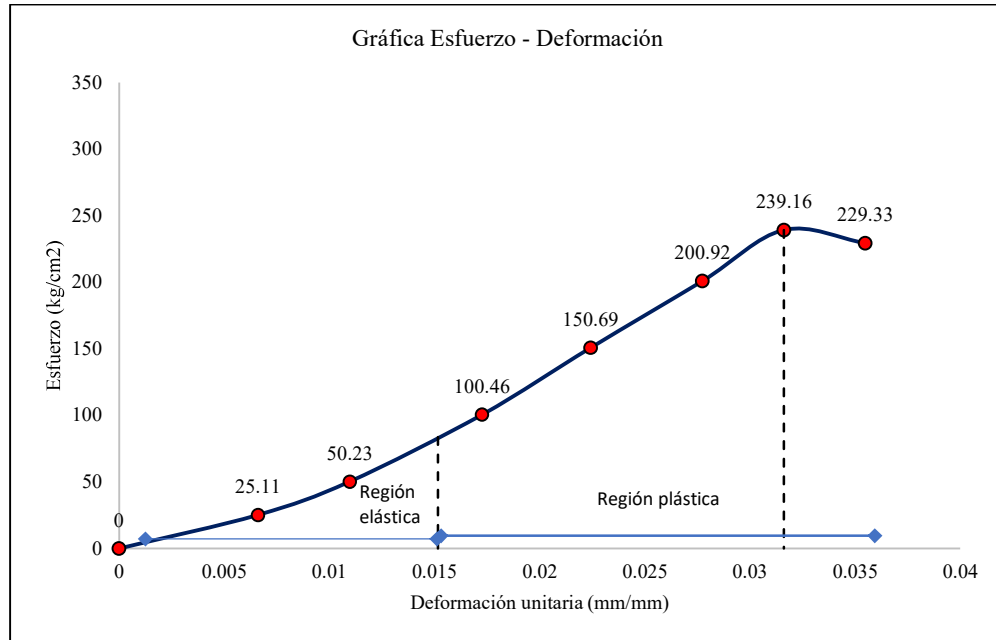


Figura 70

Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 40% de Caucho Granular Reciclado, Resumen de Probetas

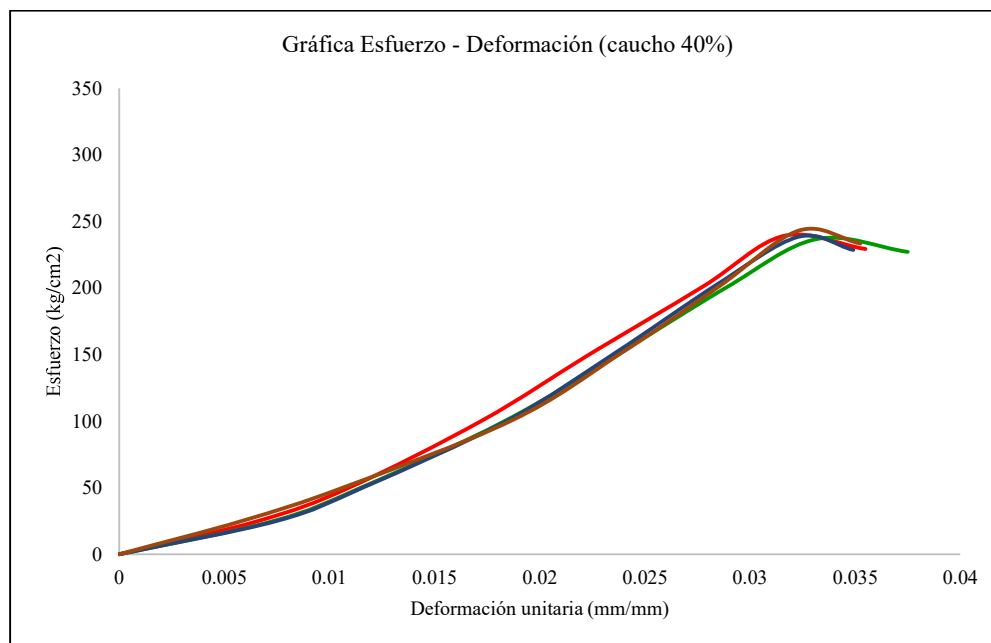


Tabla 44

Esfuerzo máximo-deformación unitaria, Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 60% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 1

Nº	Carga máxima (Kg-f) P	Deformación ΔD (mm)	Deformación unitaria ($\Delta D/D$)	Esfuerzo máximo (Kg/cm ²)
1	0	0	0	0
2	5098.50	0.60	0.0098	25.88
3	10197.00	0.98	0.0161	51.76
4	15295.50	1.24	0.0203	77.64
5	20394.00	1.47	0.0241	103.52
6	30591.00	1.84	0.0302	155.28
7	38444.53	2.08	0.0341	195.14
8	37449.51	2.25	0.0369	190.09

Figura 71

Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 60% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 1

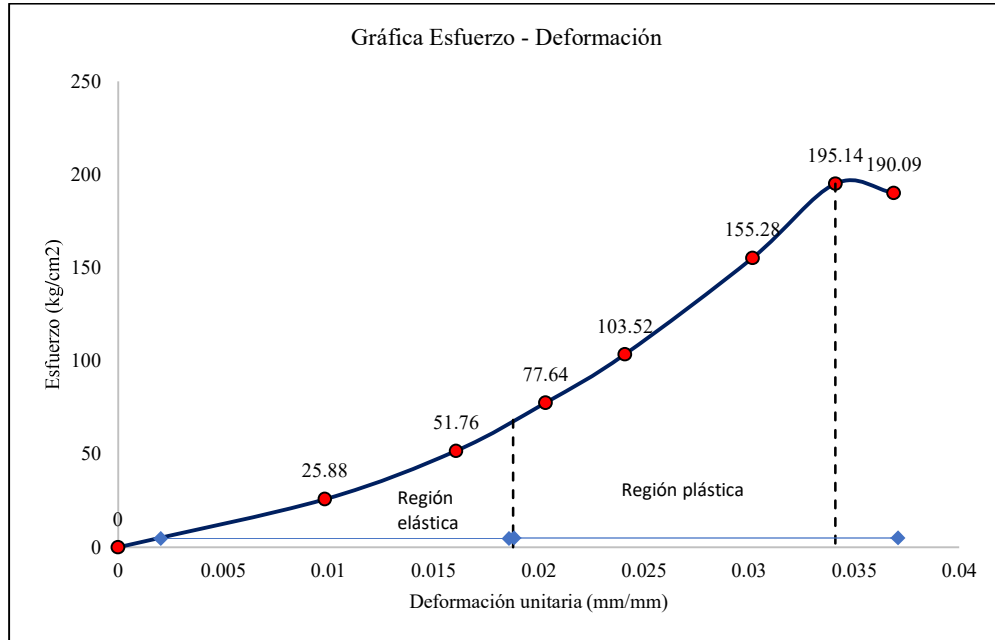


Tabla 45

Esfuerzo máximo-deformación unitaria, Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 60% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 2

Nº	Carga máxima (Kg-f) P	Deformación ΔD (mm)	Deformación unitaria ($\Delta D/D$)	Esfuerzo máximo (Kg/cm ²)
1	0	0	0	0
2	5098.50	0.65	0.0108	25.49
3	10197.00	0.98	0.0163	50.99
4	15295.50	1.24	0.0207	76.48
5	20394.00	1.47	0.0245	101.97
6	30591.00	1.82	0.0303	152.96
7	39254.00	2.09	0.0348	196.27
8	38258.98	2.21	0.0368	191.29

Figura 72

Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 60% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 2

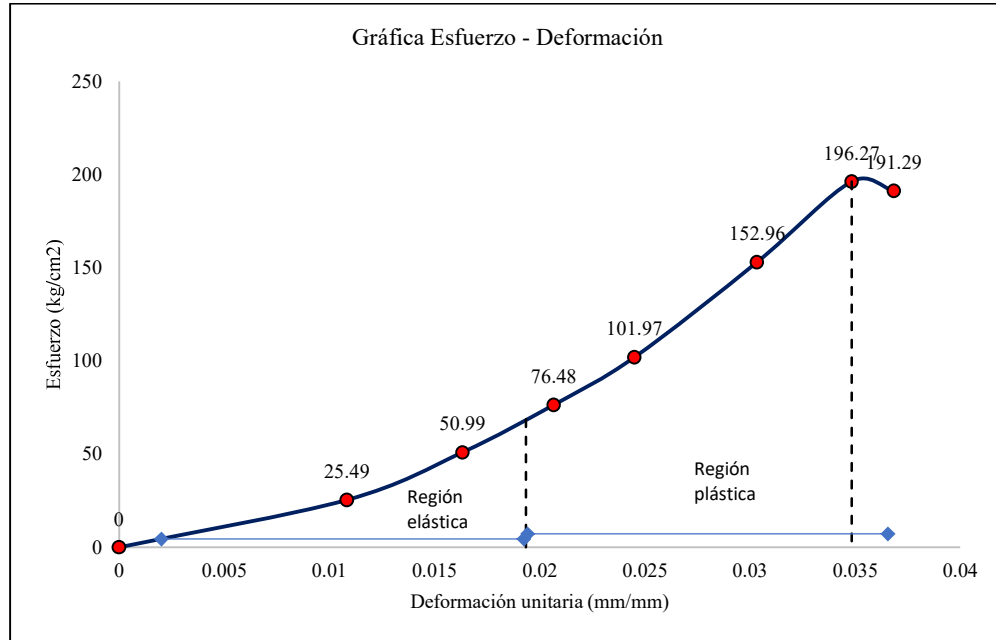


Tabla 46

Esfuerzo máximo-deformación unitaria, Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 60% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 3

Nº	Carga máxima (Kg-f) P	Deformación ΔD (mm)	Deformación unitaria ($\Delta D/D$)	Esfuerzo máximo (Kg/cm ²)
1	0	0	0	0
2	5098.50	0.65	0.0105	25.62
3	10197.00	0.98	0.0158	51.24
4	15295.50	1.24	0.0200	76.87
5	20394.00	1.44	0.0232	102.49
6	30591.00	1.83	0.0295	153.73
7	37519.56	2.12	0.0342	188.55
8	36524.54	2.30	0.0371	183.55

Figura 73

Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 60% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 3

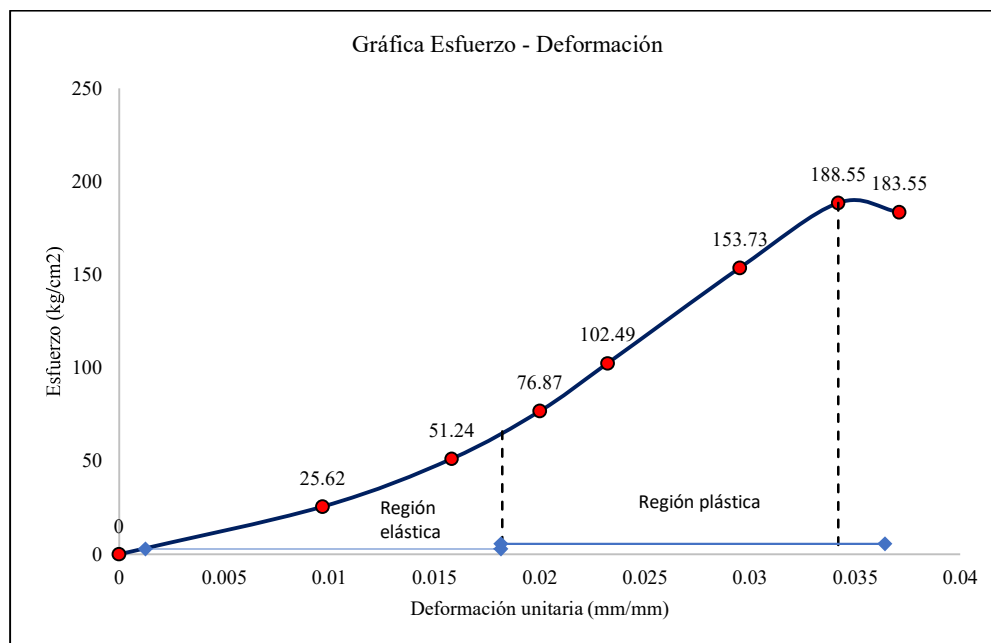


Tabla 47

Esfuerzo máximo-deformación unitaria, Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 60% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 4

Nº	Carga máxima (Kg-f) P	Deformación ΔD (mm)	Deformación unitaria ($\Delta D/D$)	Esfuerzo máximo (Kg/cm ²)
1	0	0	0	0
2	5098.50	0.75	0.0125	25.11
3	10197.00	0.98	0.0163	50.23
4	15295.50	1.24	0.0207	75.34
5	20394.00	1.44	0.0240	100.46
6	30591.00	1.83	0.0305	150.69
7	39254.01	2.10	0.0350	193.36
8	38258.99	2.28	0.0380	188.46

Figura 74

Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 60% de Caucho Granular Reciclado, Probeta 4

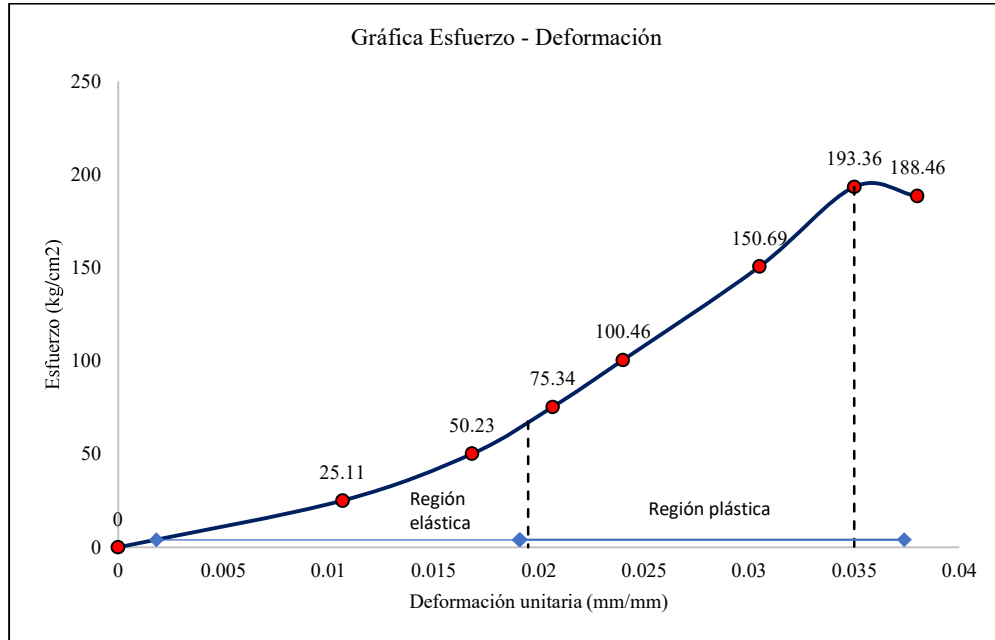
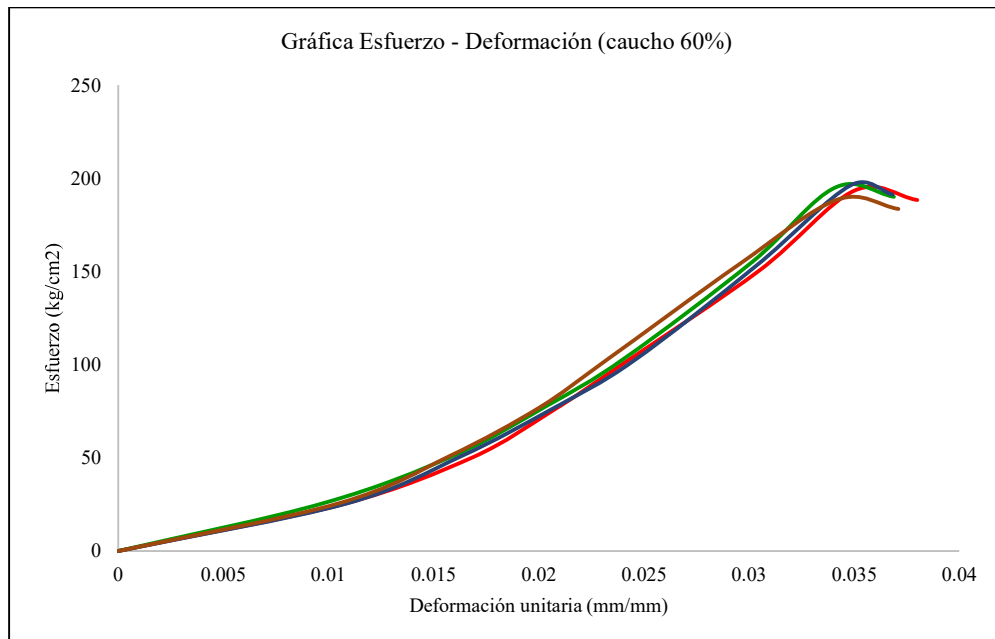


Figura 75

Gráfico Esfuerzo Deformación de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de 60% de Caucho Granular Reciclado, Resumen de Probetas



4.1.3.7. Resistencia a flexión

La resistencia a flexión, que debe ser al menos el 10% de la resistencia a compresión según los estándares técnicos de Marín-Urbe & Navarro-Gaete (2021), disminuye proporcionalmente con la adición de caucho, pero en todos los casos cumple con este criterio. Los valores a los 28 días oscilan entre 120.55 kg/cm² (0% caucho) y 76.83 kg/cm² (60% caucho).

A los 7 días los adoquines de concreto con 0%, 10%, 20%, 40% y 60% de caucho granular alcanzan esfuerzos a flexión de 98.72, 83.94, 75.75, 72.56 y 65.65 kg/cm², respectivamente. Mientras que, a los 14 días, logran adquirir resistencias a flexión respectivas de 112.27, 95.74, 78.54, 76.88 y 72.18 kg/cm². Lo que, significa que la resistencia a flexión del concreto en edades tempranas disminuye conforme se aumenta el porcentaje de caucho granular en los adoquines tipo I.

En los adoquines sin caucho, la resistencia promedio a los 28 días fue de 120.55 kg/cm², representando aproximadamente el 33.64% de su resistencia a compresión, muy por encima del mínimo requerido (29 kg/cm²). Con 10% de caucho, la resistencia a flexión disminuyó a 109.11 kg/cm², representando el 35.39% de su resistencia a compresión. Las mezclas con 20%, 40% y 60% de caucho registraron resistencias a flexión de 90.58, 85.68 y 76.83 kg/cm², correspondientemente, cumpliendo también con el mínimo normativo, aunque con una reducción notable conforme el contenido de caucho aumenta en la producción de adoquines tipo I.

Si bien los valores cumplen con el mínimo técnico, la reducción progresiva en la resistencia a flexión sugiere que la elasticidad del caucho introduce debilidades estructurales en el material. Esto compromete la capacidad de los adoquines para resistir esfuerzos de tracción y flexión en pavimentos sometidos a

cargas puntuales o dinámicas cuando el porcentaje de caucho granular supera el 10% de adición en la mezcla de concreto.

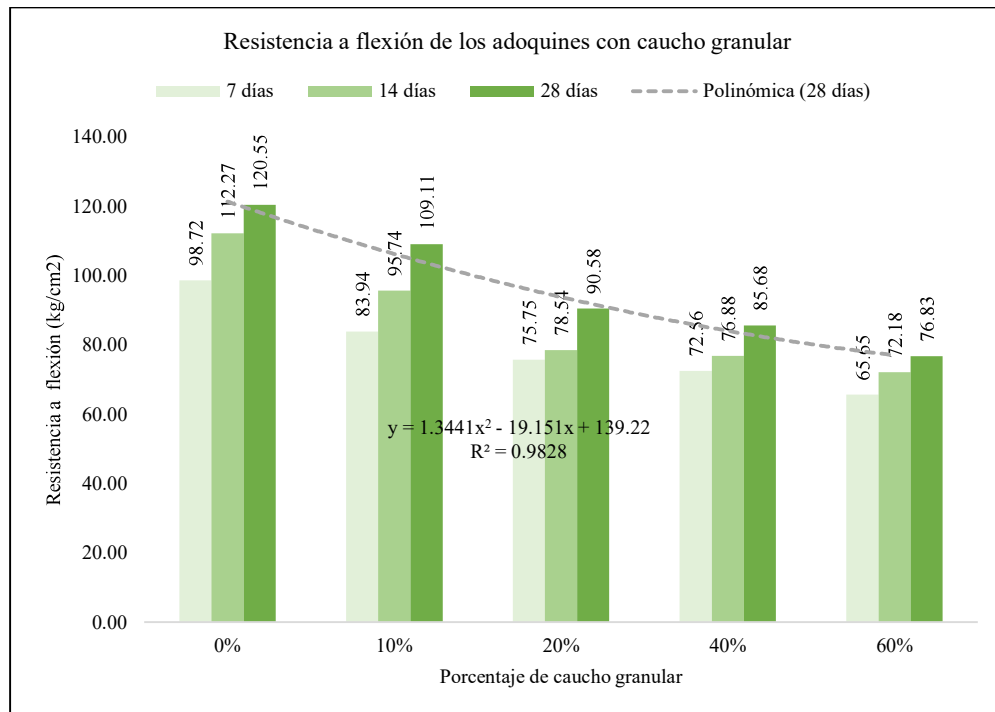
Tabla 48

Resistencia a Flexión de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de Caucho Granular Reciclado

Resistencia a flexión (kg/cm ²)	Adoquines con caucho granular				
	0%	10%	20%	40%	60%
7 días	98.72	83.94	75.75	72.56	65.65
14 días	112.27	95.74	78.54	76.88	72.18
28 días	120.55	109.11	90.58	85.68	76.83

Figura 76

Resistencia a Flexión de los Adoquines Tipo I de Concreto con Adición de Caucho Granular Reciclado



Nota: La ecuación de regresión representa la variación de la resistencia a flexión de los adoquines de concreto Tipo I de acuerdo al porcentaje de caucho granular en la mezcla de concreto a los 28 días de curado.

a) Adoquines de concreto sin caucho granular

En los adoquines sin caucho, la resistencia a flexión promedio a los 7, 14 y 28 días fue de 98.72, 112.27 y 120.55 kg/cm², lo que representa, correspondientemente el 34.04%, 38.71% y 41.57% del f'c esperado, cumpliendo el criterio de Marín-Urbe & Navarro-Gaete (2021) de superar el 10% del f'c de diseño. El coeficiente de variación (C.V.) para esta mezcla fue consistentemente bajo, con valores de 8.49%, 1.60% y 3.65%, en las edades de 7, 14 y 28 días, respectivamente, lo que refleja homogeneidad en los resultados.

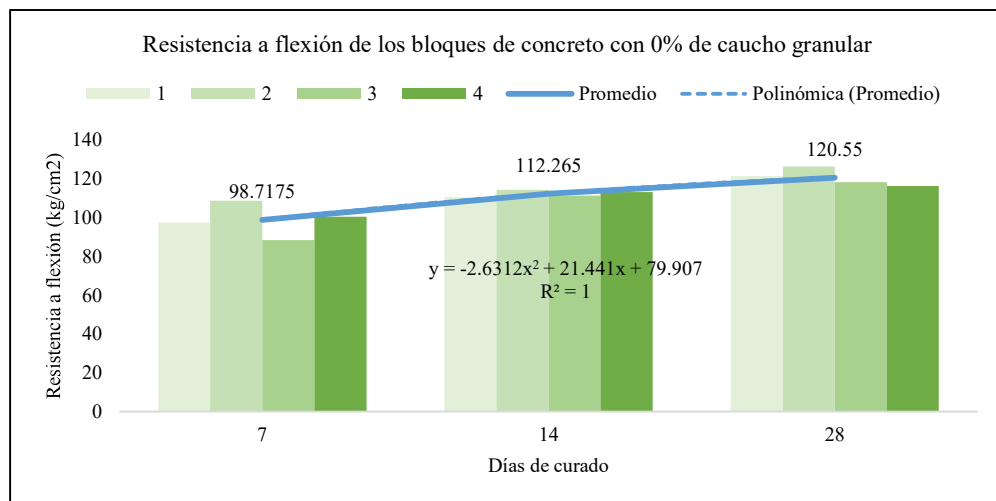
Tabla 49

Resistencia a Flexión de los Adoquines con 0% de Caucho Granular Reciclado

Adoquines con 0% de caucho granular	Resistencia a flexión (kg/cm ²) según tiempo de curado (días)		
	7	14	28
1	97.49	110.32	121.36
2	108.61	114.24	126.35
3	88.31	111.25	118.25
4	100.46	113.25	116.24
Promedio	98.7175	112.265	120.55
D.E.	8.38	1.80	4.40
C.V. (%)	8.49	1.60	3.65

Figura 77

Resistencia a Flexión de los Adoquines con 0% de Caucho Granular Reciclado



b) Adoquines de concreto con 10% de caucho granular

En los adoquines con 10% de caucho granular, la resistencia a flexión registra valores de 83.935 kg/cm² a los 7 días, 95.738 kg/cm² a los 14 días y 109.11 kg/cm² a los 28 días. Aunque ligeramente inferior a la mezcla sin caucho, la resistencia sigue siendo adecuada para aplicaciones convencionales. Los coeficientes de variación se mantuvieron bajos (7.00%, 2.73% y 2.72% en las edades de 7, 14 y 28 días, respectivamente), indicando buena uniformidad.

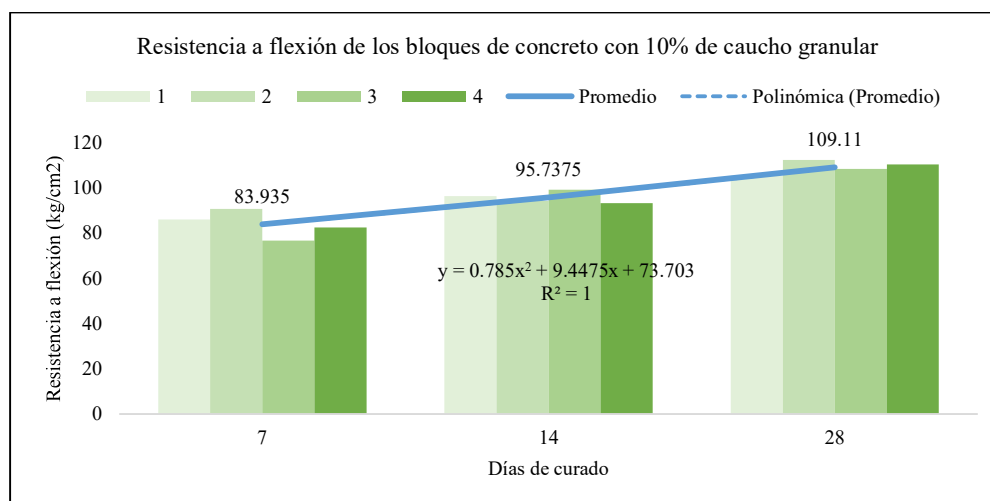
Tabla 50

Resistencia a Flexión de los Adoquines con 10% de Caucho Granular Reciclado

Adoquines con 10% de caucho granular	Resistencia a flexión (kg/cm ²) según tiempo de curado (días)		
	7	14	28
1	85.96	96.31	105.39
2	90.63	94.25	112.35
3	76.7	99.15	108.35
4	82.45	93.24	110.35
Promedio	83.935	95.7375	109.11
D.E.	5.87	2.61	2.97
C.V. (%)	7.00	2.73	2.72

Figura 78

Resistencia a Flexión de los Adoquines con 10% de Caucho Granular Reciclado



c) Adoquines de concreto con 20% de caucho granular

En la mezcla con 20%, los valores promedio de resistencia a flexión fueron de 75.745, 78.535 y 90.578 kg/cm² a los 7, 14 y 28 días, respectivamente. Lo que, representa el 26.12%, 27.08% y 31.23% de la resistencia a compresión mínima requerida de 290 kg/cm². Siendo así, supera el 10% sugerido por Marín-Uribe & Navarro-Gaete (2021). El coeficiente de variación fue bajo (2.33%, 3.00% y 8.19%), demostrando estabilidad en los resultados.

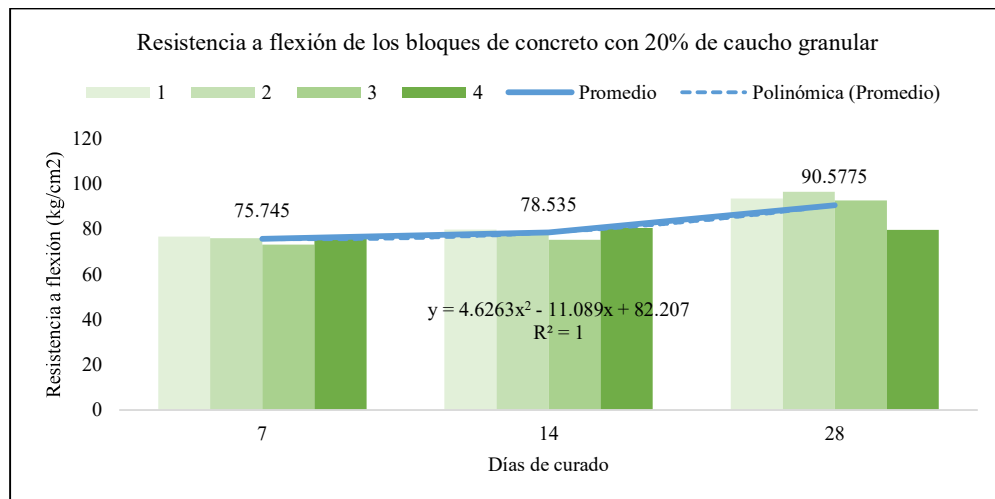
Tabla 51

Resistencia a Flexión de los Adoquines con 20% de Caucho Granular Reciclado

Adoquines con 20% de caucho granular	Resistencia a flexión (kg/cm ²) según tiempo de curado (días)		
	7	14	28
1	76.71	79.9	93.58
2	75.92	78.45	96.45
3	73.21	75.25	92.55
4	77.14	80.54	79.73
Promedio	75.745	78.535	90.5775
D.E.	1.76	2.36	7.42
C.V. (%)	2.33	3.00	8.19

Figura 79

Resistencia a Flexión de los Adoquines con 20% de Caucho Granular Reciclado



d) Adoquines de concreto con 40% de caucho granular

En los adoquines con 40% de caucho, la resistencia a flexión disminuye aún más, alcanzando valores promedio de 72.558 kg/cm² a los 7 días, 76.88 kg/cm² a los 14 días y 85.683 kg/cm² a los 28 días, representando el 25.02%, 26.51% y 29.55% del f_c de la resistencia a compresión. Los coeficientes de variación para esta mezcla también fueron bajos (2.15%, 1.85% y 4.14%), lo que indica uniformidad en los resultados pese al bajo desempeño.

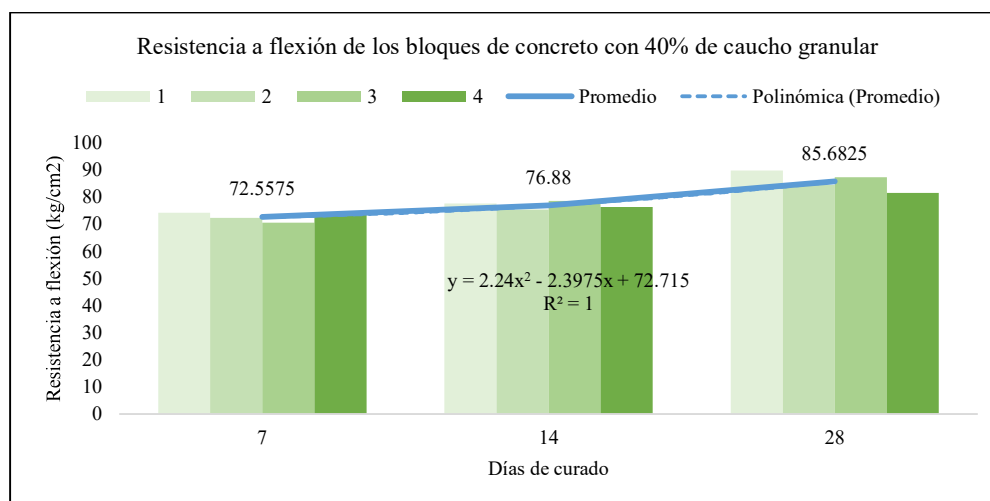
Tabla 52

Resistencia a Flexión de los Adoquines con 40% de Caucho Granular Reciclado

Adoquines con 40% de caucho granular	Resistencia a flexión (kg/cm ²) según tiempo de curado (días)		
	7	14	28
1	74.19	77.58	89.65
2	72.25	75.24	84.36
3	70.54	78.45	87.25
4	73.25	76.25	81.47
Promedio	72.5575	76.88	85.6825
D.E.	1.56	1.42	3.54
C.V. (%)	2.15	1.85	4.14

Figura 80

Resistencia a Flexión de los Adoquines con 40% de Caucho Granular Reciclado



e) Adoquines de concreto con 60% de caucho granular

La mezcla con 60% de caucho presentó los valores más bajos de resistencia a flexión, registrando 65.648 kg/cm² a los 7 días, 72.175 kg/cm² a los 14 días y 76.833 kg/cm² a los 28 días. Estos valores representan el 22.64%, 24.89% y 26.49% del f_c de diseño a compresión. Los coeficientes de variación fueron similares que en otras mezclas (3.03%, 2.44% y 1.78%), pero se mantuvieron dentro de los límites aceptables.

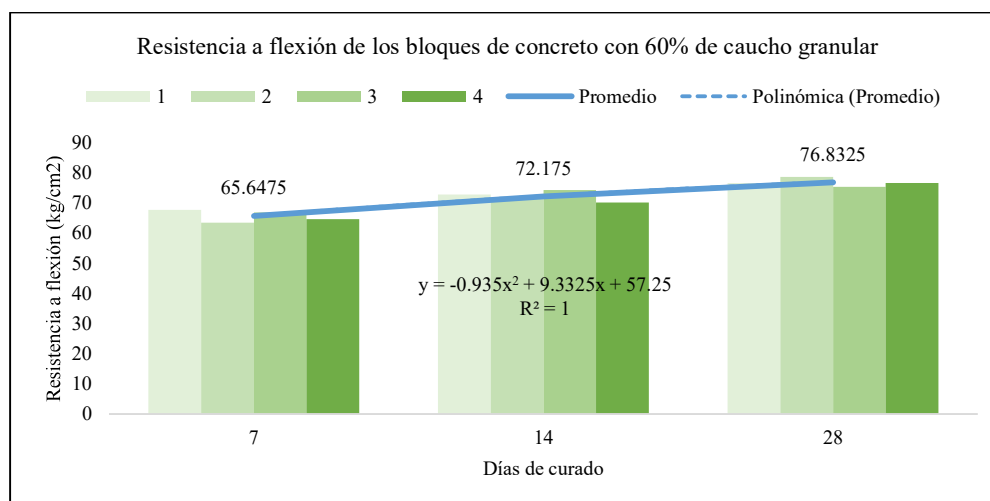
Tabla 53

Resistencia a Flexión de los Adoquines con 60% de Caucho Granular Reciclado

Adoquines con 60% de caucho granular	Resistencia a flexión (kg/cm ²) según tiempo de curado (días)		
	7	14	28
1	67.7	72.79	76.68
2	63.45	71.54	78.65
3	66.9	74.25	75.34
4	64.54	70.12	76.66
Promedio	65.6475	72.175	76.8325
D.E.	1.99	1.76	1.36
C.V. (%)	3.03	2.44	1.78

Figura 81

Resistencia a Flexión de los Adoquines con 60% de Caucho Granular Reciclado



4.2. Contrastación de hipótesis

a) Datos utilizados para el análisis estadístico

Se emplearon los datos de resistencia a compresión obtenidos de los adoquines tipo I elaborados con diferentes proporciones de caucho granular reciclado, específicamente 0%, 10%, 20%, 40% y 60% en adición del volumen de agregados. Estos valores fueron recopilados mediante ensayos normados a edades de 7, 14 y 28 días.

Tabla 54

Datos de Resistencia a Compresión de los Adoquines Tipo I con Caucho Granular para el Análisis Estadístico

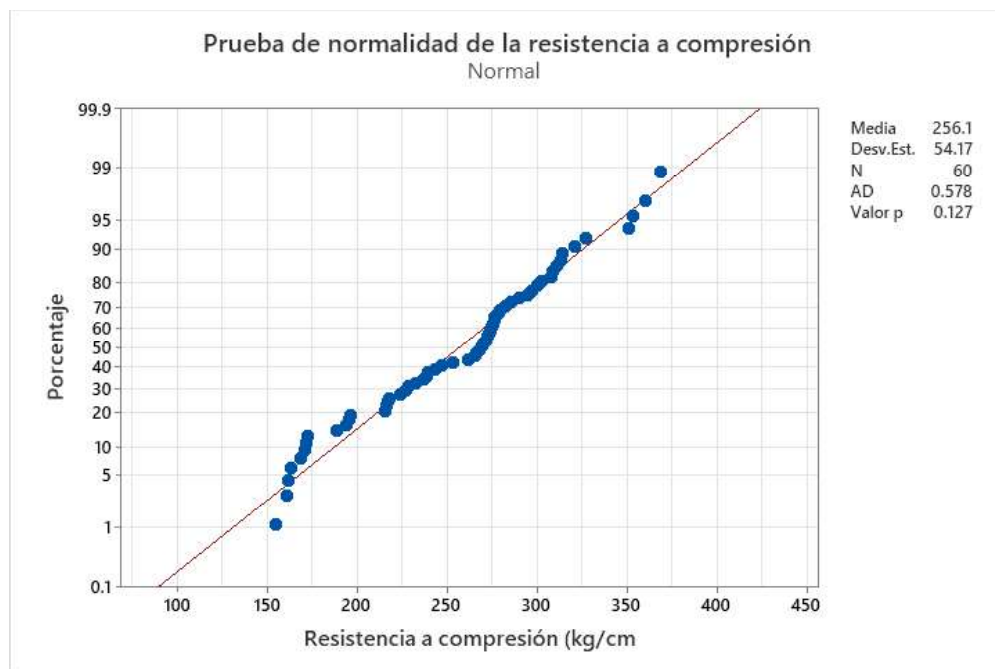
Porcentaje de caucho granular	Resistencia a compresión (kg/cm ²) según tiempo de curado (días)		
	7	14	28
0%	296.87	327.04	353.08
0%	276.23	313.64	368.63
0%	285.51	320.7	360.24
0%	273.33	308.79	351.19
10%	273.63	289.83	302.14
10%	272.18	275.52	310.45
10%	267.35	300	307.45
10%	269.45	294.54	313.24
20%	271.51	278.24	276.41
20%	252.93	269.84	274.45
20%	247.09	265.3	279.25
20%	261.35	266.21	282.14
40%	217.45	228.66	236.88
40%	224	217.02	238.45
40%	215.12	227.16	243.24
40%	216.36	232.14	239.16
60%	160.5	170.62	195.14
60%	161.49	172.35	196.27
60%	154.11	163.06	188.55
60%	171.27	168.56	193.36

b) Análisis de normalidad

Se verificó si los datos de resistencia a compresión seguían una distribución normal debido a que, el valor p era mayor a 0.05. Este análisis fue realizado mediante la prueba estadística de Anderson Darling, la cual confirmó que los datos presentan una tendencia normal. Esta condición permitió la aplicación de pruebas paramétricas, específicamente el análisis ANOVA y t-student, que es apropiado para evaluar la significancia de las diferencias entre los grupos establecidos.

Figura 82

Prueba de Normalidad de la Resistencia a Compresión



c) Hipótesis general

Se plantearon dos hipótesis:

Hipótesis nula (H_0): El comportamiento mecánico de los adoquines tipo I no varía significativamente con la adición de caucho granular para pavimentos de uso peatonal, Chota, 2024.

Hipótesis alternativa (H₁): El comportamiento mecánico de los adoquines tipo I varía significativamente con la adición de caucho granular para pavimentos de uso peatonal, Chota, 2024.

d) Criterio de aceptación de la hipótesis

Se estableció que la hipótesis alternativa (H₁) sería aceptada si el valor de probabilidad (valor p) obtenido en el análisis era menor al nivel de significancia de 0.05, lo que corresponde a un nivel de confianza del 95%. En caso contrario, se aceptaría la hipótesis nula (H₀).

$$\text{Si valor } p < \alpha = 0.05, \text{ se acepta } H_1 \tag{55}$$

$$\text{Si valor } p \geq \alpha = 0.05, \text{ se acepta } H_0 \tag{56}$$

e) Análisis ANOVA

Se evaluaron las diferencias entre los grupos mediante la prueba estadística ANOVA. Los resultados determinaron que las diferencias observadas en las resistencias a compresión de los adoquines con 0%, 10%, 20%, 40% y 60% de caucho granular eran significativas, dado que el valor p fue inferior a 0.05. Por tanto, se aceptó la hipótesis alternativa (H₁), concluyendo que el comportamiento mecánico de los adoquines tipo I varía significativamente con la adición de caucho granular reciclado.

$$H_1: \text{Todas las medias son diferentes} \tag{57}$$

$$H_0: \text{Todas las medias son iguales} \tag{58}$$

Tabla 55

Información de los Factores de Análisis

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Porcentaje de caucho granular	Fijo	5	0.0; 0.1; 0.2; 0.4; 0.6
Tiempo de curado (días)	Fijo	3	7; 14; 28

Tabla 56*Análisis de Varianza ANOVA de la Resistencia a Compresión del Concreto*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Porcentaje de caucho granular	4	153002	38250.5	321.12	0.000
Tiempo de curado (días)	2	13845	6922.7	58.12	0.000
Error	53	6313	119.1		
Falta de ajuste	8	4267	533.4	11.73	0.000
Error puro	45	2046	45.5		
Total	59	173160			

Nota: si valor p menor a 0.05, se acepta H1.

f) Análisis t-student

Se aplicó la prueba t-student para verificar si los adoquines con los distintos porcentajes de caucho cumplían con la resistencia característica mínima de 290 kg/cm², conforme a la norma NTP 399.611 (2017). La hipótesis formulada para este análisis fue:

Hipótesis nula (H₀): La resistencia promedio (μ) es igual o menor a 290 kg/cm².

Hipótesis alternativa (H₁): La resistencia promedio (μ) es mayor a 290 kg/cm².

Tabla 57*Estadísticas Descriptivas de los Adoquines con Caucho Granular*

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para μ
Adoquines con 0%	4	358.29	7.92	3.96	348.96
Adoquines con 10%	4	308.32	4.75	2.38	302.73
Adoquines con 20%	4	278.06	3.36	1.68	274.11
Adoquines con 40%	4	239.43	2.71	1.36	236.24
Adoquines con 60%	4	193.33	3.40	1.70	189.32

Nota: μ : media de población de Adoquines con 0%; Adoquines con 10%; Adoquines con 20%; Adoquines con 40%; Adoquines con 60%

Los resultados del análisis indicaron que solo los adoquines fabricados con 0% y 10% de caucho granular cumplían con el requisito normativo, ya que para estos grupos el valor p fue menor a 0.05, lo que permitió aceptar la hipótesis

alternativa (H_1). Por el contrario, para los adoquines con 20%, 40% y 60% de caucho, el valor p fue superior a 0.05, lo que llevó a aceptar la hipótesis nula (H_0), concluyendo que estos porcentajes no alcanzan la resistencia mínima exigida.

Tabla 58

Análisis t-Student de la Resistencia a Compresión a los 28 Días en los Adoquines con Caucho Granular

Hipótesis nula	$H_0: \mu = 290$	
Hipótesis alterna	$H_1: \mu > 290$	
Muestra	Valor T	Valor p
Adoquines con 0%	17.24	0.000
Adoquines con 10%	7.71	0.002
Adoquines con 20%	-7.11	0.997
Adoquines con 40%	-37.30	1.000
Adoquines con 60%	-56.79	1.000

En síntesis, la contrastación de hipótesis confirmó que la adición de caucho granular afecta significativamente el comportamiento mecánico de los adoquines tipo I. Sin embargo, solo los adoquines con 0% y 10% de caucho lograron cumplir con los estándares de resistencia establecidos para aplicaciones en pavimentos de uso peatonal.

g) Correlación de Pearson

De forma complementaria se ha determinado la correlación de Pearson entre el porcentaje de caucho granular y la resistencia a compresión de los adoquines de concreto siendo negativa y moderada con valor de -0.938.

Tabla 59

Coefficientes de Correlación de Pearson

	Porcentaje de caucho granular	Tiempo de curado (días)
Resistencia a compresión	-0.938	0.281

4.3. Discusión de resultados

Las propiedades físicas y mecánicas del agregado fino, grueso y caucho granular difieren entre sí en el peso unitario y comportamiento hidrófobo del agregado reciclado, pero cumplen con los requisitos de la NTP 400.037 (2021). En cuanto al módulo de finura (MF), la arena de la cantera Conchán presentó un valor de 2.22, inferior al rango normativo de 2.30 a 3.10 establecido en la NTP 400.037 (2021), aunque este valor clasifica a la arena como de granulometría fina, la misma norma permite su uso si el concreto resultante cumple con los requisitos estructurales, por lo que fue utilizada en este estudio. En comparación, de Bastiani et al. (2024) informaron que la arena de río que utilizaron tenía un MF de 2.49, Na & Lee (2024) utilizaron arena con MF 2.63, Mamani & Mamani (2024) utilizaron arena de MF 2.77, y Trujillo & Cabrera (2024) utilizaron arena con MF 2.88, cumpliendo en todos los casos con los límites normativos, lo que sugiere que la arena de Conchán podría requerir un ajuste en la mezcla para mejorar su desempeño. Por otro lado, la piedra chancada de la cantera Chuyabamba, con MF de 2.91, se encuentra dentro del rango establecido, mientras que el caucho granular reciclado, con MF de 3.03, mostró una distribución granulométrica similar a la piedra chancada, esto concuerda con Trujillo & Cabrera (2024) cuyo caucho granulado presentaba MF de 4.59, con de Bastiani et al. (2024) que utilizaron caucho granular de MF 3.21 y con Yachas (2023) cuyo material presentaba MF de 3.84. Siendo así, esta propiedad, como señalan Na & Lee (2024), indica que el caucho puede ser utilizado en mezclas de concreto como un material de tamaño adecuado para mantener una granulometría balanceada.

La granulometría mostró que solo el caucho granular reciclado cumplió completamente con el huso granulométrico normado por la NTP 400.037 (2021)

para agregados finos, lo que asegura una distribución proporcional entre los tamices. En contraste, tanto la arena como la piedra chancada presentaron desviaciones fuera de los rangos normativos, en cambio de Bastiani et al. (2024) utilizaron agregados que cumplían con el huso granulométrico; pero esto coincide con Revilla (2024), quien observó que la incorporación de caucho mejora la distribución granulométrica en mezclas de concreto, contribuyendo a su estabilidad dimensional.

Respecto a la humedad, la arena presentó contenido del 2.53%, mientras que la piedra chancada mostró un valor significativamente menor de 0.29%, lo que refleja su baja capacidad de retención de agua, esto concuerda con Trujillo & Cabrera (2024) que utilizaron arena con 2.5% de humedad y piedra chancada con 0.4%; pero difiere de Mamani & Mamani (2024) utilizaron arena con humedad de 0.36% y piedra chancada con 0.82%. Así mismo, el caucho granular reciclado, con un valor mínimo de 0.01%, evidenció su naturaleza hidrófoba, lo que concuerda con lo reportado por Shujahat et al. (2024), quienes señalaron que el bajo contenido de humedad del caucho no afecta el equilibrio hídrico en la mezcla, permitiendo un mejor control del agua disponible durante el proceso de fraguado.

En términos de peso unitario, el caucho granular reciclado presentó valores mucho más bajos (466.67 kg/m^3 en estado suelto y 528.57 kg/m^3 compactado) en comparación con la arena (1477.38 y 1588.1 kg/m^3) y la piedra chancada (1347.67 y 1451.61 kg/m^3), esto concuerda con Mamani & Mamani (2024) cuya arena presentaba peso unitario suelto y compactado de 1443 y 1626 kg/m^3 , y cuya piedra chancada alcanzaba 1533 y 1725 kg/m^3 , mientras que, el caucho granular tan solo tenía 491 kg/m^3 de peso unitario. En la misma línea, Trujillo & Cabrera (2024) determinaron que, el peso unitario suelto y compactado

del caucho granular era 465 y 499 kg/m³, mientras que, de los agregados era superior siendo 1488 y 1626 kg/m³ para la arena y 1653 y 1787 kg/m³ para el agregado grueso. Así mismo, este comportamiento es consistente con Ismail et al. (2024), quienes observaron que el peso unitario del concreto disminuye proporcionalmente al incremento del caucho granular, lo que puede ser ventajoso en aplicaciones donde se requiera concreto ligero.

El peso específico también mostró diferencias significativas: mientras que la arena y la piedra chancada presentaron valores típicos de materiales pétreos (2.597 g/cm³ y 2.64 g/cm³, respectivamente), el caucho granular reciclado mostró un peso específico considerablemente menor (1.04 g/cm³) concordando con Yachas (2023) cuyas fibras de caucho de neumáticos alcanzó peso específico de 1.091 g/cm³. Esto coincide con los resultados de Na & Lee (2024), quienes destacaron que el bajo peso específico del caucho granular (siendo 1 g/cm³) contribuye a la reducción de la densidad global del concreto. Pero difiere de Trujillo & Cabrera (2024) cuyo caucho granular presentaba un mayor peso específico de 1.425 g/cm³, no obstante, esta diferencia se debe al tipo de neumáticos que utilizaron para su producción, considerando que, dichos autores emplearon llantas de volquetes, lo que ha generado que, tenga mayor densidad el caucho granulado, que el producido en el contexto local de Chota a partir de llantas de automóviles y mototaxis.

La absorción de agua reveló que la arena absorbió el 1.71% de su peso, la piedra chancada 0.68%, y el caucho granular solo el 0.25%, reafirmando su comportamiento hidrófobo, tal como recalcan Na & Lee (2024). Esta característica es relevante, ya que, como concluyen Mamani & Mamani (2024),

el caucho granular ayuda a controlar la pérdida de agua en el fraguado, mejorando la trabajabilidad de la mezcla.

En lo referente a la gradación y tamaño máximo nominal (TMN), la arena y el caucho granular fueron clasificados como agregados finos (TMN N° 4), mientras que la piedra chancada, con un TMN de ½", fue considerado agregado grueso. Esto se alinea con de Bastiani et al. (2024) y Embaye (2024), quienes utilizaron agregados con TMN similares para garantizar una adecuada cohesión en el concreto, pero difiere de Trujillo & Cabrera (2024) quienes utilizaron agregado grueso de TMN 1" y de Yachas (2023) que utilizaron grava de TMN ¾".

Respecto a la resistencia al desgaste de la piedra chancada fue destacada, con un valor de abrasión del 25.07%, muy por debajo del límite normativo de 50% según la NTP 400.037 (2021). Este resultado asegura la calidad de la piedra chancada para soportar cargas abrasivas, en línea con lo reportado por Embaye (2024), quien enfatizó la importancia de la resistencia al desgaste en aplicaciones estructurales.

La incorporación de caucho granular reciclado genera efectos significativos en las propiedades del concreto fresco. Si bien se observa la reducción del peso unitario y una ligera disminución en la trabajabilidad, también se registra un incremento en la temperatura y contenido de aire del concreto lo cual influye directamente en el tiempo de fraguado inicial requiere un manejo cuidadoso para garantizar un equilibrio entre sostenibilidad y desempeño mecánico en la producción de adoquines tipo I para pavimentos peatonales.

En términos del peso unitario, se observó una reducción progresiva conforme se incrementó la proporción de caucho granular, pasando de 2373.89

kg/m³ en la mezcla sin caucho a 2156.67 kg/m³ con un 60% de este material, lo que equivale a una disminución del 9.15%; esto concuerda con Saeed & Hassan (2024) quienes determinaron que, para concentraciones de 5, 10, 15% y 20% de caucho granular, el peso unitario que se alcanza fue 2374, 2273, 2171 y 2069 kg/m³. Este comportamiento también coincide con Ismail et al. (2024), quienes también documentaron una disminución del peso unitario al aumentar la proporción de caucho granular, explicando que esta reducción se debe a la baja densidad del caucho en comparación con los agregados pétreos tradicionales. Este fenómeno es favorable para aplicaciones donde se requiera concreto ligero, aunque se debe evaluar cuidadosamente su impacto en propiedades mecánicas críticas, como la resistencia a compresión.

Respecto al asentamiento (slump), se observa una reducción en su trabajabilidad a medida que se incrementa el porcentaje de caucho granulado observado de 4 pulgadas en la mezcla sin caucho a 3.1 pulgadas con el 60% de caucho granular representa una disminución del 22.5%, concordando con Gonzáles & Asenjo (2024) cuyo asentamiento disminuye de 3.51", 3.14", 2.79" y 2.8" para el concreto con 0%, 10%, 25% y 50% de caucho. Esta disminución sugiere la poca trabajabilidad del concreto, atribuida a la textura del caucho granular, que reduce la fricción interna entre las partículas. Por otro lado, estudios como el de Saeed & Hassan (2024) donde el asentamiento disminuyó de 220 mm (8") a 185 mm (7"), cuando se aumentó la cantidad de caucho granulado de 0% a 25%, Trujillo & Cabrera (2024) donde el slump fue de 8" a 6" cuando se adicionó 10% de caucho y el estudio de Bastiani et al. (2024) donde se incorporó plastificante para mantener la fluidez del concreto, reportaron que la trabajabilidad puede verse afectada negativamente en proporciones más altas de

caucho debido a la formación de vacíos oclusos. Pero, en este caso, las mezclas permanecieron dentro del rango óptimo de 3 a 4 pulgadas, garantizando una adecuada cohesión de la mezcla.

El contenido de aire mostró un incremento progresivo desde 2% en la mezcla base hasta 3.1% con un 60% de caucho granular, lo que representa un aumento del 55%. Este fenómeno es consistente con los resultados de Gonzáles & Asenjo (2024), quienes observaron un incremento del contenido de aire en mezclas con mayores proporciones de caucho. Este aumento se debe a la textura porosa e irregular del caucho granular, que tiende a atrapar más aire en la mezcla, afectando potencialmente la densidad y resistencia del concreto. Aunque las mezclas con 10% y 20% de caucho permanecieron dentro del límite esperado de 2.5%, las mezclas con 40% y 60% superaron este umbral, lo que indica la necesidad de ajustes en el diseño para mitigar los efectos negativos de un mayor contenido de aire.

La temperatura de la mezcla aumentó de manera constante desde 18.1 °C en la mezcla sin caucho a 19.4 °C con el 60%, reflejando un incremento del 7.18%, aunque siendo menores a los valores obtenidos por Trujillo & Cabrera (2024) cuya mezcla de concreto fresco con 0%, 5%, 7.5% y 10% de caucho obtuvo temperaturas de 28.1, 26.8, 27.5 y 29.6 °C, pero concordando con Gonzáles & Asenjo (2024) que determinaron que la temperatura de la mezcla de concreto aumentaba a 21.67, 23.50, 25.50 y 28 °C cuando se utilizaba 0, 10, 25 y 50% de caucho. Este resultado puede explicarse por la baja conductividad térmica del caucho granular, que tiende a retener el calor, como también señalaron Na & Lee (2024). Aunque este aumento de temperatura puede ser beneficioso en climas fríos

al acelerar el fraguado, pero debe controlarse en condiciones cálidas para evitar efectos adversos en el proceso de hidratación del cemento.

En cuanto al tiempo de fraguado inicial, este se incrementó de 45 minutos en la mezcla sin caucho a 61 minutos con el 60% de caucho granular, lo que representa un aumento del 35.56%. Este resultado se atribuye a las propiedades del caucho, que no participa en la hidratación del cemento, dejando más agua libre en la mezcla. Este hallazgo es consistente con Sales et al. (2024), quienes también observaron un retraso en el fraguado debido a la interferencia física del caucho granular en la compactación y cohesión del concreto. Aunque este efecto es manejable en proporciones moderadas, debe considerarse en diseños que requieran un endurecimiento rápido.

Las características físico mecánicas (variación dimensional, alabeo, absorción, peso unitario, peso, resistencia a la compresión, resistencia a flexión) de los adoquines tipo I de concreto con adición de caucho granular reciclado varían significativamente de acuerdo al porcentaje de caucho granular utilizado en la mezcla de concreto.

En cuanto a la variación dimensional, todos los adoquines, independientemente del porcentaje de caucho granular incorporado, cumplieron con los límites normativos establecidos por la NTP 399.611 (2017), que permiten una variación máxima de ± 1.6 mm en longitud y ancho, y ± 3.2 mm en altura, esto concuerda con Lucano & Nuñez (2023) quienes mencionaron que, el cambio dimensional y la distorsión para bloques con 0%, 10%, 20% y 25% de caucho granular fueron del 9.71%, 9.87%, 11.02% y 9.82%, respectivamente, pero cumplieron con el estándar normativo. Sin embargo, se observó un ligero incremento en las desviaciones dimensionales en los adoquines con mayor

contenido de caucho, particularmente en la altura y longitud. Este comportamiento podría deberse a la textura del caucho granular y a su baja densidad, que dificultan el moldeo uniforme de las piezas. Resultados similares fueron reportados por Gonzáles & Asenjo (2024), quienes destacaron la influencia del caucho en la estabilidad dimensional del concreto ligero.

El alabeo, tanto en convexidad como en concavidad, mostró valores dentro del rango permitido de 2 mm para todos los adoquines. El mayor valor registrado fue de 0.50 mm en convexidad en los adoquines con adición de caucho, lo que evidencia que la incorporación de este material no afecta significativamente la estabilidad superficial de las piezas. Este hallazgo coincide con Mamani & Mamani (2024), quienes indicaron que la adición de caucho no compromete la planicidad ni la funcionalidad de los adoquines.

Respecto a la absorción de agua, los adoquines con 0% y 10% de caucho granular presentaron valores de 5.47% y 6.67%, respectivamente, cumpliendo con el límite de 7.5% establecido por la norma. Sin embargo, los adoquines con 20%, 40% y 60% de caucho superaron este umbral, alcanzando valores de 7.73%, 7.90% y 8.23%, respectivamente. Este incremento en la absorción se atribuye a la naturaleza porosa del caucho granular, que introduce vacíos accesibles en la matriz del concreto. de Bastiani et al. (2024) reportaron un comportamiento similar, donde la absorción de las mezclas con 0%, 5%, 10% y 15% de caucho granular fue 4%, 9%, 8% y 9.5%, respectivamente, destacando que la porosidad del caucho aumenta la capacidad de absorción de las mezclas de concreto. Concordando también con, Ismail et al. (2024) quienes determinaron que, la absorción de los adoquines con 0%, 10%, 20%, 30%, 40% y 50% de caucho fue 3.5%, 7.5%, 11%, 13.5%, 14.5% y 15%, respectivamente. En cambio, Sales et al.

(2024) encontraron rangos de disminución de la absorción para ciertos porcentajes de caucho granular, la absorción de los adoquines con 0%, 10%, 20%, 30% y 40% de caucho fue 7%, 10%, 3.79%, 4.07% y 3.73%, respectivamente, no obstante, esta diferencia se debe al uso del caucho en tiras, como fibras, y no como componente granular. También, Davila (2023) reportó mejoras en la absorción de los adoquines con adición de caucho, no obstante, estos autores no solamente utilizaron este material adicionante sino también PET, lo que puede haber influido a que, obtenga mejores características a absorción que en el presente estudio.

El peso unitario de los adoquines disminuyó con el incremento del porcentaje de caucho granular, pasando de 2271.20 kg/m³ en la mezcla sin caucho a 1989.40 kg/m³ con un 60%. Esta reducción, atribuida a la baja densidad del caucho, es consistente con Ismail et al. (2024), quienes observaron una disminución del peso unitario en adoquines de concreto con proporciones crecientes de caucho, adoquines con 0%, 10%, 20%, 30%, 40% y 50% de caucho alcanzaron 2500, 2450, 2250, 2000, 2050, 1950 kg/m³, respectivamente. Si bien este fenómeno facilita el transporte e instalación de los adoquines, debe evaluarse su impacto en otras propiedades mecánicas, como la resistencia a compresión.

En cuanto a la resistencia a compresión, los adoquines con 0% y 10% de caucho granular cumplieron con el requisito normativo mínimo de 290 kg/cm² a los 28 días, alcanzando valores de 358.29 kg/cm² y 308.32 kg/cm², respectivamente. No obstante, los adoquines con 20%, 40% y 60% de caucho presentaron resistencias significativamente menores, con valores de 278.06 kg/cm², 239.43 kg/cm² y 193.33 kg/cm², respectivamente, incumpliendo el estándar. Estos resultados coinciden con Na & Lee (2024), Saleem et al. (2024) y Sales et al. (2024), quienes reportaron una disminución significativa en la

resistencia a compresión con el incremento del caucho debido a su menor rigidez y su limitada adherencia a la matriz de cemento. No obstante, si bien Helal et al. (2024) también determinaron que, la resistencia a compresión de los adoquines ecológicos era menor a incorporar mayor cantidad de caucho granulado, esto cambiaba si se trataba previamente el material adicionante, es decir cuando utilizaron caucho granulado pretratado con aditivos para mejorar su cohesión con los agregados, este presentaba mayor capacidad mecánica. Esta afirmación, es reforzada por Saeed & Hassan (2024) quienes determinaron que, si el caucho granular es tratado antes de su mezcla en el concreto puede aumentar hasta en 35% la resistencia a compresión cuando utiliza hasta 20% de caucho comprimido triturado.

A los 7 días, los adoquines con 0%, 10%, 20%, 40% y 60% de caucho granular alcanzaron resistencias a compresión de 282.99, 270.65, 258.22, 218.23 y 161.84 kg/cm², siendo relativamente mayores a las resistencias a compresión determinadas por de Bastiani et al. (2024) para adoquines con 0%, 5%, 10% y 15% de caucho granular de 31 MPa (316.11 kg/cm²), 18 MPa (183.55 kg/cm²), 16 MPa (163.16 kg/cm²), 8 MPa (81.58 kg/cm²), además que, en todos los casos a excepción de los adoquines con 60% de caucho granular superan el 60% del f_c esperado (290 kg/cm²).

A los 14 días, los adoquines con 0%, 10%, 20%, 40% y 60% de caucho granular alcanzaron resistencias a compresión de 317.54, 289.87, 269.90, 226.25 y 168.65 kg/cm², siendo relativamente mayores a las resistencias a compresión determinadas por de Bastiani et al. (2024) para adoquines con 0%, 5%, 10% y 15% de caucho granular de 36 MPa (367.09 kg/cm²), 19 MPa (193.75 kg/cm²), 17 MPa (173.35 kg/cm²) y 9 MPa (91.77 kg/cm²), además que, en todos los casos

a excepción de los adoquines con 40% y 60% de caucho granular superan el 90% del $f'c$ esperado (290 kg/cm^2).

A los 28 días, los adoquines con 0%, 10%, 20%, 40% y 60% de caucho granular alcanzaron resistencias a compresión de 358.29, 308.32, 278.06, 239.43 y 193.33 kg/cm^2 , siendo relativamente mayores a las resistencias a compresión determinadas por de Bastiani et al. (2024) para adoquines con 0%, 5%, 10% y 15% de caucho granular de 40 MPa (407.89 kg/cm^2), 22 MPa (224.34 kg/cm^2), 20 MPa (203.94 kg/cm^2), 10 MPa (101.97 kg/cm^2), respectivamente. También supera las resistencias determinadas por Ismail et al. (2024) para adoquines con 0%, 10%, 20%, 30%, 40% y 50% de caucho que fue 33.31 MPa (339.67 kg/cm^2), 15.86 MPa (161.73 kg/cm^2), 6.68 MPa (68.12 kg/cm^2), 4.83 MPa (49.23 kg/cm^2), 2.88 MPa (29.37 kg/cm^2) y 2.72 MPa (27.74 kg/cm^2).

La reducción en la resistencia a compresión respecto al $f'c$ esperado (290 kg/cm^2) al utilizar 60% de caucho granular es del 33%, concordando con Saleem et al. (2024) cuya resistencia inicial de los adoquines ($45 \text{ MPa} - 458 \text{ kg/cm}^2$) se redujo en 33% y 37.67% al utilizar caucho granulado angular y fibroso, respectivamente. A la vez esto concuerda con Embaye (2024) cuyo rango de reducción de la resistencia fue de 2-12% para el reemplazo del 5%, de 4-20% para el reemplazo del 10% y de 13-22% para el reemplazo del 15% de la arena por caucho granular, mientras que, en la presente investigación la reducción del $f'c$ esperado fue de 4%, 17% y 33%, respectivamente para los adoquines con 20%, 40% y 60% de caucho granular. Siendo así, los adoquines con 0% y 10% de caucho granular si superan el $f'c$ esperado en 24% y 6%, respectivamente, concordando con Livia & Chero (2023) quienes determinaron que, a pesar de la

reducción en la resistencia a compresión del concreto respecto a la mezcla base, la capacidad mecánica supera el f_c esperado al adicionar hasta 9% de caucho.

La resistencia a flexión mostró una reducción gradual conforme aumentaba el contenido de caucho granular. A los 28 días, la resistencia a flexión disminuyó de 120.55 kg/cm² en los adoquines sin caucho a 109.11 kg/cm², 90.58 kg/cm², 85.68 kg/cm² y 76.83 kg/cm² en los adoquines con 10%, 20%, 40% y 60% de caucho, respectivamente. Aunque todos los adoquines cumplieron con el criterio de que la resistencia a flexión debe ser al menos el 10% de la resistencia a compresión, estas disminuciones reflejan una pérdida de rigidez en el material, siendo las reducciones de 9.48%, 24.86%, 28.92% y 36.27% para los adoquines con 10%, 20%, 40% y 60% de caucho granular, respecto a la resistencia a flexión de los adoquines sin caucho. Concordando con Trujillo & Cabrera (2024) cuya resistencia a flexión base de los adoquines (78.86 kg/cm²) también se reduce en porcentajes correspondientes de 13.13%, 20% y 31.25% (52.84 kg/cm²) al utilizar 5%, 7.5% y 10% de caucho granular. Esto también, es consistente con Helal et al. (2024), quienes indicaron que la flexión disminuye en 13.4% con el incremento del caucho no tratado, no obstante, dichos autores también recalcan que, el uso de caucho granular tratado podría aumentar la resistencia a flexión hasta en 25.1%.

Finalmente, los adoquines tipo I con 0% y 10% de caucho granular reciclado cumplen con los estándares normativos y muestran un equilibrio aceptable entre peso y resistencia. Sin embargo, proporciones superiores al 10% comprometen propiedades críticas como la resistencia a compresión y la absorción de agua, limitando su aplicación en entornos exigentes, tal como destacan, de Bastiani et al. (2024) cuya dosis óptima sugerida es de 10% de caucho granular, Shujahat et al. (2024) cuya dosis máxima sugerida es del 10%, Saleem

et al. (2024) con la dosis máxima de 8%, Trujillo & Cabrera (2024) con la dosis sugerida de 5%, Revilla (2024) también con la dosis máxima de 5%, Lucano & Nuñez (2023) con la dosis óptima de 13%; pero difiere de Sales et al. (2024) que sugieren dosis de hasta 20% caucho, no obstante cabe recalcar que, dichos autores incorporaron el caucho en forma de tiras como fibras y no como componente granular, lo que, ha generado que tengan mayores porcentajes de aditamento favorables; también difiere de Helal et al. (2024) y Na & Lee (2024) quienes también sugieren la adición de hasta 20% de caucho granulado, pero en este caso, los autores sugieren el pretratamiento del caucho granulado antes de su aplicación en la mezcla para mejorar su cohesión con los agregados. Por tanto, estos hallazgos destacan la necesidad de optimizar el porcentaje de caucho en la mezcla para garantizar un desempeño adecuado en pavimentos peatonales, considerando tanto los beneficios de sostenibilidad como las restricciones técnicas del material.

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Al caracterizar el comportamiento mecánico de adoquines tipo I con adición de caucho granular reciclado para pavimentos de uso peatonal, Chota, se ha concluido de forma general que, la adición de caucho granular afecta significativamente el comportamiento mecánico de los adoquines tipo I, con correlación de Pearson negativa y moderada con valor de -0.938, donde, solo los adoquines con 0% y 10% de caucho lograron cumplir con los estándares de resistencia establecidos para aplicaciones en pavimentos de uso peatonal. Las conclusiones específicas son:

- 1) Las propiedades físicas y mecánicas del agregado fino, agregado grueso y caucho granular reciclado presentan características distintas que influyen directamente en el comportamiento del concreto. El agregado fino, con módulo de finura de 2.22, se clasifica como arena de granulometría fina y requiere tamizado para eliminar el exceso de partículas finas, aunque cumple con los requisitos funcionales al lograr un concreto que satisface el diseño estructural. La piedra chancada, con un módulo de finura de 2.91 y una abrasión de 25.07%, se encuentra dentro de los límites de la NTP 400.037 (2021) y garantiza una alta resistencia al desgaste, asegurando su idoneidad para aplicaciones en concreto estructural. Mientras que, por su parte, el caucho granular, con módulo de finura de 3.03, destaca por su gradación uniforme, baja densidad (1.04 g/cm^3) y comportamiento hidrófobo.
- 2) La adición de caucho granular reciclado en las mezclas de concreto para adoquines tipo I influye significativamente en sus propiedades físicas y

reológicas. El peso unitario disminuye progresivamente con el aumento del porcentaje de caucho, pasando de 2373.89 kg/m^3 (concreto sin caucho) a 2156.67 kg/m^3 (concreto con 60% de caucho) lo que resulta en un concreto más ligero. El asentamiento disminuye, influenciando en la trabajabilidad a medida que se incrementa el porcentaje de caucho granular, pasando de 4 a 3.1 pulgadas. Sin embargo, el contenido de aire y la temperatura también aumentan, superando los límites esperados en mezclas con 40% y 60% de caucho, lo que puede afectar la cohesión y resistencia del material. Finalmente, el tiempo de fraguado inicial se prolonga a medida que incrementa la proporción de caucho, debido a sus características hidrófobas y baja densidad, lo que retrasa la hidratación del cemento.

- 3) Respecto a las características geométricas de los adoquines con 0%, 10%, 20%, 40% y 60% de caucho granular presentan variación dimensional menor a $\pm 1.6 \text{ mm}$ en longitud y ancho, y a $\pm 3.2 \text{ mm}$ en altura, así mismo, el alabeo convexo y cóncavo no supera los 2 mm, por lo que cumple en todos los casos con la NTP 399.611 (2017), pero los adoquines con 20%, 40% y 60% de caucho no cumplen con las características físicas y mecánicas. Los adoquines tipo I con 0% y 10% de caucho granular reciclado cumplen con los requisitos normativos, presentando un adecuado equilibrio entre peso y resistencia mecánica. Sin embargo, porcentajes superiores al 10% generan incrementos en la absorción de agua (siendo 5.47%, 6.67%, 7.73% y 8.23% para adoquines con 0%, 10%, 20%, 40% y 60% de caucho granular, respectivamente) y reducciones significativas en la resistencia a compresión (siendo 358.29, 308.32, 278.06, 239.43 y 193.33 kg/cm^2 para adoquines con 0%, 10%, 20%, 40% y 60% de caucho granular, respectivamente) y flexión (siendo 120.55,

109.11, 90.58, 85.68 y 76.83 kg/cm² para adoquines con 0%, 10%, 20%, 40% y 60% de caucho granular, respectivamente), comprometiendo su desempeño en aplicaciones estructurales exigentes. En la zona elástica los adoquines mostraron una capacidad de deformación reversible, sin embargo, al alcanzar la zona plástica el comportamiento del material cambio mostrándose deformaciones permanentes reflejando un cambio en el comportamiento del material influenciadas por la adición de caucho granular.

5.2. Recomendaciones y/o sugerencias

Se recomienda realizar un tamizado previo al uso de la arena de granulometría fina para eliminar el exceso de partículas finas y mejorar la trabajabilidad del concreto. Asimismo, se sugiere continuar utilizando la piedra chancada y el caucho granular reciclado en proporciones controladas, dado su cumplimiento normativo y propiedades mecánicas favorables.

Se recomienda limitar el contenido de caucho granular reciclado en las mezclas de concreto a un máximo del 10% para mantener el peso unitario dentro de un rango aceptable, garantizar una trabajabilidad adecuada y evitar incrementos significativos en el contenido de aire, así como variaciones en el tiempo de fraguado. Además, es importante monitorear las propiedades reológicas de la mezcla durante su elaboración para mantener su cohesión y desempeño estructural.

Se recomienda restringir la adición de caucho granular reciclado a un máximo del 10% en la producción de adoquines tipo I, asegurando así un adecuado equilibrio entre absorción de agua, resistencia a compresión y flexión, cumpliendo con las normativas vigentes. Para proporciones mayores de caucho, se sugiere explorar su uso en aplicaciones menos exigentes donde la reducción de

resistencia mecánica no sea un factor crítico o mejorar sus características mecánicas con el uso de aditivos plastificantes que mejoren la cohesión entre los agregados, siendo estos temas para futuras investigaciones.

CAPÍTULO VI.

REFERENCIAS

- ACI 211.1. (2022). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete, reapproved 2022*. American Concrete Institute. ACI Committee 211 .
- ACI-211.1. (2022). *ACI PRC-211.1-22: Selecting Proportions for Normal-Density and High Density-Concrete - Guide*. American Concrete Institute (ACI).
- Albano, C., Camacho, N., Hernandez, M., Bravo, A. J., & Guevara, H. (2008). Estudio de concreto elaborado con caucho de reciclado de diferentes tamanos de particulas. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 23(1). http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652008000100005
- Angelo, A. A., Sasai, K., & Kaito, K. (2023). Assessing Critical Road Sections: A Decision Matrix Approach Considering Safety and Pavement Condition. *Sustainability*, 15(9), 1-20. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su15097244>
- Bahamondes, R., Echaverguren, T., & Vargas-Tejada, S. (2013). Análisis de métodos de diseño de pavimentos de adoquines de hormigón. *Revista de la Construcción*, 12(3), 17-26. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-915X2013000300002>
- Behar, D. (2008). *Metodología de la Investigación. Clasificación de los tipos de estudio*. Editorial Shalom. [https://doi.org/ISBN 978-959-212-783-7](https://doi.org/ISBN%20978-959-212-783-7)
- Beltrán, A. A. (2020). *Efecto de la adición de caucho reciclado molido en 1%, 3% y 5%, en la resistencia a la compresión en un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, Ancash 2020*. [Tesis de grado, Universidad San Pedro].
- Bustamante, M. H. (2023). *Mejoramiento de la capacidad portante del suelo natural de cimentación adicionando residuos triturados de neumáticos sector 3 de la Ciudad de Chota*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de Chota]. <http://hdl.handle.net/20.500.14142/366>
- Byond. (Enero de 01 de 2013). *Subvenciones a empresas de alta tecnología e intensivas en conocimiento en áreas prioritarias de la RIS3 [EATIC]. ¿Qué tipos de pavimentos hay y cómo elegir el más adecuado?* : <https://www.byond.es/blog/tipos-de-pavimentos/>

- Carranza, K. J. (2021). *Evaluación de una mezcla asfáltica adicionando residuos de neumáticos, Chota*. [Tesis de grado para optar el título de ingeniero civil, Universidad Nacional Autónoma de Chota].
- Castro, D. (2019). *Comportamiento del concreto a altas temperaturas con material reciclado: Polvo de Caucho y Vidrio Sódico Cálcico*. [Tesis de grado, Universidad Señor de Sipán]. <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/6091/Castro%20Montoya%2c%20Diana%20Vanessa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Clauser, N. M., Vallejos, M. E., & Area, M. C. (2014). Viabilidad técnica y económica en la producción de Productos a partir del bagazo de caña de azúcar. *JIDeTEV*, 1(4), 1-10.
- climatescience. (1 de septiembre de 2022). *Construcción: acero y cemento sostenibles*. climatescience: <https://climatescience.org/es/simple-construction>
- Craig Jr, R. R., & Taleff, E. M. (2020). *Mechanics of materials*. John Wiley & Sons.
- Davila, J. (2023). *Análisis de las propiedades físico-mecánicas del adoquín peatonal, adicionando caucho y PET reciclado Los Olivos, 2023*. [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/133153>
- de Bastiani, G. V., Ceconello, V., & Schäfer, M. (2024). Analysis of the use of rubber from tire treading on concrete pavers. *ARACÉ*, 6(3), 7004-7019. <https://doi.org/https://doi.org/10.56238/arev6n3-160>
- Delgado, A. J., & Legarda, P. (2011). *Correlación entre el módulo de rotura y la resistencia a compresión del concreto fabricado con materiales pétreos de la mina "Las Terrazas" y cantera "La Victoria" del municipio de Pasto*. [Trabajo de grado para optar el título profesional de ingeniero civil, Universidad de Nariño].
- Embaye, M. M. (2024). *Effects of Waste Rubber on the Strength and Other Properties of Concrete*. [Master's thesis, Ohio State University]. http://rave.ohiolink.edu/etdc/view?acc_num=osu1723989244511347
- Farfán, M., & Leonardo, E. (2018). Caucho reciclado en la resistencia a la compresión y flexión de concreto modificado con aditivo plastificante. *Rev. ing. constr*, 33(3), 241-250. <https://doi.org/https://doi.org/10.25100/iyv.v24i2.11741>
- Flores, D. (2013). *Diseño, fabricación, caracterización y aplicaciones constructivas de hormigones de consistencia seca con adiciones de materiales de procedencia*

- orgánica e inorgánica de neumáticos fuera de uso (NFUs)*. [Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Madrid].
- González, E., & Asenjo, D. A. (2024). *Análisis de la influencia del caucho granular en las propiedades físicas, mecánicas y termoacústicas del concreto liviano, y sus posibles usos en edificaciones de Chota*. [Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil, Universidad Nacional Autónoma de Chota]. <https://repositorio.unach.edu.pe/handle/20.500.14142/604>
- Grajales, T. (2000). *Tipos de investigación*. Efaind. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/<https://cmappublic2.ihmc.us/rid=1RM1F0L42-VZ46F4-319H/871.pdf>
- Helal, K. A., Tahwia, A. M., & Youssf, O. (2024). Performance of eco-friendly ECC made of pre-treated crumb rubber and waste quarry dust. *Journal of Building Engineering*, 97, 1-10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.job.2024.110820>
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta · Parte 1. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGrawHill Education. <https://doi.org/https://virtual.cuautitlan.unam.mx/rudics/?p=2612>
- Huamani, B. L. (2023). *Desempeño mecánico de adoquines de concreto para tránsito ligero incorporando residuos de soldadura como sustituto parcial del agregado*. [Tesis de grado, Universidad Señor de Sipan]. <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/12044>
- IECA. (2014). *Pavimentos con adoquines de hormigón*. Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA). http://www.andece.org/images/BIBLIOTECA/adoquines_de_hormigon.pdf
- INACAL. (25 de diciembre de 2015). NTP 399.604 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.
- INACAL. (2017). *NTP 399.611 2017. UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Adoquines de concreto para pavimentos. Requisitos, 3ª ed. INACAL*. <https://pdfcoffee.com/ntp-399611-2017-2-pdf-free.html>
- INACAL. (03 de enero de 2018). NTP 339.081 CONCRETO. Método de ensayo volumétrico para determinar el contenido de aire del concreto fresco. 3ª Ed. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.

INACAL. (03 de enero de 2018). NTP 339.082. CONCRETO. Método de ensayo para la determinación del tiempo de fraguado de mezclas por medio de la resistencia a la penetración. 4ª Ed. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.

INACAL. (06 de diciembre de 2019). NTP 339.046 CONCRETO. Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto. 3a Ed. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.

INACAL. (18 de febrero de 2020). NTP 400.017 AGREGADOS. Método de ensayo para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.

INACAL. (07 de diciembre de 2020). NTP 400.018 AGREGADOS. Determinación de materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 μm (No. 200) por lavado en agregados. Método de ensayo. 4a Ed. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.

INACAL. (26 de noviembre de 2020). NTP 400.019 AGREGADOS. Determinación de la resistencia al desgaste en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles. Método de ensayo. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.

INACAL. (01 de enero de 2020). NTP 400.021 AGREGADOS. Densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. Método de ensayo. *Instituto Nacional de Calidad*.

INACAL. (15 de noviembre de 2021). NTP 339.034 CONCRETO. Determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. Método de ensayo. 5a Ed. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.

INACAL. (15 de noviembre de 2021). NTP 339.184 CONCRETO. Determinación de la temperatura del concreto de cemento hidráulico recién mezclado. Método de ensayo. 3a Ed. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.

INACAL. (15 de noviembre de 2021). NTP 339.185 AGREGADOS. Determinación del contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Método de ensayo. 3a Ed. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.

INACAL. (15 de noviembre de 2021). NTP 400.012 AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino y grueso. Método de ensayo. 4a Ed. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.

- INACAL. (15 de noviembre de 2021). NTP 400.022 AGREGADOS. Determinación de la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. Método de ensayo. 4a Ed. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.
- INACAL. (2021). *NTP 400.037 AGREGADOS. Agregados para concreto. Especificaciones. 5a Ed.* Instituto Nacional de Calidad.
- INACAL. (24 de marzo de 2022). NTP 339.035 CONCRETO. Medición del asentamiento del concreto de cemento hidráulico. Método de ensayo. 5ª Ed. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.
- INACAL. (24 de marzo de 2022). NTP 339.078. CONCRETO. Determinación de la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios de la distancia entre apoyos. Método de ensayo. 4ª Ed. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.
- INACAL. (03 de julio de 2023). NTP 339.079 CONCRETO. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas en el centro del tramo. 4ª Ed. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.
- Ismail, T. N., Bose, A. G., Rahman, N. K., Ming, C. C., Mokhtar, H., & Yahya, N. F. (2024). Compressive Strength of Paver Block Using Rubber Tyre Waste and Bamboo Fibre Under Extreme Conditions. *Journal of Advanced Industrial Technology and Application*, 5(1), 83-92. <https://doi.org/https://publisher.uthm.edu.my/ojs/index.php/jaita/article/view/17879>
- Kabir, T. (2023). *Development of Porous Rubber Pavement for the Canadian Climate*. <http://hdl.handle.net/10012/19268>: [Theses civil and environmental Engineering, University of Waterloo].
- Karimi, H. R., Aliha, M. R., Khedri, E., Mousavi, A., Salehi, S. M., Haghghatpour, P. J., & Ebneabbasi, P. (2023). Strength and cracking resistance of concrete containing different percentages and sizes of recycled tire rubber granules. *Journal of Building Engineering*, 67(1), 1-10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106033>
- Karisma, D. A., Nursandah, F., & Rahmawaty, F. (2023). Utilization of Plastic Bottle Waste as Material for Making Sustainable Cement-Less Aesthetic Paving Blocks. *INERSIA Informasi dan Ekspose Hasil Riset Teknik Sipil dan Arsitektur*, 19(2), 1-10. <https://doi.org/10.21831/inersia.v19i2.67250>

- Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., & Tanessi, J. (2015). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. PCA Portland Cement Association. <https://ingenierosciviles.com.mx/Biblioteca/files/original/4e03b9ddedc81f98353a2e65478f0c50.pdf>
- Kühn, V. O., Oliveira, B. F., Chiarelto, M., & Canteras, F. B. (2024). Review and future perspectives on soil and groundwater inorganic contamination by non-sanitary landfills in Latin America. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1(1), 1-26. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s13762-024-06171-w>
- Ladino, Y. B., & Rubiano, Á. M. (2017). *Adoquines en Asfalto Reciclado y Grano de Caucho Reciclado CGR*. [Tesis de grado, Universidad la Gran Colombia]. https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/3328/Adoquines_asfalto_reciclado.pdf?seq
- Li, D., Zhuge, Y., Rahman, M., & Ma, X. (2020). Mix Design and Mechanical Properties of Rubberized Cement Stabilized Soil (RCSS) Pavers. In *ACMSM25: Proceedings of the 25th Australasian Conference on Mechanics of Structures and Materials*, 37, 591-603. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-13-7603-0_58
- Livia, V. F., & Chero, F. (2023). *Diseño de adoquín incorporando fibra de caucho para mejorar la resistencia del pavimento de la calle, Leoncio Prado, Sullana 2022*. [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo]. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/126192/Livia_PVF-Chero_PF-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Loor, R. C., & Menoscal, A. D. (2013). *Análisis comparativo de las características físico-químicas y petrográficas del agregado grueso de las canteras de los sectores de picoazá, cerro guayabal, el chorrillo que abastecen a la ciudad de manta y sus influencias en la resistencia del hormigón*. [Tesis de grado para obtener el título profesional de ingeniero civil, Universidad Laica Eloy Alfaro, Ecuador]. <https://doi.org/http://repositorio.ulead.edu.ec/handle/123456789/1485>
- Lucano, C. Y., & Nuñez, M. D. (2023). *Estudio del bloque portante de concreto sustituyendo agregado fino por caucho granulado de neumaticos reciclados, Chota-2022*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de Chota]. <https://repositorio.unach.edu.pe/handle/20.500.14142/408?show=full>

- Makoundou, C., Johansson, K., Wallqvist, V., & Sangiorgi, C. (2023). Rubber-and emulsion-based impact-absorbing paving material produced with cold and dry processes: Laboratory and in-situ study. *Construction and Building Materials*, *408*, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133496>
- Makoundou, C., Sangiorgi, C., Johansson, K., & Wallqvist, V. (2021). Development of functional rubber-based impact-absorbing pavements for cyclist and pedestrian injury reduction. *Sustainability*, *13*(20), 1-16. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su132011283>
- Mamani, M. R., & Mamani, M. (2024). *El Futuro de las ciudades: Adoquines de caucho reciclado como solución a la gestión de neumáticos usados*. IDEOS Centro de Investigación y Producción Científica. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9862373>
- Marín-Uribe, C. R., & Navarro-Gaete, R. (2021). Empirical relationships between compressive and flexural strength of concrete containing recycled asphalt material for pavement applications using different specimen configurations. *Materiales de construcción*, *71*(342), 1-11. <https://doi.org/https://doi.org/10.3989/mc.2021.11520>
- Martínez, Y. R., & Poveda, J. E. (2015). *Fabricación de adoquín a partir de un sistema de aprovechamiento de escombros en obra*. [Tesis de grado, Universidad la Gran Colombia]. <https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/4248/Monografia%20Sistema%20para%20Adoquines%20hipervinculada.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mayta, J. (2014). *Influencia del aditivo superplastificante en el tiempo de fraguado, trabajabilidad y resistencia mecánica del concreto, en la ciudad de Huancayo*. [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú].
- Metha, K., & Monteiro, P. (2014). *Concreto. Estructura, propiedades y materiales*. Imcyc. https://doi.org/https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/64487273/CONCRETO_ESTRUCTURA_PROPIEDADES_Y_MATERIALES%20PDF%20PORTLAND.pdf?1600721093=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DConcreto_Estructura_propiedades_y_materi.pdf&Expires=1712852967&Signature=fKC87h
- Mohamad, H. M., Bolong, N., Saad, I., Gungat, L., Ibrahim, M., Tioon, J., . . . Sikun, L. (2023). Development of concrete eco-paving blocks using crumb rubber granules

- and Eco-Processed Pozzolan. *Transactions on Science and Technology*, 10(2), 71-79. <https://doi.org/https://tost.unise.org/pdfs/vol10/no2-2/ToST-10x2-2x71-79xOA.pdf>
- MPCH. (2018). *Plan de desarrollo urbano PDU 2017-2027 Chota*. Municipalidad Provincial de Chota (MPCH).
- Mushunje, K., Otieno, M., & Ballim, Y. (2018). A review of Waste Tyre Rubber as an Alternative Concrete Constituent Material. *MATEC web of Conferences*, 1(199), 1-8. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819911003>
- MVCS. (2010). Norma CE.010 Pavimentos Urbanos. En C. y. Ministerio de Vivienda, *Reglamento Nacional de Edificaciones* (págs. https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo2/05_CE/Pavimentos_Urbanos.pdf). Instituto Nacional de Gerencia (ICG).
- Na, O., & Lee, G. (2024). Mechanical and Durability Properties of Rubberized Sulfur Concrete Using Waste Tire Crumb Rubber. *Materials*, 17(21), 1-19. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ma17215269>
- Neville, A. M., & Brooks, J. J. (2010). *Concrete technology (Vol. 438)*. England: Longman Scientific & Technical. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/36900631/_A.M_Neville__J_J_Brooks_Concrete_Technology_2nd_ed_Engineersdaily.com_-libre.pdf?1425837521=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3Dcivil_engineering_materials.pdf&Expires=1735763111&Signature=Exk
- Norblock Prefabricados. (13 de septiembre de 2019). *Adoquines de concreto*. Norblock Prefabricados: <https://web.facebook.com/norblockprefabricados/posts/497684987689716/>
- Noreña, A. L., Alcaraz-Moreno, N., Rojas, J. G., & Rebolledo-Malpica, D. (2012). Aplicabilidade dos critérios de rigor e éticos na pesquisa qualitativa. *Aquichan*, 12(3), 263-274. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1657-59972012000300006&script=sci_abstract&tlng=pt
- Paredes, J. M., & Bartra, M. P. (2024). Solid Waste Management from the Perspective of the Right to a Healthy Environment: Progress and Challenges in Peru, Mexico and Chile. *Journal of Ecohumanism*, 3(8), 7960-7970. <https://doi.org/https://doi.org/10.62754/joe.v3i8.5418>

- Paucar, S. (2023). *Efecto del material pasante del Tamiz N°200 del agregado fino en las propiedades del concreto fresco endurecido*. [Tesis de grado, Universidad Peruana Los Andes]. <https://hdl.handle.net/20.500.12848/6437>
- Pérez, T., Mateos, J. M., & Gómez, P. (1992). *Resistencia de Materiales*. Ediciones Universidad de Salamanca. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=CnYSoc1VsdK&oi=fnd&pg=PA13&dq=Teor%C3%ADa+de+la+resistencia+de+materiales&ots=btz3Sj1LP9&sig=LvfUyGE8lGe4WOdjCG84qx-zpcA#v=onepage&q=Teor%C3%ADa%20de%20la%20resistencia%20de%20materiales&f=false>
- Putzmeister. (2021). *¿Es el árido de su mezcla de shotcrete el adecuado? ¡Averigüelo con la curva granulométrica!* Putzmeister.: <http://bestsupportunderground.com/curva-granulometrica-para-shotcrete/>
- Quiroz, M., & Salamanca, L. (2006). *Apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje en la asignatura de «tecnología del hormigón*. Universidad Mayor de San Simón.
- Rea, R. A. (2022). *Elaboración de adoquines de concreto ecológico con adición de caucho y acero reciclado , para pavimentos de tránsito ligero Mazamari-2021*. [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/92666>
- Revilla, A. N. (2024). *Determinación de las propiedades físico mecánicas del concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$, sustituyendo parcialmente el agregado fino por residuos de llantas de caucho*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/6503>
- Reyes, F., & Pardo, y. L. (2022). *Viabilidad prototipo de adoquín ecológico utilizando granulo de caucho como agregado fino*. [Tesis de grado, Universidad Militar Nueva Granada]. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/44067>
- Reyes, L. J., Sierra, J. D., & Becerra, J. E. (2020). *Aplicación de caucho reciclado para uso en pavimento Rígido: analisis y perspectivas de investigación*. [Tesis de grado, Investigación e innovación en Ingenierías]. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/30434/2020linareyes.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Riaz, A., Yasir, N., Badin, G., & Mahmood, Y. (2024). Innovative Pavement Solutions: A Comprehensive Review from Conventional Asphalt to Sustainable Colored Alternatives. *Infrastructures*, 9(10), 1-10.

https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Agcd%3A15%3A30725583/detailv2?sid=ebsco%3Aplink%3Ascholar&id=ebsco%3Agcd%3A180526750&crl=c&link_origin=scholar.google.es

- Rueda, S. I. (2017). *Cálculo del índice de condición del pavimento articulado en un tramo de vía urbana del Municipio de la Calera Cundimarca*. Universidad Militar Nueva Granada.
- Saeed, N. M., & Hassan, H. Z. (2024). An overview of fresh and mechanical properties of rubberized concrete. *Discover Civil Engineering*, *1*(1), 14. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s44290-024-00016-8>
- Salazar, S. L. (2023). *Concreto - Cesar Useche*. Bibliocad: https://www.bibliocad.com/es/biblioteca/concreto_38689/
- Saleem, A., Ali, S., Ghafoor, M., & Imran, M. (2024). Effect of Crumb Rubber on Fresh and Mechanical Behaviour of OPC-based Concrete. *Technical Journal*, *3(ICACEE)*, *1*(1), 30-36. <https://tj.uettaxila.edu.pk/index.php/technical-journal/article/view/1903>
- Sales, S. L., Lacorte, S. J., Solsona, E. M., & Ana, T. K. (2024). Reusing Inner Lining Tire Strips (ILTS) as Partial Coarse Aggregate Replacement for Sustainable Rubber Paver Blocks (RPB). *TWIST*, *19*(1), 463-469. <https://doi.org/https://twistjournal.net/twist/article/view/183>
- Shujahat, R., Khan, R. W., & Khitab, A. (2024). Evaluation of Mechanical Performance of Concrete through the Integration of Crumb Rubber and Plant Residue. *Technical Journal of University of Engineering & Technology Taxila*, *1*(1), 309-316. <https://doi.org/https://tj.uettaxila.edu.pk/index.php/technical-journal/article/view/2046>
- Silvestre, A., Soto, M., & Marín, J. P. (2019). *Análisis del concreto con caucho como aditivo para aligerar elementos estructurales*. [Tesis de grado, Universidad Libre Seccional]. <https://hdl.handle.net/10901/17858>
- Solís, R., & Chan, G. (2020). Desgaste por abrasión del concreto con agregado calizo de alta absorción. *Ciencia UANL*(103). <https://doi.org/https://doi.org/10.29105/cienciauanl23.103-3>
- Solouki, A., Tataranni, P., & Sangiorgi, C. (2022). Mixture optimization of concrete paving blocks containing waste silt. *Sustainability*, *14*(1), 1-15. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su14010451>

- Tasalloti, A., Chiaro, G., Murali, A., & Banasiak, L. (2021). Physical and mechanical properties of granulated rubber mixed with granular soils—a literature review. *Sustainability*, 13(8), 1-10. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su13084309>
- Trujillo, A. G., & Cabrera, F. V. (2024). *Evaluación de las Propiedades Mecánicas del Concreto con Caucho Granulado Reciclado como Reemplazo Parcial de la Arena para Pavimentos Rígidos*. [Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)]. <http://hdl.handle.net/10757/674463>
- Tung, C. (2011). Prediction of density and compressive strength for rubberized concrete blocks. *Construction and Building Materials*, 25(11), 4303 - 4306. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.04.074>
- Yachas, D. E. (2023). *Fibras de caucho de neumáticos reciclados en el comportamiento del concreto estructural para la utilización en las obras civiles de la provincia de Pasco- 2023*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/3677>
- Zarini, A. (2010). *Alternativas de reutilización y reciclaje de neumáticos en desuso*. [Tesis de grado, Instituto Tecnológico de Buenos Aires]. <http://ri.itba.edu.ar/handle/123456789/507>

CAPÍTULO VII. ANEXOS

Anexo A. Matriz de consistencia

Título del Proyecto: Caracterización del comportamiento mecánico de adoquines tipo I con adición de caucho granular reciclado para pavimentos de uso peatonal, Chota, 2024

Tesista(s): Nelder Joselito Quintana Mendoza, Neyser Vásquez Núñez

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
¿Cuánto varía la caracterización del comportamiento mecánico de adoquines tipo I con adición de caucho granular reciclado para pavimentos de uso peatonal, Chota, 2024?	<p>Objetivo general Caracterizar el comportamiento mecánico de adoquines tipo I con adición de caucho granular reciclado para pavimentos de uso peatonal, Chota, 2024.</p>	<p>El comportamiento mecánico de adoquines tipo I varía significativamente con adición de caucho granular reciclado para pavimentos de uso peatonal, Chota, 2024.</p>	VI Caucho granular reciclado	Pavimentos de adoquines de uso peatonal	Porcentaje de adición de caucho granular	<p>Enfoque cuantitativo Tipo Aplicada Nivel Explicativo Diseño Experimental de diseño clásico de pre test y post test Muestra: 180 adoquines tipo I de concreto con adición de caucho granular reciclado con 0%, 10%, 20%, 40% y 60% del volumen de agregados utilizados en la mezcla de concreto $f'c$ 290 kg/cm², para pavimentos de uso peatonal en el distrito de Chota.</p>
	<p>Objetivos específicos Determinar las propiedades físicas y mecánicas de la arena, piedra chancada y caucho granular reciclado utilizado en la producción de adoquines tipo I de concreto. Analizar el asentamiento – slump, contenido de aire, peso unitario, temperatura, tiempo de fraguado de la mezcla de concreto con adición de caucho granular para la producción de adoquines tipo I de concreto. Evaluar las características físico mecánicas (variación dimensional, alabeo, absorción, peso unitario, peso, resistencia a la compresión, resistencia a flexión) de los adoquines tipo I de concreto con adición de caucho granular reciclado.</p>		<p>VD Comportamiento mecánico de adoquines tipo I</p>	<p>Propiedades de la mezcla fresca</p> <hr/> <p>Propiedades geométricas de los adoquines</p> <hr/> <p>Propiedades físicas de los adoquines</p> <hr/> <p>Propiedades mecánicas de los adoquines</p>	<p>Trabajabilidad (asentamiento)</p> <hr/> <p>Densidad</p> <hr/> <p>Temperatura</p> <hr/> <p>Contenido de aire</p> <hr/> <p>Tiempo de fraguado</p> <hr/> <p>Variación dimensional</p> <hr/> <p>Alabeo</p> <hr/> <p>Absorción</p> <hr/> <p>Peso unitario</p> <hr/> <p>Peso</p> <hr/> <p>Resistencia a compresión</p> <hr/> <p>Resistencia a flexión</p>	

Anexo B. Panel fotográfico

Fotografía 1. Vista de la cantera de Agregado Fino: Cantera de Arena de Conchán



Fotografía 2. Vista de la cantera de piedra chancada: Cantera Chuyabamba



Fotografía 3. Recolección de neumáticos a las afueras de la ciudad de Chota para la obtención de caucho granular



Fotografía 4. Tesistas realizando el ensayo de granulometría agregado fino



Fotografía 5. Ensayo contenido de humedad agregado fino



Fotografía 6. Realizando el lavado de la arena en el ensayo de la cantidad de finos que pasa la malla #200



Fotografía 7. Ensayo peso unitario del agregado fino



Fotografía 8. Prueba del molde cónico para encontrar la condición de SSS en el agregado fino



Fotografía 9. Ensayo para encontrar el peso específico del agregado fino



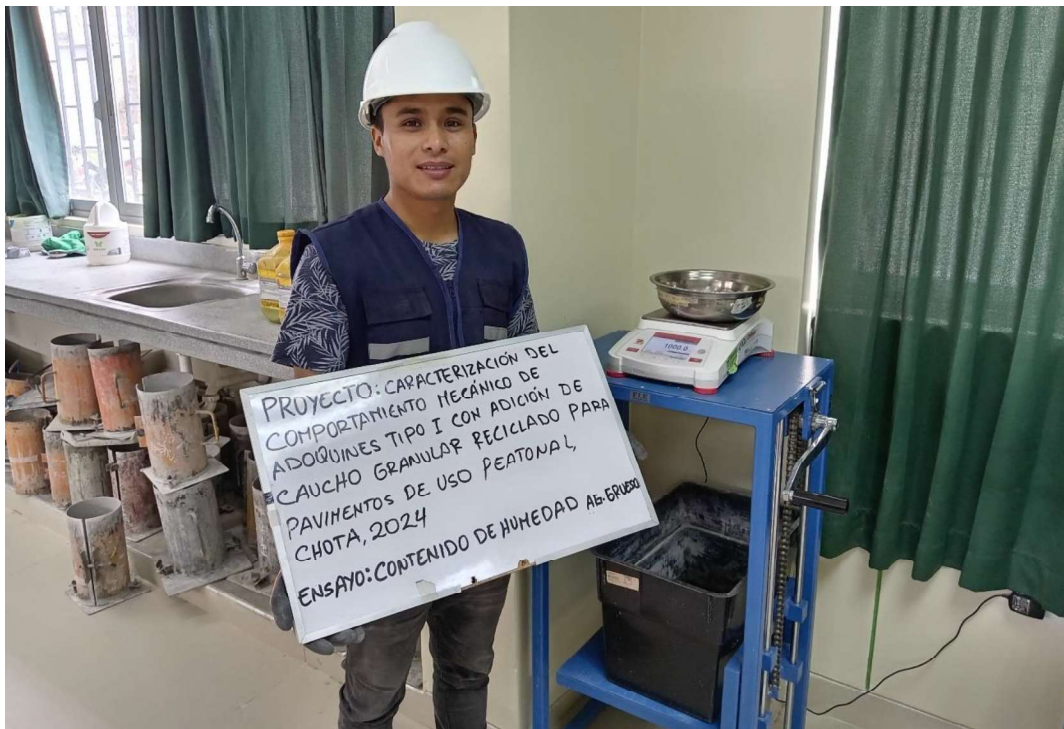
Fotografía 10. Ensayo de granulometría en el agregado grueso



Fotografía 11. Peso unitario agregado grueso



Fotografía 12. Contenido de humedad agregado grueso



Fotografía 13. Ensayo de abrasión agregado grueso



Fotografía 14. Realizando el secado del agregado grueso para el ensayo de peso específico y absorción



Fotografía 15. Realizando el peso sumergido en agua de la muestras de agregado grueso



Fotografía 16. Ubicando las muestras en el horno para realizar el respectivo secado



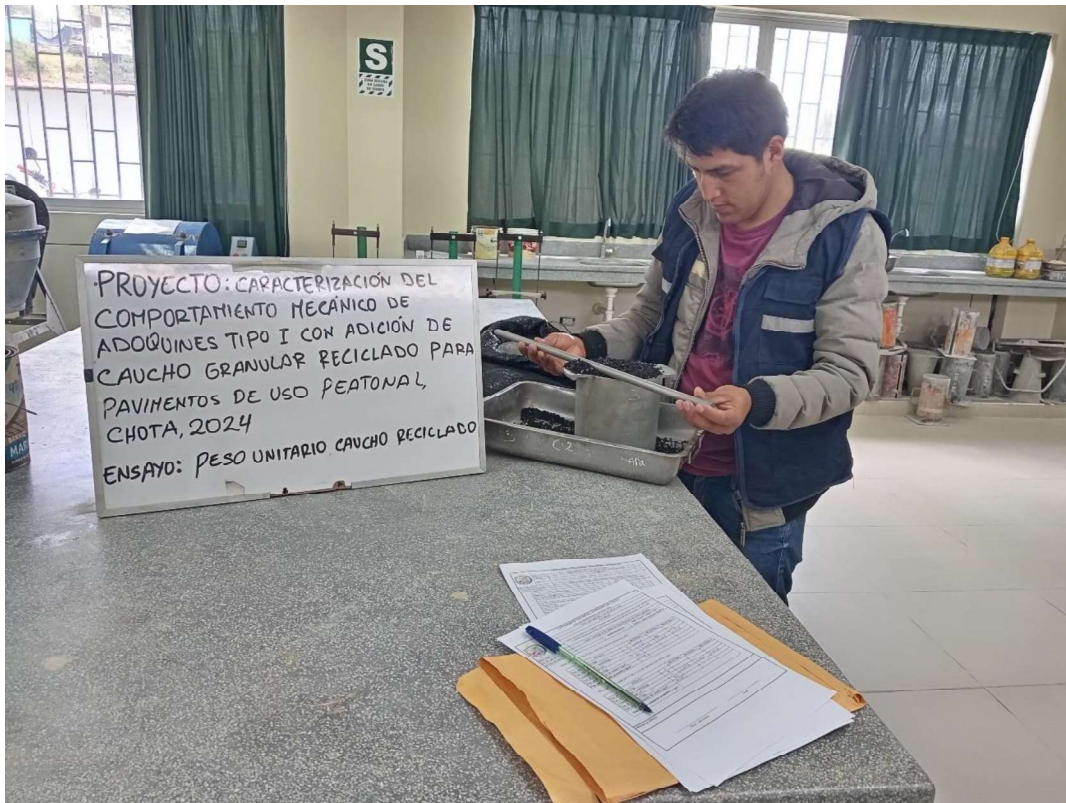
Fotografía 17. Ensayo de peso específico en la muestra de caucho granular: Condición SSS



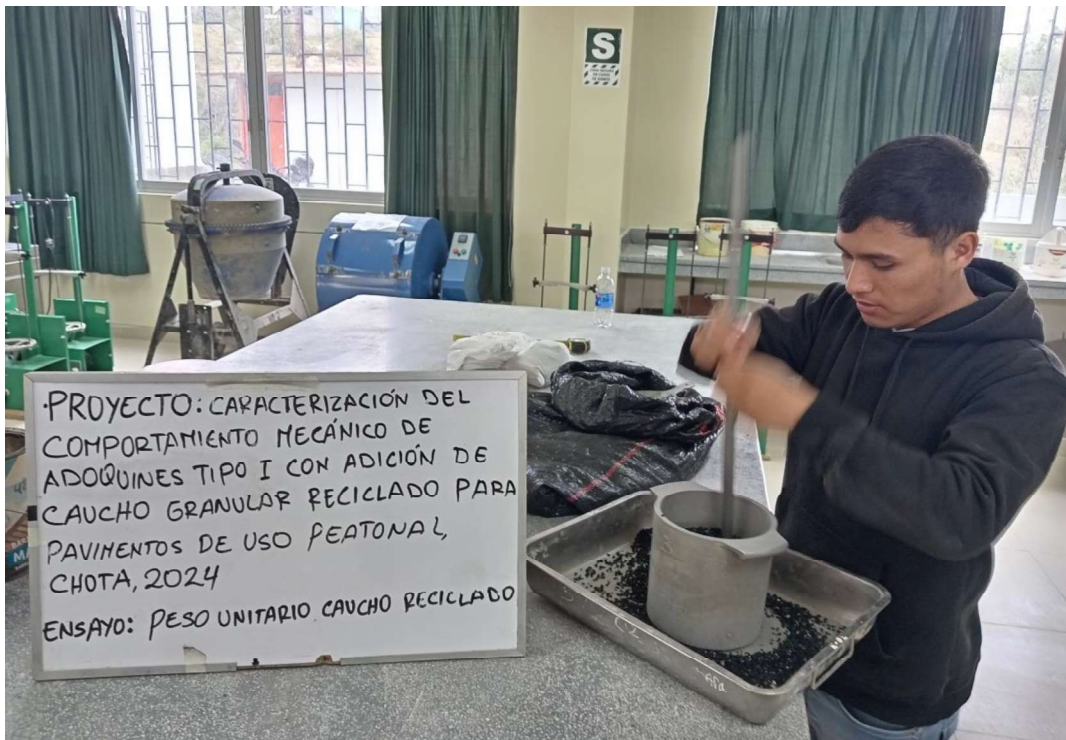
Fotografía 18. Ensayo de peso específico en la muestra de caucho granular



Fotografía 19. Ensayo de peso unitario suelto del caucho granulado



Fotografía 20. Ensayo de peso unitario compactado del caucho granulado



Fotografía 21. Proceso de elaboración de la mezcla de concreto para la producción de adoquines



Fotografía 22. Medición de temperatura en la mezcla de concreto



Fotografía 23. Ensayo de asentamiento con el cono de Abrams



Fotografía 24. Ensayo contenido de aire en la mezcla de concreto: Varillado



Fotografía 25. Ensayo contenido de aire en la mezcla de concreto: Medición del contenido de aire con la Olla Washington



Fotografía 26. Realizando el llenado de moldes



Fotografía 27. Curado de bloques con diferentes dosificaciones de caucho granulado



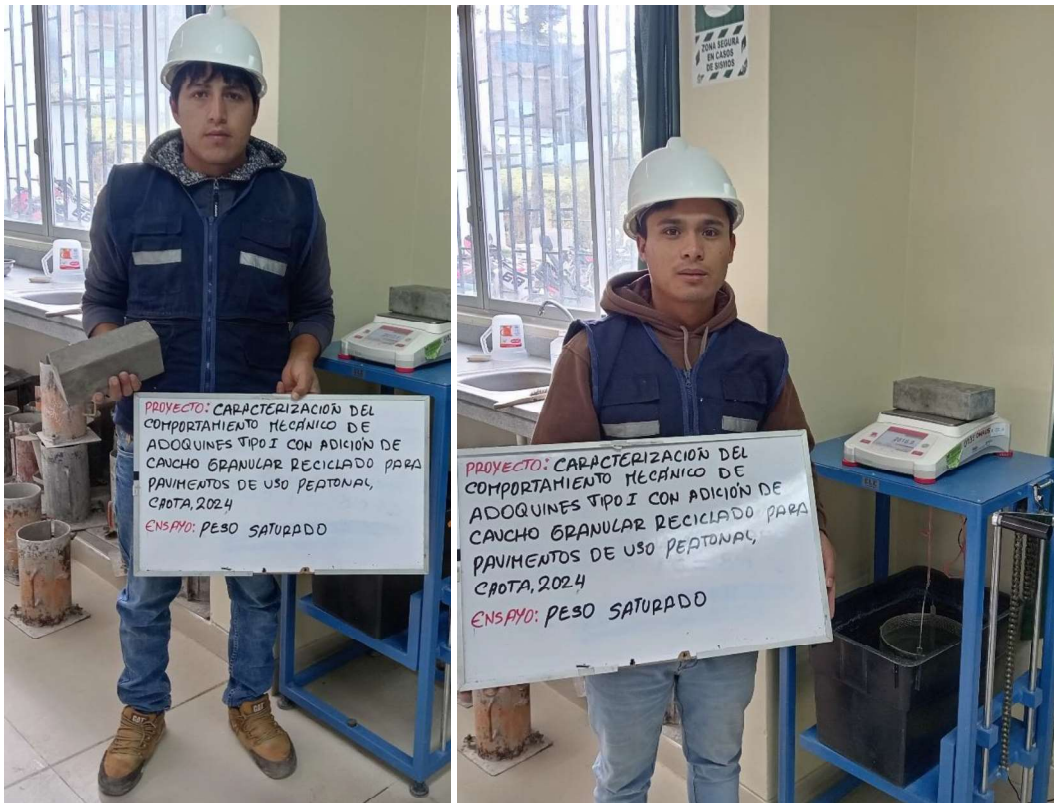
Fotografía 28. Medición de las dimensiones del bloque



Fotografía 29. Ensayo de alabeo con ayuda de una cuña



Fotografía 30. Peso del bloque de concreto en condición de saturado



Fotografía 31. Peso del Bloque de Concreto en Condición sumergido



Fotografía 32. Adoquines en el horno para la absorción



Fotografía 33. Ensayo de Resistencia a la Compresión a los (7 días)



Fotografía 34. Ensayo de Resistencia a la Compresión a los (14 días)



Fotografía 35. Ensayo de Resistencia a la compresión a los (28 días) en compañía con el asesor



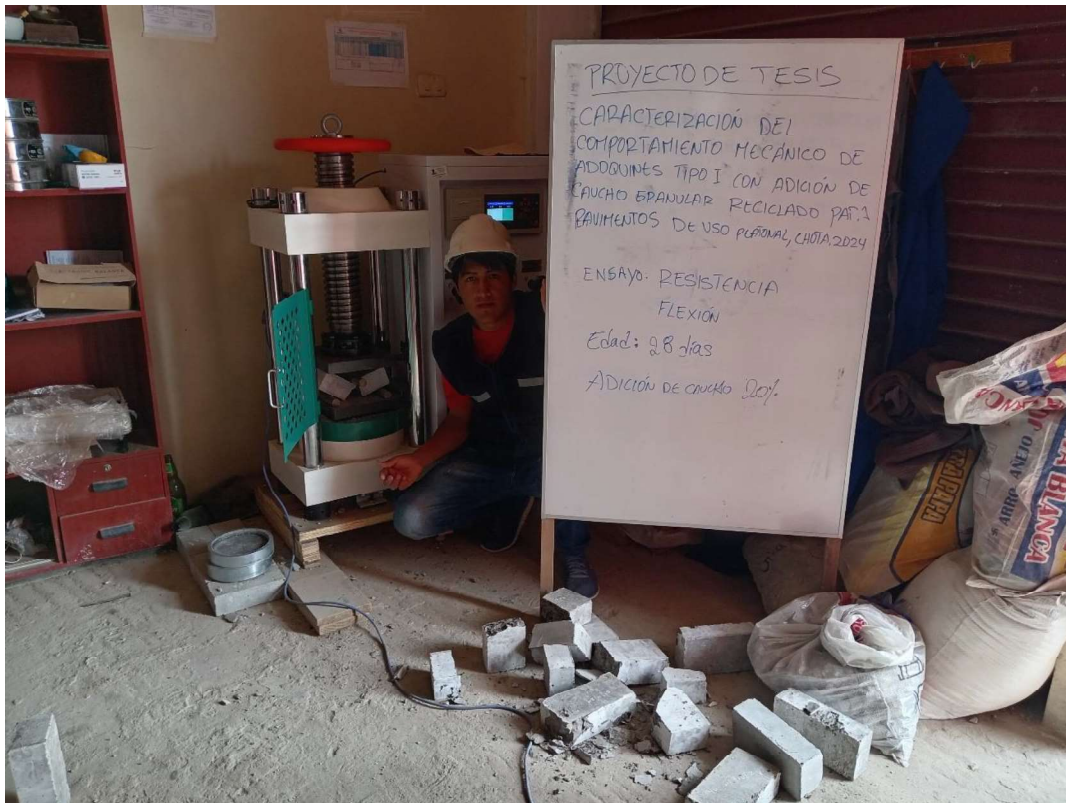
Fotografía 36. Realizando el ensayo a flexión de los adoquines (7 días)



Fotografía 37. Realizando el ensayo a flexión de los adoquines (14 días)



Fotografía 38. Realizando el ensayo a flexión de los adoquines (28 días)



Anexo C. Documentación

Documento 1: Aprobación para la realización de ensayos de mecánica de materiales en laboratorio externo



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Ley de Creación N° 29531

LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 160-2018-SUNEDU/CD
COORDINACIÓN DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

"Año del bicentenario, de la consolidación de nuestra independencia, y de la
conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"



Chota, 24 de setiembre del 2024

CARTA N°076- 2024-UNACH-CFCI-ENCHV

Jovenes:
Neyser Vásquez Núñez y Nelder Joselito Quintana Mendoza.
tesistas

ASUNTO : Autorización concedida.

Referencia : FUT N°389-2024.

Me dirijo a usted para expresarle mi saludo cordial y manifestarle que cuenta con mi autorización para llevar a cabo sus ensayos de mecánica de suelos en el laboratorio CIEXLIAN S.R.L, ubicado en Psje. Cruz Ramirez N° 155- ciudad de Chota, quedando bajo su responsabilidad presentar los documentos que expresan los resultados encontrados, en papel membretado con el logo de la empresa, debidamente firmados por el responsable técnico del laboratorio y visado por el dueño y/o representante legal de la empresa.

Sin otro particular, expreso las muestras de mi especial consideración y estima personal

Atentamente,

DR.ING. ELMER NATIVIDAD CHÁVEZ VÁSQUEZ
COORDINADOR DE LA FCI
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA

Documento 2: Certificado de INDECOPI del laboratorio CIEXLIAN



Presidencia
del Consejo de Ministros

INDECOPI



Firmado digitalmente por:
CHUETZ SALAZAR Sergio Jean Piern FAUJ
20133840533 hard
Fecha: 30/05/2023 12:38:45-0500

Registro de la Propiedad Industrial

Dirección de Signos Distintivos

CERTIFICADO N° 00147604

La Dirección de Signos Distintivos del Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual – INDECOPI, certifica que por mandato de la Resolución N° 012890-2023/DSD - INDECOPI de fecha 26 de mayo de 2023, ha quedado inscrito en el Registro de Marcas de Servicio, el siguiente signo:

Signo : La denominación CIEXLIAN CONSTRUYENDO SUEÑOS y logotipo (se reivindica colores), conforme al modelo

Clase : 42 de la clasificación Internacional.

Solicitud : 0000770-2023

Titular : CIEXLIAN S.R.L.

País : Perú

Vigencia : 26 de mayo de 2033

Distingue : Servicios científicos y tecnológicos, así como servicios de investigación y diseño en estos ámbitos; servicios de análisis e investigación industriales; diseño y desarrollo de equipos informáticos y de software



CIEXLIAN
Construyendo sueños

CIEXLIAN Y LABORATORIO

Ing. Hermes Rojas Tiravanti
PERÚ, CIP: 348840



Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por Indecopi, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web.

<https://enlinea.indecopi.gob.pe/verificador>

Id Documento: **qjgww2y00y**

Pág. 1 de 1

CERTIFICADO DE CALIBRACION

CALIBRATION CERTIFICATE



N° MCH - 214 - 2024

Expediente : TLPB-000070324-0000325

Fecha de emisión : 8/03/2024

1.Solicitante : CIEXLIAN S.R.L.

RUC : 20604291641

2.Descripción del equipo : MÁQUINA DE COMPRESIÓN CON CONTROL DE VELOCIDAD

Procedencia de Prensa : China

Marca de la Prensa : TERRASERVICE LABORATORIO PERÚ

Modelo de Prensa : TYA-2000

Serie de la Prensa : 230801

Modelo de Indicador : NEWTON-100A

3.Lugar y fecha

Lugar : Jr. Andahuaylas 477, San Martín de Porres - Lima

Fecha : 7/03/2024

4.Método de Calibración

La calibración se realizó de acuerdo a la norma ASTM E4.

5.Trazabilidad

INSTRUMENTO	NÚMERO DE SERIE	CERTIFICADO N°	TRAZABILIDAD
CELDA DE CARGA	20211101	INF-LE 068-23A	PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
INDICADOR	V136007		

TERRASERVICE LABORATORIO PERÚ S.R.L.

Gerzo Renato Rodríguez Bazalar
Auxiliar de Metrología

CIEXLIAN Y LABORATORIO
TERRASERVICE LABORATORIO PERÚ S.R.L.
Ing. Hermes Rojas Tiravanti
REG. CIP. 348840

Ing. Diana S. Montenegro Carhuas
Jefe de Metrología



6. Condiciones Ambientales

Magnitud	Inicial	Final
Temperatura °C	27.2	27.5
Humedad %	63%	64%

7. Resultados de la medición

TABLA N°1

SISTEMA DIGITAL "A" (kN)		SERIES VERIFICACIÓN (kN)				PROMEDIO "B" (kN)	ERROR Ep %	RPTBLD Rp %
		SERIE 1	SERIE 2	ERROR (1) %	ERROR (2) %			
0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	
200.52	201.08	201.57	201.82	-0.52	-0.37	201.695	-0.44	
400.10	400.24	399.47	399.81	0.16	0.11	399.64	0.13	
800.12	800.81	798.73	799.40	0.17	0.18	799.07	0.18	
1200.33	1200.13	1200.41	1200.26	-0.01	-0.01	1200.34	-0.01	
1600.26	1600.47	1600.63	1600.66	-0.02	-0.01	1600.65	-0.02	
2000.64	2001.51	2000.04	2000.79	0.03	0.04	2000.42	0.03	

NOTAS SOBRE LA CALIBRACIÓN

1.- Ep y Rp son el Error Porcentual y la Repetibilidad definidos en la citada Norma:

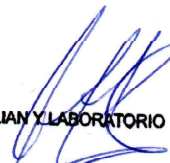
$$Ep = ((A-B) / B) * 100$$

$$Rp = \text{Error (2)} - \text{Error (1)}$$

2.- La norma exige que Ep y Rp no excedan el 1,0 %

3.- Coeficiente Correlación: $R^2 = 1$

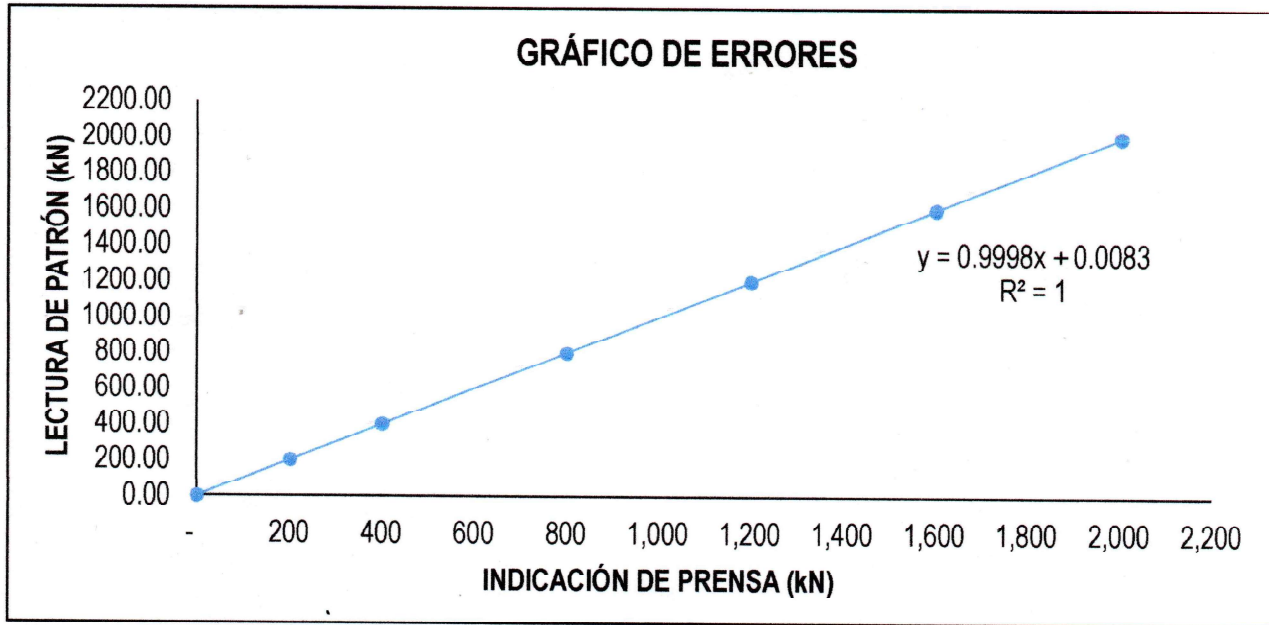
4.- Ecuación de ajuste: $y = 0.9998x + 0.0083$



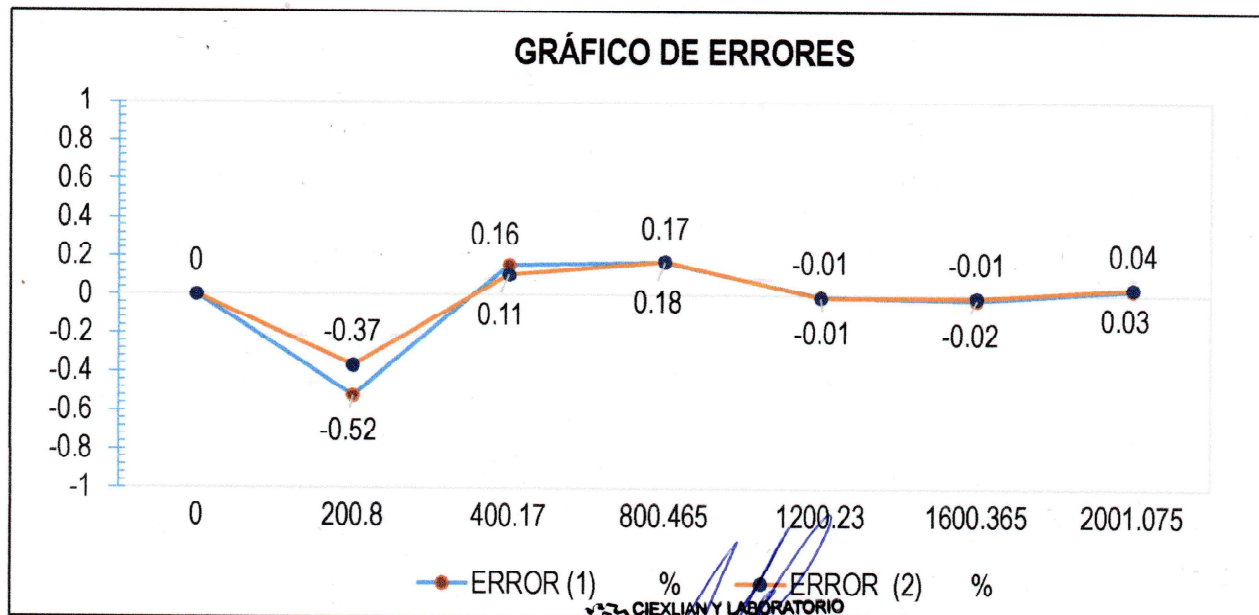
CIEXLIAN Y LABORATORIO
CIEXLIAN
Ing. Herma Rojas Tiravanti
REG. CIP. 348840

Donde: Y: Lectura de Pantalla X: Fuerza promedio (kN)

GRÁFICA 1



GRÁFICA 2



CIEXLIAN Y LABORATORIO
 Ing. Hermes Rojas Tiravanti
 REG. CIP. 348640

8. Observaciones

Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva de color verde con el número de Certificación y fecha de calibración de la empresa TERRASERVICE LABORATORIO PERÚ S.R.L.

Anexo C. Resultado de ensayos de laboratorio




UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Laboratorio de Mecánica de Materiales

ENSAYO DE LOS AGREGADOS

 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
.....
TÉCNICO DEL LABORATORIO
DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio


.....
Edwar Cleza Sánchez
Ingeniero Civil
Registro CIP, N° 185264

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Laboratorio de Mecánica de Materiales

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO
(NTP 400.012)

Tesis : CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

Responsables : NEYSER VÁSQUEZ NÚÑEZ Y NELDER JOSELITO QUINTANA MENDOZA

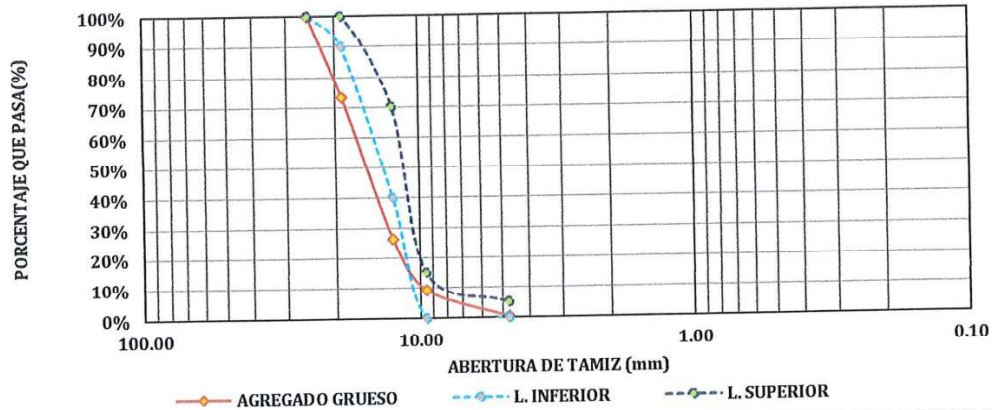
Procedencia : MATERIAL DE LA CANTERA DE CHUYABAMBA-CHOTA-CAJAMARCA

Fecha: 25-09-24

DESCRIPCIÓN	PESO DE LA MUESTRA:	4000 gr
	PÉRDIDA DE LA MUESTRA:	0.002%

Tamiz		Peso Retenido (gr)	% Parcial Retenido	% Acumulado Retenido	% Acumulado que pasa
Nº	Abertura (mm)				
3/4"	25.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1/2"	19.00	1065.20	26.63%	26.63%	73.37%
3/8"	12.50	1877.70	46.94%	73.57%	26.43%
# 4	9.50	687.60	17.19%	90.76%	9.24%
# 8	4.75	356.30	8.91%	99.67%	0.33%
Fondo	----	13.10	0.33%	100.00%	0.00%
TOTAL		3999.90	100.00%	----	----
TMN		1/2"	Módulo de finura MF=	2.91	

CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA-AGREGADO GRUESO



OBSERVACIONES: Las muestras fueron tomadas por los solicitantes, posteriormente ensayadas en el laboratorio UNACH



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

TÉCNICO DEL LABORATORIO
MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio

Edway Cieza Sánchez
Edway Cieza Sánchez
Ingeniero Civil
Registro CIP N° 185264

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Laboratorio de Mecánica de Materiales

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO
(NTP 400.012)

Tesis : CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

Responsables : NEYSER VÁSQUEZ NÚÑEZ Y NELDER JOSELITO QUINTANA MENDOZA

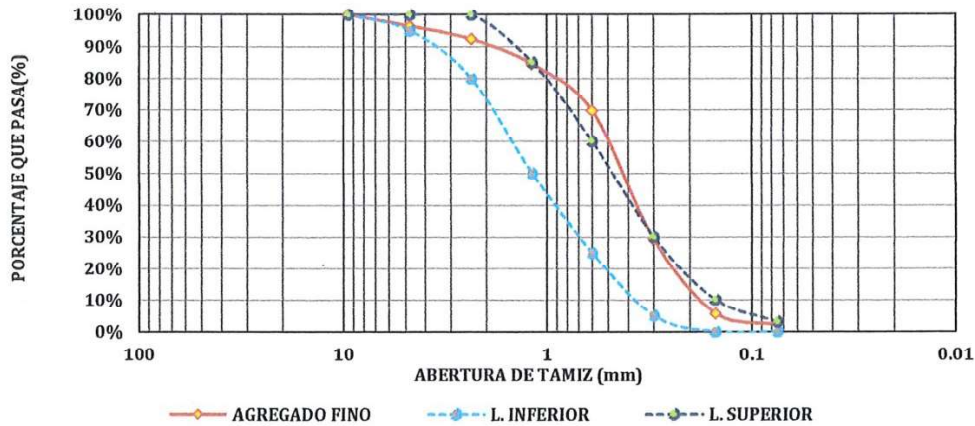
Procedencia : MATERIAL DE LA CANTERA DE CONCHÁN-CHOTA-CAJAMARCA

Fecha: 25-09-24

DESCRIPCIÓN	PESO DE LA MUESTRA:	1000 gr
	PÉRDIDA DE LA MUESTRA:	0.01%

Tamiz		Peso Retenido (gr)	% Parcial Retenido	% Acumulado Retenido	% Acumulado que pasa
Nº	Abertura (mm)				
3/8"	9.5	0	0%	0%	100.00%
# 4	4.75	36.3	3.63%	3.63%	96.37%
# 8	2.36	39.8	3.98%	7.61%	92.39%
# 16	1.18	78.5	7.85%	15.46%	84.54%
# 30	0.6	148.4	14.84%	30.30%	69.70%
# 50	0.3	404.7	40.47%	70.78%	29.22%
# 100	0.15	235.6	23.56%	94.34%	5.66%
# 200	0.075	32.9	3.29%	97.63%	2.37%
Fondo	----	23.7	2.37%	100.00%	0.00%
TOTAL		999.9	100.00%	----	----
TMN		#4	Módulo de finura MF=		2.22

CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA-AGREGADO FINO



OBSERVACIONES: Las muestras fueron tomadas por los solicitantes, posteriormente ensayadas en el laboratorio UNACH

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
TÉCNICO DEL LABORATORIO
DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio

Edwar Cleza Sánchez
Ingeniero Civil
Registro CIP N° 185264

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Laboratorio de Mecánica de Materiales

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO
(NTP 339.185)

Tesis : CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

Responsables : NEYSER VÁSQUEZ NÚÑEZ Y NELDER JOSELITO QUINTANA MENDOZA

Procedencia : MATERIAL DE LA CANTERA DE CHUYABAMBA-CHOTA-CAJAMARCA

Fecha: 30-09-24

DESCRIPCIÓN	UND	ENSAYOS		
		1	2	3
Numero de ensayos				
Peso del recipiente	gr	82.2	95.4	152.8
Peso del recipiente + muestra húmeda	gr	1082.2	1095.4	1152.8
Peso del recipiente + muestra seca	gr	1079.3	1092.7	1149.8
Peso de la muestra húmeda	gr	1000	1000	1000
Peso de la muestra seca	gr	997.1	997.3	997
Peso del agua	gr	2.9	2.7	3
Porcentaje de humedad		0.29%	0.27%	0.30%
PROMEDIO (%)		0.29%		

OBSERVACIONES: Las muestras fueron tomadas por los solicitantes, posteriormente ensayadas en el laboratorio UNACH

 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
TECNICO DEL LABORATORIO
DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio


.....
Edwar Cieza Sánchez
Ingeniero Civil
Registro CIP N° 185264

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Laboratorio de Mecánica de Materiales

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO
(NTP 339.185)

Tesis : CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

Responsables : NEYSER VÁSQUEZ NÚÑEZ Y NELDER JOSELITO QUINTANA MENDOZA


Procedencia : MATERIAL DE LA CANTERA DE CONCHÁN-CHOTA-CAJAMARCA

Fecha: 30-09-24

DESCRIPCIÓN	UND	ENSAYOS		
		1	2	3
Numero de ensayos				
Peso del recipiente	gr	115.5	83.9	83.7
Peso del recipiente + muestra húmeda	gr	1115.5	1083.9	1083.7
Peso del recipiente + muestra seca	gr	1091	1059.2	1059
Peso de la muestra húmeda	gr	1000	1000	1000
Peso de la muestra seca	gr	975.5	975.3	975.3
Peso del agua	gr	24.5	24.7	24.7
Porcentaje de humedad		2.51%	2.53%	2.53%
PROMEDIO (%)		2.53%		

OBSERVACIONES: Las muestras fueron tomadas por los solicitantes, posteriormente ensayadas en el laboratorio UNACH


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
TECNICO DEL LABORATORIO
DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS
Resp. Laboratorio


Edwar Cieza Sánchez
Ingeniero Civil
Registro CIP. N° 185264

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Laboratorio de Mecánica de Materiales

**CANTIDAD DE MATERIAL QUE PASA TAMIZ (#200) POR LAVADO EN AGREGADO GRUESO
(NTP 400.018)**

Tesis : CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

Responsables : NEYSER VÁSQUEZ NÚÑEZ Y NELDER JOSELITO QUINTANA MENDOZA

Procedencia : MATERIAL DE LA CANTERA DE CHUYABAMBA-CHOTA-CAJAMARCA

Fecha: 24-09-24

DESCRIPCIÓN	UND	ENSAYOS		
		1	2	3
Numero de ensayos				
Peso del recipiente	gr	247.7	258.6	274.2
Peso del recipiente + muestra	gr	2247.7	2258.6	2274.2
Peso seco de la muestra inicial	gr	2000	2000	2000
Peso de recipiente + muestra lavada seca	gr	2243.7	2250.5	2269.5
Peso seco de muestra ensayada	gr	1996	1991.9	1995.3
Material que pasa la malla #200	gr	4	8.1	4.7
Porcentaje que pasa la malla #200		0.20%	0.40%	0.24%
PROMEDIO (%)		0.28%		

OBSERVACIONES: Las muestras fueron tomadas por los solicitantes, posteriormente ensayadas en el laboratorio UNACH

 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
TECNICO DEL LABORATORIO
DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS
Resp. Laboratorio


.....
Edwer Cieza Sánchez
Ingeniero Civil
Registro CIP N° 185264
.....
Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Laboratorio de Mecánica de Materiales

CANTIDAD DE MATERIAL QUE PASA TAMIZ (#200) POR LAVADO EN AGREGADO FINO
(NTP 400.018)

Tesis : CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

Responsables : NEYSER VÁSQUEZ NÚÑEZ Y NELDER JOSELITO QUINTANA MENDOZA

Procedencia : MATERIAL DE LA CANTERA DE CONCHÁN-CHOTA-CAJAMARCA

Fecha: 24-09-24

DESCRIPCIÓN	UND	ENSAYOS		
		1	2	3
Numero de ensayos				
Peso del recipiente	gr	115.5	152.9	83.6
Peso del recipiente + muestra	gr	1115.5	1152.9	1083.6
Peso seco de la muestra inicial	gr	1000	1000	1000
Peso del recipiente + muestra lavada seca	gr	1044	1094.5	1015.3
Peso seco de muestra ensayada	gr	928.5	941.6	931.7
Material que pasa la malla #200	gr	71.5	58.4	68.3
Porcentaje que pasa la malla #200		7.15%	5.84%	6.83%
PROMEDIO (%)		6.61%		

OBSERVACIONES: Las muestras fueron tomadas por los solicitantes, posteriormente ensayadas en el laboratorio UNACH

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
TECNICO DEL LABORATORIO
DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio

Edwar Cieza Sánchez
Ingeniero Civil
Registro CIP. N° 185204

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Laboratorio de Mecánica de Materiales

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN AGREGADO GRUESO
(NTP 400.021)

Tesis : CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

Responsables : NEYSER VÁSQUEZ NÚÑEZ Y NELDER JOSELITO QUINTANA MENDOZA

Procedencia : MATERIAL DE LA CANTERA DE CHUYABAMBA-CHOTA-CAJAMARCA

Fecha: 25-26/09/2024

DESCRIPCIÓN	DATOS Y RESULTADOS		
	1	2	3
Número de ensayos			
Peso del recipiente	83.80 gr	95.40 gr	152.80 gr
Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire (B)	1337.00 gr	1571.40 gr	1203.30 gr
Peso en el agua de la muestra saturada (C)	836.30 gr	973.90 gr	752.60 gr
Peso final de la muestra + recipiente	1411.90 gr	1656.70 gr	1347.30 gr
Peso final de muestra seca al horno (A)	1328.10 gr	1561.30 gr	1194.50 gr
Peso específico de masa (Pem)	2.65 gr/cm ³	2.61 gr/cm ³	2.65 gr/cm ³
Peso específico de masa saturada con superficie seca (PeSSS)	2.67 gr/cm ³	2.63 gr/cm ³	2.67 gr/cm ³
Peso específico aparente (Pea)	2.70 gr/cm ³	2.66 gr/cm ³	2.70 gr/cm ³
Absorción (%)	0.67%	0.65%	0.74%
Promedio de Peso específico de masa (Pem)	2.639 gr/cm ³		
Promedio de Peso específico de masa saturada con superficie seca (PeSSS)	2.657 gr/cm ³		
Promedio de peso específico aparente (Pea)	2.687 gr/cm ³		
Absorción Promedio (%)	0.68%		

OBSERVACIONES: Las muestras fueron tomadas por los solicitantes, posteriormente ensayadas en el laboratorio UNACH

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
TECNICO DEL LABORATORIO
MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio

Edwar Cleza Sánchez
Ingeniero Civil
Registro CIP N° 185264

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Laboratorio de Mecánica de Materiales

**DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO
(NTP 400.022)**

Tesis : CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

Responsables : NEYSER VÁSQUEZ NÚÑEZ Y NELDER JOSELITO QUINTANA MENDOZA

Procedencia : MATERIAL DE LA CANTERA DE CONCHÁN-CHOTA-CAJAMARCA

Fecha: 30-01/10/2024

DESCRIPCIÓN	DATOS Y RESULTADOS		
	1	2	3
Número de ensayos			
Peso de la fiola (1000 ml)	274.10 gr	274.10 gr	274.10 gr
Peso de la muestra de saturado superficialmente seca (S)	500.00 gr	500.00 gr	500.00 gr
Peso de la fiola llenado con agua hasta la marca de calibración (B)	1270.40 gr	1270.40 gr	1270.40 gr
Peso de la fiola lleno de la muestra y de agua hasta la marca de calibración (C)	1580.70 gr	1581.50 gr	1581.10 gr
Peso de la tara	86.60 gr	177.20 gr	86.60 gr
Peso final de la muestra + la tara	578.10 gr	668.90 gr	578.20 gr
Peso de la muestra seca en el horno (A)	491.50 gr	491.70 gr	491.60 gr
Peso específico de masa (Pem)	2.59 gr/cm ³	2.60 gr/cm ³	2.60 gr/cm ³
Peso específico de masa saturada con superficie seca (PeSSS)	2.64 gr/cm ³	2.65 gr/cm ³	2.64 gr/cm ³
Peso específico aparente (Pea)	2.71 gr/cm ³	2.72 gr/cm ³	2.72 gr/cm ³
Absorción (%)	1.73%	1.69%	1.71%
Promedio de Peso específico de masa (Pem)	2.597 gr/cm³		
Promedio de Peso específico de masa saturada con superficie seca (PeSSS)	2.64 gr/cm³		
Promedio de peso específico aparente (Pea)	2.72 gr/cm³		
Absorción Promedio (%)	1.71%		

OBSERVACIONES: Las muestras fueron tomadas por los solicitantes, posteriormente ensayadas en el laboratorio UNACH


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
TÉCNICO DEL LABORATORIO
DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio


Edwar Cleza Sánchez
Ingeniero Civil
Registro CIP. N° 185264

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Laboratorio de Mecánica de Materiales

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO
(NTP 400.017)

Tesis : CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

Responsables : NEYSER VÁSQUEZ NÚÑEZ Y NELDER JOSELITO QUINTANA MENDOZA

Procedencia : MATERIAL DE LA CANTERA DE CHUYABAMBA-CHOTA-CAJAMARCA

Fecha: 24-09-24


PESO UNITARIO SUELTO AGREGADO GRUESO				
DESCRIPCIÓN		ENSAYOS		
Numero de ensayos		1	2	3
Peso del recipiente (kg)	A	4.66	4.66	4.66
Peso del recipiente + muestra(kg)	B	17.23	17.16	17.19
Volumen del molde (m ³)	C	0.0093	0.0093	0.0093
Peso de la muestra (kg)	B-A	12.57	12.5	12.53
Peso unitario suelto del A.G (kg/m ³)	(B-A)/C	1351.61	1344.09	1347.31
PROMEDIO		1347.67 kg/m³		

PESO UNITARIO COMPACTADO AGREGADO GRUESO				
DESCRIPCIÓN		ENSAYOS		
Numero de ensayos		1	2	3
Peso del recipiente (kg)	A	4.66	4.66	4.66
Peso del recipiente + muestra(kg)	B	18.08	18.21	18.19
Volumen del molde (m ³)	C	0.0093	0.0093	0.0093
Peso de la muestra (kg)	B-A	13.42	13.55	13.53
Peso unitario compacto del A.G (kg/m ³)	(B-A)/C	1443.01	1456.99	1454.84
PROMEDIO		1451.61 kg/m³		

OBSERVACIONES: Las muestras fueron tomadas por los solicitantes, posteriormente ensayadas en el laboratorio UNACH

 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
.....
TÉCNICO DEL LABORATORIO
DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio


.....
Edwar Cleza Sánchez
Ingeniero CIVIL
Registro CIP N° 185264

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Laboratorio de Mecánica de Materiales

PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO

(NTP 400.017)

Tesis : CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

Responsables : NEYSER VÁSQUEZ NÚÑEZ Y NELDER JOSELITO QUINTANA MENDOZA

Procedencia : MATERIAL DE LA CANTERA DE CONCHÁN-CHOTA-CAJAMARCA

Fecha: 24-09-24

PESO UNITARIO SUELTO AGREGADO FINO				
DESCRIPCIÓN		ENSAYOS		
Numero de ensayos		1	2	3
Peso del recipiente (kg)	A	1.64	1.64	1.64
Peso del recipiente + muestra(kg)	B	5.79	5.78	5.76
Volumen del molde (m ³)	C	0.0028	0.0028	0.0028
Peso de la muestra (kg)	B-A	4.15	4.14	4.12
Peso unitario suelto del A.F (kg/m ³)	(B-A)/C	1482.14	1478.57	1471.43
PROMEDIO		1477.38 kg/m³		

PESO UNITARIO COMPACTADO AGREGADO FINO				
DESCRIPCIÓN		ENSAYOS		
Numero de ensayos		1	2	3
Peso del recipiente (kg)	A	1.64	1.64	1.64
Peso del recipiente + muestra(kg)	B	6.09	6.07	6.1
Volumen del molde (m ³)	C	0.0028	0.0028	0.0028
Peso de la muestra (kg)	B-A	4.45	4.43	4.46
Peso unitario compacto del A.F (kg/m ³)	(B-A)/C	1589.29	1582.14	1592.86
PROMEDIO		1588.10 kg/m³		

OBSERVACIONES: Las muestras fueron tomadas por los solicitantes, posteriormente ensayadas en el laboratorio UNACH

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
TÉCNICO DEL LABORATORIO
MATERIALES Y ESTRUCTURA

Resp. Laboratorio

Edwar Cleza Sánchez
Ingeniero Civil
Registro CIP N° 185264

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Laboratorio de Mecánica de Materiales

RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN AGREGADO GRUESO POR ABRASIÓN E IMPACTO EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES (NTP 400.019)

Tesis : CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

Responsables : NEYSER VÁSQUEZ NÚÑEZ Y NELDER JOSELITO QUINTANA MENDOZA

Procedencia : MATERIAL DE LA CANTERA DE CHUYABAMBA-CHOTA-CAJAMARCA

Fecha: 27-10-24

DESCRIPCIÓN	DATOS Y RESULTADOS		
	1	2	3
Muestra			
Peso del recipiente	315.80 gr	464.80 gr	464.80 gr
Peso del recipiente + muestra de 1/2"	2815.80 gr	2964.80 gr	2964.80 gr
Peso del recipiente + muestra de 3/8"	2815.80 gr	2964.80 gr	2964.80 gr
Peso del recipiente + muestra inicial (Después del secado)	5315.80 gr	5464.80 gr	5464.80 gr
Muestra inicial (después del secado)	5000.00 gr	5000.00 gr	5000.00 gr
Peso de muestra seca que no pasa el tamiz #12, después del lavado + recipiente	4057.90 gr	4215.60 gr	4210.80 gr
Peso de muestra seca que no pasa el tamiz #12, después del lavado	3742.10 gr	3750.80 gr	3746.00 gr
Peso de muestra seca que pasa el tamiz #12, después del lavado	1257.90 gr	1249.20 gr	1254.00 gr
Pérdida	25.16%	24.98%	25.08%
PROMEDIO %	25.07%		

OBSERVACIONES: Las muestras fueron tomadas por los solicitantes, posteriormente ensayadas en el laboratorio UNACH

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
TÉCNICO DEL LABORATORIO
DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio

Edwar Oleza Sánchez
Ingeniero Civil
Registro CIP N° 485264

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Laboratorio de Mecánica de Materiales

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL CAUCHO RECICLADO

(NTP 400.012)

Tesis : CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

Responsables : NEYSER VÁSQUEZ NÚÑEZ Y NELDER JOSELITO QUINTANA MENDOZA

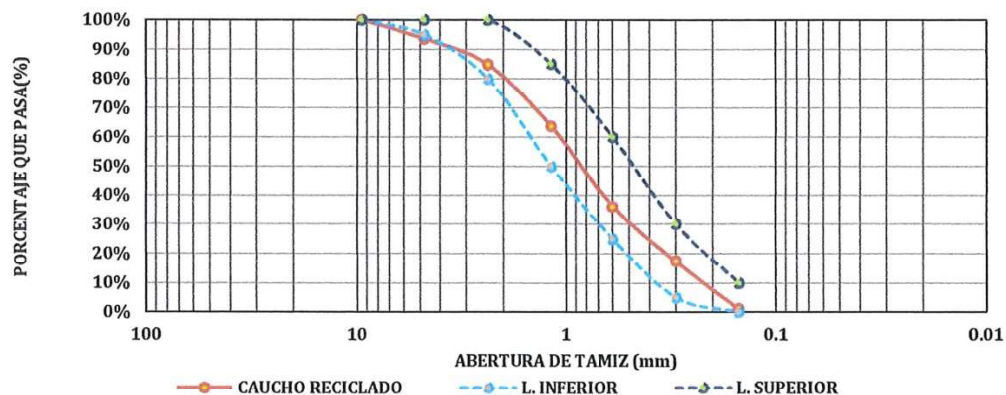
Procedencia : CAUCHO RECICLADO EN LA CIUDAD DE CHOTA-CHOTA-CAJAMARCA

Fecha: 25-09-24

DESCRIPCIÓN	PESO DE LA MUESTRA:	500 gr
	PÉRDIDA DE LA MUESTRA:	0.06%

N°	Tamiz	Peso Retenido (gr)	% Parcial Retenido	% Acumulado Retenido	% Acumulado que pasa
	Abertura (mm)				
3/8"	9.5	0	0%	0%	100.00%
# 4	4.75	31.9	6.38%	6.38%	93.62%
# 8	2.36	43.7	8.75%	15.13%	84.87%
# 16	1.18	105.4	21.09%	36.22%	63.78%
# 30	0.6	138.3	27.68%	63.90%	36.10%
# 50	0.3	93.5	18.71%	82.61%	17.39%
# 100	0.15	81.5	16.31%	98.92%	1.08%
Fondo	----	5.4	1.08%	100.00%	0.00%
TOTAL		499.7	100.00%	----	----
TMN		#4	Módulo de finura MF=	3.03	

CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA-CAUCHO RECICLADO



OBSERVACIONES: Las muestras fueron tomadas por los solicitantes, posteriormente ensayadas en el laboratorio UNACH

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
TÉCNICO DEL LABORATORIO
MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio

Edwar Cieza Sánchez
Ingeniero Civil
Registro CIP N° 185264

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Laboratorio de Mecánica de Materiales

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL CAUCHO RECICLADO
(NTP 339.185)

Tesis : CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

Responsables : NEYSER VÁSQUEZ NÚÑEZ Y NELDER JOSELITO QUINTANA MENDOZA

Procedencia : CAUCHO RECICLADO EN LA CIUDAD DE CHOTA-CHOTA-CAJAMARCA

Fecha: 30-09-24

DESCRIPCIÓN	UND	ENSAYOS		
		1	2	3
Numero de ensayos				
Peso del recipiente	gr	70.7	82.8	177.2
Peso del recipiente + muestra húmeda	gr	570.7	582.8	677.2
Peso del recipiente + muestra seca	gr	570.7	582.8	677.1
Peso de la muestra húmeda	gr	500	500	500
Peso de la muestra seca	gr	500	500	499.9
Porcentaje de humedad		0.00%	0.00%	0.02%
PROMEDIO (%)			0.01%	

OBSERVACIONES: Las muestras fueron tomadas por los solicitantes, posteriormente ensayadas en el laboratorio UNACH

 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
.....
TÉCNICO DEL LABORATORIO
DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio


.....
Edwar Cloza Sánchez
Ingeniero Civil
Registro CIP. N° 185364

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Laboratorio de Mecánica de Materiales

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL CAUCHO RECICLADO
(NTP 400.022)

Tesis : CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

Responsables : NEYSER VÁSQUEZ NÚÑEZ Y NELDER JOSELITO QUINTANA MENDOZA

Procedencia : CAUCHO RECICLADO EN LA CIUDAD DE CHOTA-CHOTA-CAJAMARCA


Fecha: 30-2/10/2024

DESCRIPCIÓN	DATOS Y RESULTADOS		
	1	2	3
Número de ensayos			
Peso de la fiola (500 ml)	274.10 gr	274.10 gr	274.10 gr
Peso de la muestra de saturado superficialmente seca (S)	250.00 gr	250.00 gr	250.00 gr
Peso de la fiola llenado con agua hasta la marca de calibración (B)	1270.40 gr	1270.40 gr	1270.40 gr
Peso de la fiola lleno de la muestra y de agua hasta la marca de calibración (C)	1280.00 gr	1281.10 gr	1280.70 gr
Peso de la tara	152.40 gr	177.20 gr	152.40 gr
Peso final de la muestra + la tara	401.70 gr	426.80 gr	401.60 gr
Peso de la muestra seca en el horno (A)	249.30 gr	249.60 gr	249.20 gr
Peso específico de masa (Pem)	1.04 gr/cm ³	1.04 gr/cm ³	1.04 gr/cm ³
Peso específico de masa saturada con superficie seca (PeSSS)	1.04 gr/cm ³	1.04 gr/cm ³	1.04 gr/cm ³
Peso específico aparente (Pea)	1.04 gr/cm ³	1.04 gr/cm ³	1.04 gr/cm ³
Absorción (%)	0.28%	0.16%	0.32%
Promedio de Peso específico de masa (Pem)	1.040 gr/cm³		
Promedio de Peso específico de masa saturada con superficie seca (PeSSS)	1.04 gr/cm³		
Promedio de peso específico aparente (Pea)	1.04 gr/cm³		
Absorción Promedio (%)	0.25%		

OBSERVACIONES: Las muestras fueron tomadas por los solicitantes, posteriormente ensayadas en el laboratorio UNACH

 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
TECNICO DEL LABORATORIO
DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio


Edwar Cieza Sánchez
Ingeniero Civil
Registro CIP N° 185264

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Laboratorio de Mecánica de Materiales

PESO UNITARIO DEL CAUCHO RECICLADO
(NTP 400.017)

Tesis : CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

Responsables : NEYSER VÁSQUEZ NÚÑEZ Y NELDER JOSELITO QUINTANA MENDOZA

Procedencia : CAUCHO RECICLADO EN LA CIUDAD DE CHOTA-CHOTA-CAJAMARCA

Fecha: 01-10-24


PESO UNITARIO SUELTO CAUCHO GRANULAR RECICLADO				
DESCRIPCIÓN		ENSAYOS		
Numero de ensayos		1	2	3
Peso del recipiente (kg)	A	1.64	1.64	1.64
Peso del recipiente + muestra(kg)	B	2.97	2.94	2.93
Volumen del molde (m ³)	C	0.0028	0.0028	0.0028
Peso de la muestra (kg)	B-A	1.33	1.3	1.29
Peso unitario suelto del C.R (kg/m ³)	(B-A)/C	475.00	464.29	460.71
PROMEDIO		466.67 kg/m³		

PESO UNITARIO COMPACTADO CAUCHO GRANULAR RECICLADO				
DESCRIPCIÓN		ENSAYOS		
Numero de ensayos		1	2	3
Peso del recipiente (kg)	A	1.64	1.64	1.64
Peso del recipiente + muestra(kg)	B	3.12	3.1	3.14
Volumen del molde (m ³)	C	0.0028	0.0028	0.0028
Peso de la muestra (kg)	B-A	1.48	1.46	1.5
Peso unitario compacto del C.R (kg/m ³)	(B-A)/C	528.57	521.43	535.71
PROMEDIO		528.57 kg/m³		

OBSERVACIONES: Las muestras fueron tomadas por los solicitantes, posteriormente ensayadas en el laboratorio UNACH

 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
TÉCNICO DEL LABORATORIO
DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio


Edwar Cioza Sanchez
Ingeniero Civil
Registro CIP N° 185264

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Laboratorio de Mecánica de Materiales

PESO UNITARIO DEL CAUCHO RECICLADO
(NTP 400.017)

Tesis : CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

Responsables : NEYSER VÁSQUEZ NÚÑEZ Y NELDER JOSELITO QUINTANA MENDOZA

Procedencia : CAUCHO RECICLADO EN LA CIUDAD DE CHOTA-CHOTA-CAJAMARCA

Fecha: 01-10-24


PESO UNITARIO SUELTO CAUCHO GRANULAR RECICLADO				
DESCRIPCIÓN		ENSAYOS		
Numero de ensayos		1	2	3
Peso del recipiente (kg)	A	1.64	1.64	1.64
Peso del recipiente + muestra(kg)	B	2.97	2.94	2.93
Volumen del molde (m ³)	C	0.0028	0.0028	0.0028
Peso de la muestra (kg)	B-A	1.33	1.3	1.29
Peso unitario suelto del C.R (kg/m ³)	(B-A)/C	475.00	464.29	460.71
PROMEDIO		466.67 kg/m³		

PESO UNITARIO COMPACTADO CAUCHO GRANULAR RECICLADO				
DESCRIPCIÓN		ENSAYOS		
Numero de ensayos		1	2	3
Peso del recipiente (kg)	A	1.64	1.64	1.64
Peso del recipiente + muestra(kg)	B	3.12	3.1	3.14
Volumen del molde (m ³)	C	0.0028	0.0028	0.0028
Peso de la muestra (kg)	B-A	1.48	1.46	1.5
Peso unitario compacto del C.R (kg/m ³)	(B-A)/C	528.57	521.43	535.71
PROMEDIO		528.57 kg/m³		

OBSERVACIONES: Las muestras fueron tomadas por los solicitantes, posteriormente ensayadas en el laboratorio UNACH

 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
TÉCNICO DEL LABORATORIO
DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio


Edwar Cioza Sanchez
Ingeniero Civil
Registro CIP N° 185264

Asesor




UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Laboratorio de Mecánica de Materiales

DISEÑO DE MEZCLAS

 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

.....
TÉCNICO DEL LABORATORIO
DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio


.....
Edwar Cioza Sánchez
Ingeniero Civil
Registro CIP. N° 145244

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Laboratorio de Mecánica de Materiales

Tesis : CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

Responsables : NEYSER VÁSQUEZ NÚÑEZ Y NELDER JOSELITO QUINTANA MENDOZA

Cantera A.Fino : CONCHÁN

Cantera A.Grueso: CHUYABAMBA

Método de Diseño ACI-(Comité 211)

DISEÑO DE CONCRETO F'C=290 kg/cm²

DATOS			
CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO		CEMENTO PORTALAND	
Diseño (f'c)	290 kg/cm ²	TIPO I	Pacasmayo
Desviación estándar	84 kg/cm ²	Peso específico	3.08
Resistencia requerida (f'cr)	374 kg/cm ²		
AGREGADO FINO		AGREGADO GRUESO	
Tamaño máximo nominal (TMN)		1/2"	
Peso específico de masa (kg/m ³)	2596.4	2638.62	
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1588.1	1451.61	
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1477.38	1347.67	
Absorción (%)	1.71%	0.68%	
Contenido de humedad (%)	2.53%	0.29%	
Modulo de finura (%)	2.22		
PROCESAMIENTO		VALORES DE DISEÑO	
Asentamiento	3" a 4"	Cemento	484.30 kg/m ³
Volumen unitario de agua	216 lt/m ³	Agua de diseño	216.00 lt/m ³
Contenido de aire	2.50%	Agregado fino seco	694 kg/m ³
Relación Agua/Cemento	0.446	Agregado grueso seco	882.58 kg/m ³
Factor cemento	484.30 kg/m ³		
Factor cemento	11.40 bolsas/m ³	CORRECCIÓN POR HUMEDAD	
Peso del agregado grueso	882.58 kg	Agregado fino	711.50 kg/m ³
		Agregado grueso	885.14 kg/m ³
VOLÚMENES ABSOLUTOS		APORTE DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS	
Cemento	0.157 m ³	Agregado fino	5.83 Lts/m ³
Agua	0.216 m ³	Agregado grueso	-3.45 Lts/m ³
Aire	0.025 m ³	Aporte de humedad	2.38 Lts/m ³
AG	0.334 m ³	Agua efectiva	213.6 Lts/m ³
Suma de volúmenes:	0.733 m ³		
CONTENIDO DE AGREGADO FINO		PESOS CORREGIDOS POR HUMEDAD	
Volumne absoluto fino	0.267 m ³	Cemento	484.30 kg/m ³
Peso agregado fino	693.95 kg/m ³	Agua Efectiva	213.62 lt/m ³
		Agregado Fino Húmedo	711.50 kg/m ³
		Agregado Grueso Húmedo	885.14 kg/m ³
		Peso Total	2294.6 kg/m ³
RESULTADOS FINALES			
PROPORCIÓN EN PESO POR PIE CÚBICO			
Cemento	Ag. Fino	Ag. Grueso	Agua
1	1.47	1.83	0.44
PROPORCIONES EN VOLUMEN POR PIE CÚBICO			
Cemento	Ag. Fino	Ag. Grueso	Agua
1	1.46	2.03	18.75
PESO POR TANDA			
Cemento	42.5 kg/bolsa		
Agua efectiva	18.75 lt/bolsa		
Ag. Fino	62.4 kg/holsa		
Ag. Grueso	77.7 kg/bolsa		

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
 TÉCNICO DEL LABORATORIO
 DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio

Edwar Cieza Sánchez
 Ingeniero Civil
 Registro CIP. N° 185284

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Laboratorio de Mecánica de Materiales

Tesis : CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

Responsables : NEYSER VÁSQUEZ NÚÑEZ Y NELDER JOSELITO QUINTANA MENDOZA

Cantera A.Fino : CONCHÁN

Cantera A.Gruoso: CHUYABAMBA

Método de Diseño ACI-(Comité 211)

DISEÑO DE CONCRETO F'C=290 kg/cm² + 10% CAUCHO

DATOS

CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO		CEMENTO PORTALAND	
Diseño (f'c)	290 kg/cm ²	TIPO I	Pacasmayo
Desviación estándar	84 kg/cm ²	Peso específico	3.08
Resistencia requerida (f'cr)	374 kg/cm ²		

AGREGADO FINO		AGREGADO GRUESO	CAUCHO
Tamaño máximo nominal (TMN)		1/2"	
Peso específico de masa (kg/m ³)	2596.4	2638.62	1040
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1588.1	1451.61	
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1477.38	1347.67	
Absorción (%)	1.71%	0.68%	
Contenido de humedad (%)	2.53%	0.29%	
Modulo de finura (%)	2.22		

PROCESAMIENTO		VALORES DE DISEÑO	
Asentamiento	3" a 4"	Cemento	484.30 kg/m ³
Volumen unitario de agua	216 lt/m ³	Agua de diseño	216.00 lt/m ³
Contenido de aire	2.50%	Agregado fino seco	694 kg/m ³
Relación Agua/Cemento	0.446	Agregado grueso seco	882.58 kg/m ³
Factor cemento	484.30 kg/m ³		
Factor cemento	11.40 bolsas/m ³		
Peso del agregado grueso	882.58 kg		

CORRECCIÓN POR HUMEDAD	
Agregado fino	711.50 kg/m ³
Agregado grueso	885.14 kg/m ³

VOLÚMENES ABSOLUTOS		APORTE DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS	
Cemento	0.157 m ³	Agregado fino	5.83 Lts/m ³
Agua	0.216 m ³	Agregado grueso	-3.45 Lts/m ³
Aire	0.025 m ³	Aporte de humedad	2.38 Lts/m ³
AG	0.334 m ³	Agua efectiva	213.6 Lts/m ³
Suma de volúmenes:	0.733 m ³		

CONTENIDO DE AGREGADO FINO		PESOS CORREGIDOS POR HUMEDAD	
Volumne absoluto fino	0.267 m ³	Cemento	484.30 kg/m ³
Peso agregado fino	693.95 kg/m ³	Agua Efectiva	213.62 lt/m ³
		Agregado Fino Húmedo	711.50 kg/m ³
		Agregado Grueso Húmedo	885.14 kg/m ³
		Peso Total	2294.6 kg/m ³

RESULTADOS FINALES			
PROPORCIÓN EN PESO POR PIE CÚBICO			
Cemento	Ag. Fino	Ag. Grueso	Agua
1	1.47	1.83	0.44
PROPORCIONES EN VOLUMEN POR PIE CÚBICO			
Cemento	Ag. Fino	Ag. Grueso	Agua
1	1.46	2.03	18.75
PESO POR TANDA			
Cemento	42.5 kg/bolsa		
Agua efectiva	18.75 lt/bolsa		
Ag. Fino	62.4 kg/bolsa		
Ag. Grueso	77.7 kg/bolsa		
Caucho	2.7 kg/bolsa		

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
 TÉCNICO DEL LABORATORIO
 DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio

Edwar Cloza Sánchez
 Ingeniero Civil
 Registro CIP. N° 165284

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Laboratorio de Mecánica de Materiales

Tesis : CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

Responsables : NEYSER VÁSQUEZ NÚÑEZ Y NELDER JOSELITO QUINTANA MENDOZA

Cantera A.Fino : CONCHÁN

Cantera A.Grueso: CHUYABAMBA

Método de Diseño ACI-(Comité 211)

DISEÑO DE CONCRETO F'C=290 kg/cm² + 20% CAUCHO

DATOS

CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO		CEMENTO PORTALAND	
Diseño (f'c)	290 kg/cm ²	TIPO I	Pacasmayo
Desviación estándar	84 kg/cm ²	Peso específico	3.08
Resistencia requerida (f'cr)	374 kg/cm ²		
AGREGADO FINO		AGREGADO GRUESO	CAUCHO
Tamaño máximo nominal (TMN)		1/2"	
Peso específico de masa (kg/m ³)	2596.4	2638.62	1040
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1588.1	1451.61	
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1477.38	1347.67	
Absorción (%)	1.71%	0.68%	
Contenido de humedad (%)	2.53%	0.29%	
Modulo de finura (%)	2.22		
PROCESAMIENTO		VALORES DE DISEÑO	
Asentamiento	3" a 4"	Cemento	484.30 kg/m ³
Volumen unitario de agua	216 lt/m ³	Agua de diseño	216.00 lt/m ³
Contenido de aire	2.50%	Agregado fino seco	694 kg/m ³
Relación Agua/Cemento	0.446	Agregado grueso seco	882.58 kg/m ³
Factor cemento	484.30 kg/m ³		
Factor cemento	11.40 bolsas/m ³	CORRECCIÓN POR HUMEDAD	
Peso del agregado grueso	882.58 kg	Agregado fino	711.50 kg/m ³
		Agregado grueso	885.14 kg/m ³
VOLÚMENES ABSOLUTOS		APORTE DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS	
Cemento	0.157 m ³	Agregado fino	5.83 Lts/m ³
Agua	0.216 m ³	Agregado grueso	-3.45 Lts/m ³
Aire	0.025 m ³	Aporte de humedad	2.38 Lts/m ³
AG	0.334 m ³	Agua efectiva	213.6 Lts/m ³
Suma de volúmenes:	0.733 m ³		
CONTENIDO DE AGREGADO FINO		PESOS CORREGIDOS POR HUMEDAD	
Volumne absoluto fino	0.267 m ³	Cemento	484.30 kg/m ³
Peso agregado fino	693.95 kg/m ³	Agua Efectiva	213.62 lt/m ³
CONTENIDO DE CAUCHO		Agregado Fino Húmedo	711.50 kg/m ³
Volumne absoluto caucho	0.060 m ³	Agregado Grueso Húmedo	885.14 kg/m ³
Peso Caucho	62.58 kg/m ³	Peso Total	2294.6 kg/m ³
RESULTADOS FINALES			
PROPORCIÓN EN PESO POR PIE CÚBICO			
Cemento	Ag. Fino	Ag. Grueso	Agua
1	1.47	1.83	0.44
PROPORCIONES EN VOLUMEN POR PIE CÚBICO			
Cemento	Ag. Fino	Ag. Grueso	Agua
1	1.46	2.03	18.75
PESO POR TANDA			
Cemento	42.5 kg/bolsa		
Agua efectiva	18.75 lt/bolsa		
Ag. Fino	62.4 kg/bolsa		
Ag. Grueso	77.7 kg/bolsa		
Caucho	5.5 kg/bolsa		

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
TECNICO DEL LABORATORIO
DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio

Edwar Cleza Sánchez
Ingeniero Civil
Registro CIP. N° 143284

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Laboratorio de Mecánica de Materiales

Tesis : CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

Responsables : NEYSER VÁSQUEZ NÚÑEZ Y NELDER JOSELITO QUINTANA MENDOZA

Cantera A.Fino : CONCHÁN

Cantera A.Grueso: CHUYABAMBA

Método de Diseño ACI-(Comité 211)

DISEÑO DE CONCRETO F'C=290 kg/cm² + 40 % CAUCHO

DATOS

CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO		CEMENTO PORTALAND	
Diseño (f'c)	290 kg/cm ²	TIPO I	Pacasmayo
Desviación estándar	84 kg/cm ²	Peso específico	3.08
Resistencia requerida (f'cr)	374 kg/cm ²		

AGREGADO FINO		AGREGADO GRUESO	CAUCHO
Tamaño máximo nominal (TMN)		1/2"	
Peso específico de masa (kg/m ³)	2596.4	2638.62	1040
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1588.1	1451.61	
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1477.38	1347.67	
Absorción (%)	1.71%	0.68%	
Contenido de humedad (%)	2.53%	0.29%	
Modulo de finura (%)	2.22		

PROCESAMIENTO		VALORES DE DISEÑO	
Asentamiento	3" a 4"	Cemento	484.30 kg/m ³
Volumen unitario de agua	216 lt/m ³	Agua de diseño	216.00 lt/m ³
Contenido de aire	2.50%	Agregado fino seco	694 kg/m ³
Relación Agua/Cemento	0.446	Agregado grueso seco	882.58 kg/m ³
Factor cemento	484.30 kg/m ³		
Factor cemento	11.40 bolsas/m ³		
Peso del agregado grueso	882.58 kg		

VOLÚMENES ABSOLUTOS		CORRECCIÓN POR HUMEDAD	
Cemento	0.157 m ³	Agregado fino	711.50 kg/m ³
Agua	0.216 m ³	Agregado grueso	885.14 kg/m ³
Aire	0.025 m ³		
AG	0.334 m ³		
Suma de volúmenes:	0.733 m ³		

CONTENIDO DE AGREGADO FINO		APORTE DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS	
Volumne absoluto fino	0.267 m ³	Agregado fino	5.83 Lts/m ³
Peso agregado fino	693.95 kg/m ³	Agregado grueso	-3.45 Lts/m ³
		Aporte de humedad	2.38 Lts/m ³
		Agua efectiva	213.6 Lts/m ³

CONTENIDO DE CAUCHO		PESOS CORREGIDOS POR HUMEDAD	
Volumne absoluto caucho	0.120 m ³	Cemento	484.30 kg/m ³
Peso Caucho	125.17 kg/m ³	Agua Efectiva	213.62 lt/m ³
		Agregado Fino Húmedo	711.50 kg/m ³
		Agregado Grueso Húmedo	885.14 kg/m ³
		Peso Total	2294.6 kg/m ³

RESULTADOS FINALES

PROPORCIÓN EN PESO POR PIE CÚBICO			
Cemento	Ag. Fino	Ag. Grueso	Agua
1	1.47	1.83	0.44

PROPORCIONES EN VOLUMEN POR PIE CÚBICO			
Cemento	Ag. Fino	Ag. Grueso	Agua
1	1.46	2.03	18.75

PESO POR TANDA	
Cemento	42.5 kg/bolsa
Agua efectiva	18.75 lt/bolsa
Ag. Fino	62.4 kg/bolsa
Ag. Grueso	77.7 kg/bolsa
Caucho	11.0 kg/bolsa

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
 TÉCNICO DEL LABORATORIO
 DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Edwar Cioza Sánchez
 Ingeniero Civil
 Registro CIP. N° 145384

Resp. Laboratorio

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Laboratorio de Mecánica de Materiales

Tesis : CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

Responsables : NEYSER VÁSQUEZ NÚÑEZ Y NELDER JOSELITO QUINTANA MENDOZA

Cantera A.Fino : CONCHÁN

Cantera A.Grueso: CHUYABAMBA

Método de Diseño ACI-(Comité 211)

DISEÑO DE CONCRETO F'C=290 kg/cm² + 60% CAUCHO

DATOS

CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO		CEMENTO PORTALAND	
Diseño (f'c)	290 kg/cm ²	TIPO I	Pacasmayo
Desviación estándar	84 kg/cm ²	Peso específico	3.08
Resistencia requerida (f'cr)	374 kg/cm ²		
AGREGADO FINO		AGREGADO GRUESO	CAUCHO
Tamaño máximo nominal (TMN)		1/2"	
Peso específico de masa (kg/m ³)	2596.4	2638.62	1040
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1588.1	1451.61	
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1477.38	1347.67	
Absorción (%)	1.71%	0.68%	
Contenido de humedad (%)	2.53%	0.29%	
Modulo de finura (%)	2.22		
PROCESAMIENTO		VALORES DE DISEÑO	
Asentamiento	3" a 4"	Cemento	484.30 kg/m ³
Volumen unitario de agua	216 lt/m ³	Agua de diseño	216.00 lt/m ³
Contenido de aire	2.50%	Agregado fino seco	694 kg/m ³
Relación Agua/Cemento	0.446	Agregado grueso seco	882.58 kg/m ³
Factor cemento	484.30 kg/m ³		
Factor cemento	11.40 bolsas/m ³	CORRECCIÓN POR HUMEDAD	
Peso del agregado grueso	882.58 kg	Agregado fino	711.50 kg/m ³
		Agregado grueso	885.14 kg/m ³
VOLÚMENES ABSOLUTOS		APORTE DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS	
Cemento	0.157 m ³	Agregado fino	5.83 Lts/m ³
Agua	0.216 m ³	Agregado grueso	-3.45 Lts/m ³
Aire	0.025 m ³	Aporte de humedad	2.38 Lts/m ³
AG	0.334 m ³	Agua efectiva	213.6 Lts/m ³
Suma de volúmenes:	0.733 m ³		
CONTENIDO DE AGREGADO FINO		PESOS CORREGIDOS POR HUMEDAD	
Volumne absoluto fino	0.267 m ³	Cemento	484.30 kg/m ³
Peso agregado fino	693.95 kg/m ³	Agua Efectiva	213.62 lt/m ³
CONTENIDO DE CAUCHO		Agregado Fino Húmedo	711.50 kg/m ³
Volumne absoluto caucho	0.181 m ³	Agregado Grueso Húmedo	885.14 kg/m ³
Peso Caucho	187.75 kg/m ³	Peso Total	2294.6 kg/m ³
RESULTADOS FINALES			
PROPORCIÓN EN PESO POR PIE CÚBICO			
Cemento	Ag. Fino	Ag. Grueso	Agua
1	1.47	1.83	0.44
PROPORCIONES EN VOLUMEN POR PIE CÚBICO			
Cemento	Ag. Fino	Ag. Grueso	Agua
1	1.46	2.03	18.75
PESO POR TANDA			
Cemento	42.5 kg/bolsa		
Agua efectiva	18.75 lt/bolsa		
Ag. Fino	62.4 kg/bolsa		
Ag. Grueso	77.7 kg/bolsa		
Caucho	16.5 kg/bolsa		

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

 TÉCNICO DEL LABORATORIO
 DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Edwaly Cieza Sánchez
 Ingeniero Civil
 Registro CIP. N° 185204

Resp. Laboratorio

Asesor




UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Laboratorio de Mecánica de Materiales

ENSAYO VARIACIÓN DIMENSIONAL

 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
.....
TÉCNICO DEL LABORATORIO
DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio


.....
Edwar Cieza Sánchez
Ingeniero Civil
Registro CIP N° 185264

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Laboratorio de Mecánica de Materiales

VARIACIÓN DIMENSIONAL BLOQUES DE ADOQUINES DE CONCRETO
(NTP 399.611)

Tesis : CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

Responsables : NEYSER VÁSQUEZ NÚÑEZ Y NELDER JOSELITO QUINTANA MENDOZA

Ubicación : DISTRITO DE CHOTA-CHOTA-CAJAMARCA

Fecha: 05-11-24

VARIACIÓN DIMENSIONAL (VD%)

$$VD(\%) = \frac{DN - DP}{DN} * 100$$

Donde:

VD%: Variación de dimensión en porcentaje

DN : Dimensión nominal

DP : Dimensión promedio de cada dimensión



DIMENSIÓN PROMEDIO SIN ADICIÓN DE CAUCHO GRANULADO			
MUESTRA	DIM. MEDIDA LONGITUD (cm)	DIM. MEDIDA ANCHO (cm)	DIM. MEDIDA ALTURA (cm)
1	19.9	10.15	6
2	20	9.9	6.1
3	19.9	10.2	6
4	20.1	10	6.1
DIM. PROMEDIO (cm)	19.98	10.06	6.05

DIMENSIÓN PROMEDIO CON ADICIÓN DEL 10% DE CAUCHO GRANULADO			
MUESTRA	DIM. MEDIDA LONGITUD (cm)	DIM. MEDIDA ANCHO (cm)	DIM. MEDIDA ALTURA (cm)
1	20	9.9	6.1
2	19.9	10	5.9
3	20.1	10	6
4	19.9	9.8	6.1
DIM. PROMEDIO (cm)	19.975	9.925	6.025

 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
TÉCNICO DEL LABORATORIO
MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio


Edwar Cieza Sánchez
Ingeniero Civil
Registro CIP N° 185204

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Laboratorio de Mecánica de Materiales

**VARIACIÓN DIMENSIONAL BLOQUES DE ADOQUINES DE CONCRETO
(NTP 399.611)**

Tesis : CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

Responsables : NEYSER VÁSQUEZ NÚÑEZ Y NELDER JOSELITO QUINTANA MENDOZA

Ubicación : DISTRITO DE CHOTA-CHOTA-CAJAMARCA

Fecha: 05-11-24

DIMENSIÓN PROMEDIO CON ADICIÓN DEL 20% DE CAUCHO GRANULADO			
MUESTRA	DIM. MEDIDA LONGITUD (cm)	DIM. MEDIDA ANCHO (cm)	DIM. MEDIDA ALTURA (cm)
1	20	10.1	6.3
2	20.1	10.2	6.1
3	19.9	9.9	6.1
4	19.9	10	6
DIM. PROMEDIO (cm)	19.98	10.05	6.13

DIMENSIÓN PROMEDIO CON ADICIÓN DEL 40% DE CAUCHO GRANULADO			
MUESTRA	DIM. MEDIDA LONGITUD (cm)	DIM. MEDIDA ANCHO (cm)	DIM. MEDIDA ALTURA (cm)
1	19.8	10	6.1
2	20	10	6.3
3	19.9	9.8	6
4	20	10.1	6
DIM. PROMEDIO (cm)	19.93	9.98	6.10

DIMENSIÓN PROMEDIO CON ADICIÓN DEL 60% DE CAUCHO GRANULADO			
MUESTRA	DIM. MEDIDA LONGITUD (cm)	DIM. MEDIDA ANCHO (cm)	DIM. MEDIDA ALTURA (cm)
1	20.1	10	6
2	20	10.2	6.3
3	19.9	9.8	6
4	19.8	10	6.2
DIM. PROMEDIO (cm)	19.95	10	6.125

 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
.....
TÉCNICO DEL LABORATORIO
DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio


.....
Edwar Cieza Sánchez
Ingeniero Civil
Registro CIP. N° 185264

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Laboratorio de Mecánica de Materiales

VARIACIÓN DIMENSIONAL BLOQUES DE ADOQUINES DE CONCRETO
(NTP 399.611)

Tesis : CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

Responsables : NEYSER VÁSQUEZ NÚÑEZ Y NELDER JOSELITO QUINTANA MENDOZA

Ubicación : DISTRITO DE CHOTA-CHOTA-CAJAMARCA

Fecha: 05-11-24

VARIACIÓN DIMENSIONAL DE BLOQUES DE ADOQUINES DE CONCRETO				
DIMENSIÓN DE MEDIDA	DIM. NOMINAL DN (cm)	DIM. PROMEDIO DP (cm)	VARIACIÓN (mm)	PORCENTAJE DE VARIACIÓN (%)
ADICIONANDO 0% DE CAUCHO GRANULADO				
Longitud	20	19.975	-0.25	0.12%
Ancho	10	10.0625	0.625	-0.63%
Altura	6	6.05	0.5	-0.83%
ADICIONANDO 10% DE CAUCHO GRANULADO				
Longitud	20	19.975	-0.25	0.12%
Ancho	10	9.925	-0.75	0.75%
Altura	6	6.025	0.25	-0.42%
ADICIONANDO 20% DE CAUCHO GRANULADO				
Longitud	20	19.98	-0.25	0.12%
Ancho	10	10.05	0.5	-0.50%
Altura	6	6.13	1.25	-2.08%
ADICIONANDO 40% DE CAUCHO GRANULADO				
Longitud	20	19.93	-0.75	0.38%
Ancho	10	9.98	-0.25	0.25%
Altura	6	6.10	1	-1.67%
ADICIONANDO 60% DE CAUCHO GRANULADO				
Longitud	20	19.95	-0.5	0.25%
Ancho	10	10	0	0.00%
Altura	6	6.125	1.25	-2.08%

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
TECNICO DEL LABORATORIO
MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio

Edwar Cleza Sánchez
Ingeniero Civil
Registro CIP N° 185264

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Laboratorio de Mecánica de Materiales

ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL ALABEO

 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
TÉCNICO DEL LABORATORIO
DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio


.....
Edwar Cieza Sánchez
Ingeniero Civil
Registro CIP N° 185264

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Laboratorio de Mecánica de Materiales

ALABEO BLOQUES DE ADOQUINES DE CONCRETO
(NTP 399.613)

Tesis : CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

Responsables : NEYSER VÁSQUEZ NÚÑEZ Y NELDER JOSELITO QUINTANA MENDOZA

Ubicación : DISTRITO DE CHOTA-CHOTA-CAJAMARCA

Fecha: 05-11-24

ALABEO DE BLOQUES DE ADOQUINES DE CONCRETO				
N° MUESTRA	CARA SUPERIOR		CARA INFERIOR	
	CONVEXO (mm)	CÓNCAVO (mm)	CONVEXO (mm)	CÓNCAVO (mm)

ADICIONANDO 0% DE CAUCHO GRANULADO				
1	-	-	-	-
2	0.50	-	-	-
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
PROMEDIO (mm)	0.125	0	0	0

ADICIONANDO 10% DE CAUCHO GRANULADO				
1	-	-	-	-
2	1.00	1.00	-	-
3	-	-	-	-
4	1.00	-	-	-
PROMEDIO (mm)	0.5	0.25	0	0

ADICIONANDO 20% DE CAUCHO GRANULADO				
1	1.00	0.50	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	1.00	-	-	-
PROMEDIO (mm)	0.5	0.125	0	0

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
TÉCNICO DEL LABORATORIO
DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio

Edwar Cieza Sánchez
Ingeniero Civil
Registro CIP N° 185264

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Laboratorio de Mecánica de Materiales

ALABEO BLOQUES DE ADOQUINES DE CONCRETO

(NTP 399.613)

Tesis : CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

Responsables : NEYSER VÁSQUEZ NÚÑEZ Y NELDER JOSELITO QUINTANA MENDOZA

Ubicación : DISTRITO DE CHOTA-CHOTA-CAJAMARCA

Fecha: 05-11-24

ALABEO DE BLOQUES DE ADOQUINES DE CONCRETO				
N° MUESTRA	CARA SUPERIOR		CARA INFERIOR	
	CONVEXO (mm)	CÓNCAVO (mm)	CONVEXO (mm)	CÓNCAVO (mm)

ADICIONANDO 40% DE CAUCHO GRANULADO				
1	1.00	-	-	-
2	1.00	-	-	-
3	-	-	-	-
4	-	0.50	-	-
PROMEDIO (mm)	0.5	0.125	0	0

ADICIONANDO 60% DE CAUCHO GRANULADO				
1	1.00	-	-	-
2	-	1.00	-	-
3	-	0.50	-	-
4	-	-	-	-
PROMEDIO (mm)	0.25	0.375	0	0

 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
TÉCNICO DEL LABORATORIO
DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio


Edwar Cieza Sánchez
Ingeniero Civil
Registro CIP N° 185264

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Laboratorio de Mecánica de Materiales

ENSAYO DE ABSORCIÓN-EN ADOQUINES DE CONCRETO

 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
TÉCNICO DEL LABORATORIO
DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio


.....
Edwar Cieza Sánchez
Ingeniero Civil
Registro CIP N° 185264

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Laboratorio de Mecánica de Materiales

ABSORCIÓN DE ADOQUINES DE CONCRETO
(NTP 399.611)

Tesis : CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRÁNULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

Responsables : NEYSER VÁSQUEZ NÚÑEZ Y NELDER JOSELITO QUINTANA MENDOZA

Ubicación : DISTRITO DE CHOTA-CHOTA-CAJAMARCA

Fecha: 05-11-24

PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (AB%)

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{P.SAT - PS}{PS} * 100$$

Donde:

P.SAT: Peso saturado de la muestra (inmersión en agua por 28 días)

PS: Peso seco de la muestra

ABSORCIÓN DE BLOQUES DE ADOQUINES DE CONCRETO				
Nº MUESTRA	PESO SECO PS (gr)	PESO SATURADO P.SAT (gr)	ABSORCIÓN (%)	ABSORCIÓN PROMEDIO (%)
ADICIONANDO 0% DE CAUCHO GRANULADO				
1	2773.2	2940.8	6.04%	5.47%
2	2825.4	2975.1	5.30%	
3	2813.4	2962.23	5.29%	
4	2817.1	2964.69	5.24%	
ADICIONANDO 10% DE CAUCHO GRANULADO				
1	2580.7	2751.1	6.60%	6.67%
2	2624.4	2794.1	6.47%	
3	2586.1	2757.2	6.62%	
4	2557.4	2736.7	7.01%	
ADICIONANDO 20% DE CAUCHO GRANULADO				
1	2496.5	2689.5	7.73%	7.73%
2	2489.1	2682.1	7.75%	
3	2486.7	2679.5	7.75%	
4	2475.10	2665.2	7.68%	


 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
 TÉCNICO DEL LABORATORIO
 DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio



 Edwar Cieza Sánchez
 Ingeniero Civil
 Registro CIP N° 185264

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Laboratorio de Mecánica de Materiales

ABSORCIÓN DE ADOQUINES DE CONCRETO
(NTP 399.611)

Tesis : CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

Responsables : NEYSER VÁSQUEZ NÚÑEZ Y NELDER JOSELITO QUINTANA MENDOZA

Ubicación : DISTRITO DE CHOTA-CHOTA-CAJAMARCA

Fecha: 05-11-24

PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (AB(%))

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{P.SAT - PS}{PS} * 100$$

Donde:

P.SAT: Peso saturado de la muestra (inmersión en agua por 28 días)

PS: Peso seco de la muestra

ABSORCIÓN DE BLOQUES DE ADOQUINES DE CONCRETO				
Nº MUESTRA	PESO SECO PS (gr)	PESO SATURADO P.SAT (gr)	ABSORCIÓN (%)	ABSORCIÓN PROMEDIO (%)
ADICIONANDO 40% DE CAUCHO GRANULADO				
1	2485.9	2686	8.05%	7.90%
2	2444.6	2633.7	7.74%	
3	2448.6	2644.2	7.99%	
4	2482.2	2676.1	7.81%	
ADICIONANDO 60% DE CAUCHO GRANULADO				
1	2435.4	2636.5	8.26%	8.23%
2	2357.7	2553.6	8.31%	
3	2431.2	2627.3	8.07%	
4	2371.7	2568.1	8.28%	

 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
TÉCNICO DEL LABORATORIO
MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio


.....
Edwar Cleza Sánchez
Ingeniero Civil
Registro CIP N° 185264

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Laboratorio de Mecánica de Materiales

CONCRETO EN ESTADO FRESCO PARA ADOQUINES
NTP 339.046 (Peso Unitario y Contenido de Aire)
NTP 339.035 (Asentamiento del Concreto Fresco)
NTP 339.184 (Temperatura del Concreto Fresco)

Tesis : CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

Responsables : NEYSER VÁSQUEZ NÚÑEZ Y NELDER JOSELITO QUINTANA MENDOZA

Ubicación : DISTRITO DE CHOTA-CHOTA-CAJAMARCA

Fecha: 07-08/10/2024

PORCENTAJE DE ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO		0%
DESCRIPCIÓN	DATOS Y RESULTADOS	
Peso del molde	9.78 kg	
Peso del molde + concreto	18.326 kg	
Peso del concreto	8.55 kg	
Volumen del molde	0.004 m ³	
Peso Unitario	2373.89 kg/m ³	
Asentamiento	4 pulg	
Contenido de aire Unitario	2.0%	
Temperatura	18.10 °C	

PORCENTAJE DE ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO		10%
DESCRIPCIÓN	DATOS Y RESULTADOS	
Peso del molde	9.78 kg	
Peso del molde + concreto	18.112 kg	
Peso del concreto	8.33 kg	
Volumen del molde	0.004 m ³	
Peso Unitario	2314.44 kg/m ³	
Asentamiento	3.9 pulg	
Contenido de aire Unitario	2.1%	
Temperatura	18.20 °C	

 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
TECNICO DEL LABORATORIO
DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio


.....
Edwar Cleza Sanchez
Ingeniero Civil
Registro CIP N° 185264

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Laboratorio de Mecánica de Materiales

CONCRETO EN ESTADO FRESCO PARA ADOQUINES
NTP 339.046 (Peso Unitario y Contenido de Aire)
NTP 339.035 (Asentamiento del Concreto Fresco)
NTP 339.184 (Temperatura del Concreto Fresco)

Tesis : CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

Responsables : NEYSER VÁSQUEZ NÚÑEZ Y NELDER JOSELITO QUINTANA MENDOZA

Ubicación : DISTRITO DE CHOTA-CHOTA-CAJAMARCA

Fecha: 09-10/10/2024

PORCENTAJE DE ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO		20%
DESCRIPCIÓN	DATOS Y RESULTADOS	
Peso del molde	9.78 kg	
Peso del molde + concreto	17.962 kg	
Peso del concreto	8.18 kg	
Volumen del molde	0.004 m ³	
Peso Unitario	2272.78 kg/m ³	
Asentamiento	3.7 pulg	
Contenido de aire Unitario	2.3%	
Temperatura	18.60 °C	

PORCENTAJE DE ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO		40%
DESCRIPCIÓN	DATOS Y RESULTADOS	
Peso del molde	9.78 kg	
Peso del molde + concreto	17.743 kg	
Peso del concreto	7.96 kg	
Volumen del molde	0.004 m ³	
Peso Unitario	2211.94 kg/m ³	
Asentamiento	3.5 pulg	
Contenido de aire Unitario	2.6%	
Temperatura	18.90 °C	

 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
TÉCNICO DEL LABORATORIO
MATERIALES Y ESTRUCTURA

Resp. Laboratorio


Edwar Cleza Sanchez
Ingeniero Civil
Registro CIP N° 185264

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Laboratorio de Mecánica de Materiales

CONCRETO EN ESTADO FRESCO PARA ADOQUINES
NTP 339.046 (Peso Unitario y Contenido de Aire)
NTP 339.035 (Asentamiento del Concreto Fresco)
NTP 339.184 (Temperatura del Concreto Fresco)

Tesis : CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

Responsables : NEYSER VÁSQUEZ NÚÑEZ Y NELDER JOSELITO QUINTANA MENDOZA


Ubicación : DISTRITO DE CHOTA-CHOTA-CAJAMARCA

Fecha: 11-10-24

PORCENTAJE DE ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO		60%
DESCRIPCIÓN	DATOS Y RESULTADOS	
Peso del molde	9.78 kg	
Peso del molde + concreto	17.544 kg	
Peso del concreto	7.76 kg	
Volumen del molde	0.004 m ³	
Peso Unitario	2156.67 kg/m ³	
Asentamiento	3.1 pulg	
Contenido de aire Unitario	3.1%	
Temperatura	19.40 °C	

 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
TÉCNICO DEL LABORATORIO
DE MATERIALES Y ESTRUCTURA

Resp. Laboratorio


Edwar Cieza Sánchez
Ingeniero Civil
Registro CIP N° 185264

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Laboratorio de Mecánica de Materiales

ENSAYO DE ABSORCIÓN-EN ADOQUINES DE CONCRETO

 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
TÉCNICO DEL LABORATORIO
DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio


.....
Edwar Cieza Sánchez
Ingeniero Civil
Registro OIP N° 185264

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Laboratorio de Mecánica de Materiales

**PESO UNITARIO BLOQUES DE ADOQUINES DE CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO
(NTP 399.604)**

Tesis : CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

Responsables : NEYSER VÁSQUEZ NÚÑEZ Y NELDER JOSELITO QUINTANA MENDOZA

Ubicación : DISTRITO DE CHOTA-CHOTA-CAJAMARCA

Fecha: 05-11-24

PESO UNITARIO

Donde:

Wd: Peso seco al horno del espécimen

Ws: Peso saturado del espécimen

Wi: Peso sumergido del espécimen

$$\text{Peso Unitario} = \frac{Wd}{(Ws - Wi)} * 1000$$

PESO UNITARIO Y PESO DE BLOQUES DE ADOQUINES DE CONCRETO					
Nº MUESTRA	PESO DEL BLOQUE (gr)	PESO SATURADO (gr)	PESO SUMERGIDO (gr)	PESO UNITARIO	PESO UNITARIO PRM (kg/m3)

ADICIONANDO 0% DE CAUCHO GRANULADO					
1	2773.2	2940.8	1699.30	2233.75	2271.20
2	2825.4	2975.1	1741.80	2290.93	
3	2813.4	2962.23	1725.18	2274.28	
4	2817.1	2964.69	1732.27	2285.83	

ADICIONANDO 10% DE CAUCHO GRANULADO					
1	2580.7	2751.1	1569.20	2183.52	2185.54
2	2624.4	2794.1	1599.30	2196.52	
3	2586.1	2757.2	1573.15	2184.11	
4	2557.4	2736.7	1562.50	2177.99	

ADICIONANDO 20% DE CAUCHO GRANULADO					
1	2496.5	2689.5	1507.90	2112.81	2111.90
2	2489.1	2682.1	1500.80	2107.09	
3	2486.7	2679.5	1501.30	2110.59	
4	2475.10	2665.2	1496.10	2117.10	

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
TECNICO DEL LABORATORIO
MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio

Edwar Cleza Sánchez
Ingeniero Civil
Registro CIP N° 185264

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Laboratorio de Mecánica de Materiales

**PESO UNITARIO BLOQUES DE ADOQUINES DE CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO
(NTP 399.604)**

Tesis : CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

Responsables : NEYSER VÁSQUEZ NÚÑEZ Y NELDER JOSELITO QUINTANA MENDOZA

Ubicación : DISTRITO DE CHOTA-CHOTA-CAJAMARCA

Fecha: 05-11-24

PESO UNITARIO

Donde:

Wd: Peso seco al horno del espécimen

Ws: Peso saturado del espécimen

Wi: Peso sumergido del espécimen

$$\text{Peso Unitario} = \frac{Wd}{(Ws - Wi)} * 1000$$

PESO UNITARIO Y PESO DE BLOQUES DE ADOQUINES DE CONCRETO					
Nº MUESTRA	PESO DEL BLOQUE (gr)	PESO SATURADO (gr)	PESO SUMERGIDO (gr)	PESO UNITARIO	PESO UNITARIO PRM (kg/m3)

ADICIONANDO 40% DE CAUCHO GRANULADO					
1	2495.9	2686	1472.60	2056.95	2055.77
2	2444.6	2630.7	1444.90	2061.56	
3	2448.6	2644.2	1452.10	2054.02	
4	2482.2	2676.1	1465.60	2050.56	

ADICIONANDO 60% DE CAUCHO GRANULADO					
1	2455.4	2646.5	1415.30	1994.31	1989.40
2	2367.7	2553.6	1362.30	1987.49	
3	2431.2	2627.3	1402.90	1985.63	
4	2371.7	2568.1	1376.40	1990.18	

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

 TÉCNICO DEL LABORATORIO
 DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio


 Edwar Cloza Sánchez
 Ingeniero Civil
 Registro CIP N° 185264

Asesor

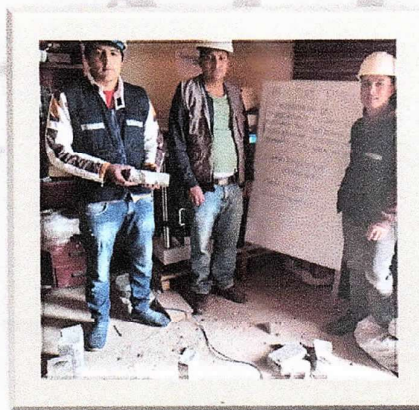
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIDADES DE ALBAÑILERÍA ADOQUINES DE CONCRETO PARA PAVIMENTOS (N.T.P, 399: 604)

TESIS


“CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024”

SOLICITANTE

Neyser Vásquez Nuñez - Nelder Joselito Quintana Mendoza



Chota, Perú del 2024



RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIDADES DE ALBAÑILERÍA ADOQUINES DE CONCRETO PARA PAVIMENTOS
(N.T.P. 399:604)

CIEXLIAN S.R.L. - LABORATORIO
RUC : 20604291641
CEL: 950589432
943450291

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO

TESIS: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024



UBICACIÓN: Distrito de Chota-Provincia de Chota-Departamento de Cajamarca

CLIENTE: Neyser Vásquez Nuñez y Nelder Joselito Quintana Mendoza

MUESTRA N°	DIMENSIONES (cm)			FECHA		RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ADOQUINES DE CONCRETO	EDADA DÍAS	CARGA ROTURA KG	ÁREA BRUTA cm ²	RESISTENCIA		PROMEDIO
	LARGO	ANCHO	ALTO	FECHA FABRICACIÓN	FECHA DE ROTURA					Máxima obtenida	kg/cm ²	
ADICIÓN 0%												
1	19.10	10.00	6.00			290	7	56701.80	191.00	296.87		282.98
2	19.90	10.00	6.10	7/10/2024	14/10/2024	290	7	54968.78	199.00	276.23		
3	20.12	9.90	6.00			290	7	56869.17	199.19	285.51		
4	20.00	10.20	6.00			290	7	55758.30	204.00	273.33		
ADICIÓN 10%												
1	20.00	10.00	6.00			290	7	54726.06	200.00	273.63		270.65
2	19.80	9.90	6.10	8/10/2024	15/10/2024	290	7	53352.12	196.02	272.18		
3	19.80	10.00	5.90			290	7	52935.96	198.00	267.35		
4	20.00	10.00	6.10			290	7	53890.00	200.00	269.45		
ADICIONANDO 20%												
1	20.00	9.90	6.00			290	7	53759.10	198.00	271.51		258.22
2	20.00	10.00	6.20	9/10/2024	16/10/2024	290	7	50585.88	200.00	252.93		
3	20.00	10.00	6.00			290	7	49418.90	200.00	247.09		
3	19.90	9.90	6.10			290	7	51488.17	197.01	261.35		

OBSERVACIONES:
El laboratorio no ha participado en el proceso de muestreo de los adoquines de concreto; su función se ha limitado únicamente a llevar a cabo la rotura del testigo.

adoquín de concreto

Técnico de Laboratorio: _____
Firma: _____





CIEXLIAN
Laboratorio de Suelos y Concreto

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIDADES DE ALBAÑILERÍA ADOQUINES DE CONCRETO PARA PAVIMENTOS
 (N.T.P., 399:604)

CIEXLIAN S.R.L. - LABORATORIO
 RUC : 20604291641
 CEL : 950589432
 943450291

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

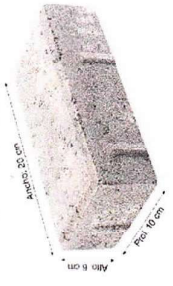
TESIS: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

UBICACIÓN: Distrito de Chota-Provincia de Chota-Departamento de Cajamarca


CLIENTE: Neyser Vásquez Nuñez y Nelder Joselito Quintana Mendoza


MUESTRA N°	DIMENSIONES (cm)			FECHA		RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ADOQUINES DE CONCRETO	CARGA ROTURA KG	ÁREA BRUTA cm2	RESISTENCIA		
	LARGO	ANCHO	ALTO	FECHA FABRICACIÓN	FECHA ROTURA				Máxima obtenida kg/cm ²	PROMEDIO	
ADICION 40%											
1	19.90	9.90	6.00			290	42839.82	197.01	217.45		
2	19.90	10.00	6.00	10/10/2024	17/10/2024	290	44576.00	199.00	224.00		
3	20.00	10.00	5.90			290	43024.00	200.00	215.12	218.23	
4	19.90	9.90	6.00			290	42625.08	197.01	216.36		
ADICION 60%											
1	20.00	9.80	6.10			290	31457.82	196.00	160.50		
1	19.80	10.00	6.00	11/10/2024	18/10/2024	290	31975.98	198.00	161.49		
1	20.00	10.10	5.90			290	31129.41	202.00	154.11	161.84	
1	20.10	10.00	6.20			290	34426.07	201.00	171.27		

OBSERVACIONES: El laboratorio no ha participado en el proceso de muestreo de los adoquines de concreto; su función se ha limitado únicamente a llevar a cabo la rotura del testigo.



Técnico de Laboratorio: _____ Firma: _____


CIEXLIAN Y LABORATORIO
 Ing. Germán Rojas Trigueros
 REG. CIP 388840


CIEXLIAN Y LABORATORIO
 Gilmer Noel Vásquez Saldaña
 TÉCNICO EN LABORATORIO



RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIDADES DE ALBAÑILERÍA ADOQUINES DE CONCRETO PARA PAVIMENTOS
 (N.T.P. 399:604)

CIEXLIAN S.R.L. - LABORATORIO
 RUC : 20604291641
 CEL: 950589432

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

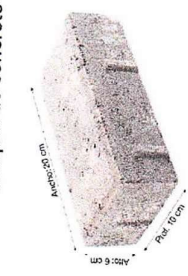
TESIS: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

UBICACIÓN: Distrito de Chota-Provincia de Chota-Departamento de Cajamarca

CLIENTE: Neyser Vásquez Nuñez y Neider Joselito Quintana Mendoza

MUESTRA N°	DIMENSIONES (cm)			FECHA		RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ADOQUINES DE CONCRETO TIPO (I)	EDADA DIAS	CARGA ROTURA KG	ÁREA BRUTA cm2	RESISTENCIA		PROMEDIO
	LARGO	ANCHO	ALTO	FECHA FABRICACIÓN	FECHA DE ROTURA					Máxima obtenida	kg/cm ²	
ADICIÓN 0%												
1	19.90	9.90	6.00			290	14	64106.38	196.02		327.04	
2	20.00	10.00	6.10	7/10/2024	21/10/2024	290	14	62728.98	200.00		313.64	
3	19.90	10.10	6.00			290	14	64457.49	200.99		320.70	317.54
4	20.10	10.10	6.20			290	14	62887.46	203.01		308.79	
ADICIÓN 10%												
1	19.90	10.00	6.10			290	14	57675.90	199.00		289.83	
2	20.00	10.00	6.20	8/10/2024	22/10/2024	290	14	55104.48	200.00		275.52	
3	20.00	10.00	5.90			290	14	60000.00	200.00		300.00	289.97
4	20.10	9.90	5.80			290	14	58610.51	198.99		294.54	
ADICIONANDO 20%												
1	19.90	10.10	6.10			290	14	55923.54	200.99		278.24	
2	20.00	10.10	6.00			290	14	54506.76	202.00		269.84	
3	20.00	9.90	6.20	9/10/2024	23/10/2024	290	14	52530.00	198.00		265.30	269.90
4	20.00	10.00	6.00			290	14	53241.95	200.00		266.21	

El laboratorio no ha participado en el proceso de muestreo de los adoquines de concreto; su función se ha limitado únicamente a llevar a cabo la rotura del testigo.



CIEXLIAN S.R.L. LABORATORIO
 Ing. Hermes Rojas Tiraveco
 REG. CIP. 34894

CIEXLIAN S.R.L. LABORATORIO
 Glimer Yael Vásquez Salazar
 TÉCNICO EN LABORATORIO

Técnico de Laboratorio:

Firma:



RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIDADES DE ALBAÑILERÍA ADOQUINES DE CONCRETO PARA PAVIMENTOS
 (N.T.P., 399:604)

CIEXLIAN S.R.L. - LABORATORIO
 RUC : 20604291641
 CEL: 950589432 943450291

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

TESIS: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

UBICACIÓN: Distrito de Chota-Provincia de Chota-Departamento de Cajamarca

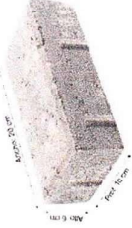
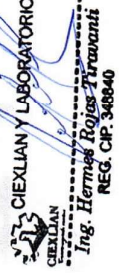
CLIENTE: Neyser Vásquez Nuñez y Nelder Joselito Quintana Mendoza

MUESTRA N°	DIMENSIONES (cm)			FECHA		RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ADOQUINIS DE CONCRETO	EDADA DIAS	CARGA		RESISTENCIA		
	LARGO	ANCHO	ALTO	FECHA FABRICACIÓN	FECHA ROTURA			ROTURA KG	ÁREA BRUTA cm2	Máxima obtenida kg/cm ²	PROMEDIO	
ADICION 40%												
1	19.90	10.00	6.00			290	14	45504.24	159.00	228.66	226.25	
2	20.00	10.00	6.10	10/10/2024	24/10/2024	290	14	43404.06	200.00	217.02		
3	20.00	9.90	6.00			290	14	44977.92	198.00	227.16		
4	19.90	9.90	6.00			290	14	45733.90	197.01	232.14		
ADICION 60%												
1	20.00	9.90	6.10			290	14	33783.42	198.00	170.62	168.65	
2	19.90	10.00	6.00	11/10/2024	25/10/2024	290	14	34298.52	199.00	172.35		
3	20.00	10.00	6.00			290	14	32611.44	200.00	163.06		
4	20.00	10.00	6.10			290	14	33712.00	200.00	168.56		

OBSERVACIONES:

El laboratorio no ha participado en el proceso de muestreo de los adoquines de concreto; su función se ha limitado únicamente a llevar a cabo la rotura del testigo.

adoquines de concreto



Técnico de Laboratorio:

Firma:



RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIDADES DE ALBAÑILERÍA ADOQUINES DE CONCRETO PARA PAVIMENTOS
(N.T.P., 399:604)

CIEXLIAN S.R.L. - LABORATORIO
RUC: 20604291641
CEL: 950589432 943450291

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

TESIS: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

UBICACIÓN: Distrito de Chota-Provincia de Chota-Departamento de Cajamarca

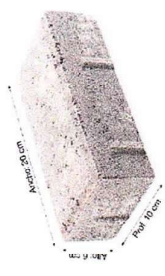
CLIENTE: Neyser Vásquez Nuñez y Neider Joselito Quintana Mendoza

MUESTRA N°	DIMENSIONES (cm)		FECHA FABRICACIÓN N	FECHA FECHA DE ROTURA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ADOQUINES DE CONCRETO	EDADA DIAS	CARGA		RESISTENCIA		PROMEDIO	
	LARGO	ANCHO					ALTO	ROTURA KG	ÁREA BRUTA cm2	Máxima obtenida kg/cm ²		
ADICIÓN 0%												
1	20.00	10.00	6.10		290	28	70616.21	200.00	353.08			
2	19.90	10.10	6.00	7/10/2024	290	28	74090.00	200.99	368.63			
3	20.00	10.00	6.10		290	28	72048.89	200.00	360.24			
4	19.90	10.90	6.00		290	28	76177.47	216.91	351.19		353.29	
ADICIÓN 10%												
1	20.00	9.90	6.10		290	28	59823.72	198.00	302.14			
2	20.14	10.00	6.20	8/10/2024	290	28	62524.63	201.40	310.45			
3	19.90	10.20	5.90	5/11/2024	290	28	62406.20	202.98	307.45		308.32	
4	20.00	10.00	5.80		290	28	62648.00	200.00	313.24			
ADICIONANDO 20%												
1	20.00	10.00	6.00		290	28	55282.00	200.00	276.41			
2	19.90	10.00	6.01	9/10/2024	290	28	54615.55	199.00	274.45			
3	20.00	10.10	6.30	6/11/2024	290	28	56408.50	202.00	279.25		278.06	
4	19.90	10.00	5.90		290	28	56145.86	199.00	282.14			

El laboratorio no ha participado en el proceso de muestreo de los adoquines de concreto, su función se ha limitado únicamente a llevar a cabo la rotura del testigo.

CIEXLIAN Y LABORATORIO
Ing. **Hermes Rojas Tiruvanti**
REG. CP. 348840

Firma: _____



Técnico de Laboratorio:

adoquin de concreto

 CIEXLIAN <small>LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO</small>	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIDADES DE ALBAÑILERÍA ADOQUINES DE CONCRETO PARA PAVIMENTOS (N.T.P., 399:604)	CIEXLIAN S.R.L. - LABORATORIO RUC : 20604291641 CEL: 950589432 943450291
---	--	---

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO


TESIS: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024


UBICACIÓN: Distrito de Chota-Provincia de Chota-Departamento de Cajamarca

CLIENTE: Neyser Vásquez Nuñez y Nelder Joseilito Quintana Mendoza

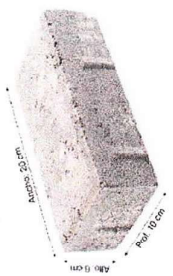
MUESTRA N°	DIMENSIONES (cm)			FECHA FABRICACIÓ N	FECHA FECHA DE ROTURA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ADOQUINIS DE CONCRETO TIPO (I)	EDADA DIAS	CARGA		RESISTENCIA		RESISTENCIA PROMEDIO
	LARGO	ANCHO	ALTO					ROTURA KG	ÁREA BRUTA cm2	Máxima obtenida kg/cm ²		
ADICION 40%												
1	20.00	10.20	6.00			290	28	48323.52	204.00	236.88		238.43
2	20.20	10.00	6.10	10/10/2024	7/11/2024	290	28	48166.90	202.00	238.45		
3	20.10	10.10	6.00			290	28	49380.15	203.01	243.24		
4	20.10	10.10	6.20			290	28	48551.87	203.01	239.15		
ADICION 60%												
1	19.98	9.90	6.10			290	28	38599.08	187.80	195.14		193.33
2	20.00	10.00	6.00	11/10/2024	8/11/2024	290	28	39254.00	200.00	196.27		
3	20.10	9.90	6.20			290	28	37519.56	188.99	188.55		
4	20.10	10.10	6.00			290	28	39254.01	203.01	193.36		

OBSERVACIONES: El laboratorio no ha participado en el proceso de muestreo de los adoquines de concreto; su función se ha limitado únicamente a llevar a cabo la rotura del testigo.


CIEXLIAN Y LABORATORIO
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
Glimer Yoel Vásquez Saldaña
 TÉCNICO EN LABORATORIO


CIEXLIAN Y LABORATORIO
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
Ing. Hermes Rojas Tyrrouant
 REG. CP. 948840

Firma: _____



RESISTENCIA A LA FLEXIÓN UNIDADES DE ALBAÑILERÍA (N.T.P, 339: 079)

TESIS

“CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024”

SOLICITANTE

Neyser Vásquez Nuñez - Nelder Joselito
Quintana Mendoza



Chota, Perú del 2024

CIEXLIAN Y LABORATORIO
CIEXLIAN
Ing. *Harper Rojas Tirsuani*
REG. CIP. 349840



RESISTENCIA A LA FLEXION UNIDADES DE ALBAÑILERÍA (N.T.P. 339: 079)

CIEXLIAN S.R.L. - LABORATORIO
RUC : 20604291641
CEL: 950589432
943450291

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

TESIS: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

UBICACIÓN: Distrito de Chota-Provincia de Chota-Departamento de Cajamarca

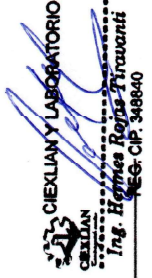
CLIENTE: Neyser Vásquez Nuñez y Nelder Joselito Quintana Mendozo

MUESTRA N°	DIMENSIONES (cm)		FECHA FABRICACIÓN	FECHA DE ROTURA	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN ADOQUINES DE CONCRETO TIPO (I)	EDAD DIAS	CARGA ROTURA		ÁREA		RESISTENCIA	
	LARGO	ANCHO					ALTO	KG	cm2	BRUTA	NETA	RESISTENCIA Máxima obtenida
ADICIÓN 0%												
1	19.10	10.00	6.00		Kg/cm2	7	1187.23	191.00	94.49			
2	20.00	9.90	6.10	14/10/2024	Kg/cm2	7	1333.59	198.00	108.61			97.96
3	19.10	10.00	6.00		Kg/cm2	7	1109.59	191.00	88.31			
4	20.00	9.90	6.10		Kg/cm2	7	1233.53	198.00	100.46			
ADICIÓN 10%												
1	19.10	10.00	6.00		Kg/cm2	7	1080.13	191.00	85.96			
2	20.00	9.90	6.10	8/10/2024	Kg/cm2	7	1112.81	198.00	90.63			83.94
3	19.10	10.00	6.00		Kg/cm2	7	963.83	191.00	76.70			
4	20.00	9.90	6.10		Kg/cm2	7	1012.43	198.00	82.45			
ADICIONANDO 20%												
1	19.10	10.00	6.00		Kg/cm2	7	963.90	191.00	76.71			
2	20.00	9.90	6.10	9/10/2024	Kg/cm2	7	932.28	198.00	75.92			75.75
3	19.10	10.00	6.00		Kg/cm2	7	919.92	191.00	73.21			
4	20.00	9.90	6.10		Kg/cm2	7	947.23	198.00	77.14			

OBSERVACIONES:

El laboratorio no ha participado en el proceso de muestreo de los adoquines de concreto; su función se ha limitado únicamente a llevar a cabo la rotura del testigo.

adoquín de concreto



Técnico de Laboratorio:

Firma:

Ing. Hermes Rojas Pirouaniti
REG. CIP. 348640



CIEXLIAN S.R.L. - LABORATORIO
 RUC : 20604291641
 CEL : 950589432
 943450291

RESISTENCIA A LA FLEXION UNIDADES DE ALBAÑILERIA (N.T.P, 339: 079)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

TESIS: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

UBICACIÓN: Distrito de Chota- Provincia de Chota- Departamento de Cajamarca

CLIENTE: Neyser Vásquez Nuñez y Neider Joselito Quintana Mencoza

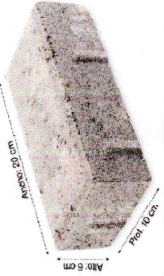
MUESTRA N°	DIMENSIONES (cm)			FECHA		RESISTENCIA A LA FLEXIÓN ADOQUINIS DE CONCRETO TIPO (I)	EDADA		CARGA		RESISTENCIA	
	LARGO	ANCHO	ALTO	FECHA FABRICACIÓN	FECHA DE ROTURA		DIAS	ROTURA KG	ÁREA BRUTA cm2	RESISTENCIA áxima obtenid kg/cm²	PROMEDIO	
ADICION 40%												
1	19.10	10.00	6.00	*0/10/2024	17/10/2024	290	932.28	191.00	74.19	72.56		
2	20.00	9.90	6.10			290	887.18	198.00	72.25			
3	19.10	10.00	6.00			290	886.37	191.00	70.54			
4	20.00	9.90	6.10			290	898.46	198.00	73.25			
ADICION 60%												
1	19.10	10.00	6.00	11/10/2024	18/10/2024	290	850.68	191.00	67.70	65.65		
2	20.00	9.90	6.10			290	779.12	198.00	63.45			
3	19.10	10.00	6.00			290	840.63	191.00	66.90			
4	20.00	9.90	6.10			290	792.51	198.00	64.54			

OBSERVACIONES:

El laboratorio no ha participado en el proceso de muestreo de los adoquines de concreto; su función se ha limitado únicamente a llevar a cabo la rotura del testigo.

CIEXLIAN Y LABORATORIO
 CIEXLIAN
 Gilmer Yael Vásquez Saldaña
 TÉCNICO EN LABORATORIO

CIEXLIAN Y LABORATORIO
 CIEXLIAN
 Jng. Hirmes Rojas Bravanti
 REG. CIP-348840



adoquines de concreto

Tecnico de Laboratorio:

Firma:



RESISTENCIA A LA FLEXION UNIDADES DE ALBAÑILERÍA (N.T.P. 339: 079)

CIEXLIAN S.R.L. - LABORATORIO
 RUC: 20604291641
 CEL: 950589432
 943450291

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

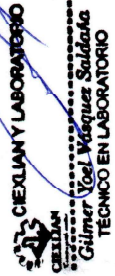
TESIS: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

UBICACIÓN: Distrito de Chota-Provincia de Chota-Departamento de Cajamarca

CLIENTE: Neyser Vásquez Nuñez y Nelder Joselito Quintana Mendoza

MUESTRA N°	DIMENSIONES (cm)			FECHA		RESISTENCIA A LA FLEXIÓN ADOQUINES DE CONCRETO TIPO (I)	EDADA DIAS	CARGA ROTURA KG	ÁREA BRUTA cm2	RESISTENCIA		RESISTENCIA PROMEDIO
	LARGO	ANCHO	ALTO	FECHA FABRICACIÓN	FECHA DE ROTURA					Máxima obtenida kg/cm²		
ADICIÓN 0%												
1	19.10	10.00	5.00	7/10/2024	21/10/2024	290	14	1386.18	191.00	110.32	112.26	
2	20.00	9.90	5.10			290	14	1402.79	198.00	114.24		
3	19.10	10.00	5.00			290	14	1397.91	191.00	111.25		
4	20.00	9.90	5.10			290	14	1390.63	198.00	113.25		
ADICIÓN 10%												
1	19.10	10.00	5.00	8/10/2024	22/10/2024	290	14	1210.17	191.00	96.31	95.74	
2	20.00	9.90	5.10			290	14	1157.32	198.00	94.25		
3	19.10	10.00	5.00			290	14	1245.86	191.00	99.15		
4	20.00	9.90	5.10			290	14	1144.92	198.00	93.24		
ADICIONANDO 20%												
1	19.10	10.00	5.00	9/10/2024	23/10/2024	290	14	1033.92	191.00	79.90	78.63	
2	20.00	9.90	5.10			290	14	963.31	198.00	78.45		
3	19.10	10.00	5.00			290	14	945.55	191.00	75.25		
4	20.00	9.90	5.10			290	14	988.97	198.00	80.54		

El laboratorio no ha participado en el proceso de muestreo de los adoquines de concreto; su función se ha limitado únicamente a llevar a cabo la rotura del testigo.



Técnico de Laboratorio



RESISTENCIA A LA FLEXION UNIDADES DE ALBAÑILERÍA (N.T.P. 339: 079)

CIEXLIAN S.R.L. - LABORATORIO
RUC : 20604291641
CEL: 950589432

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

TESIS: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

UBICACIÓN: Distrito de Chota-Provincia de Chota-Departamento de Cajamarca

CLIENTE: Neyser Vásquez Nuñez y Nelder Joselito Quintana Mendoza

MUESTRA N°	DIMENSIONES (cm)			FECHA		RESISTENCIA A LA FLEXIÓN ADOQUINES DE CONCRETO TIPO (I)	EDAD DIAS	CARGA ROTURA KG	ÁREA BRUTA cm ²	RESISTENCIA	RESISTENCIA
	LARGO	ANCHO	ALTO	FECHA FABRICACIÓN	FECHA DE ROTURA					Máxima obtenida kg/cm ²	PROMEDIO
1	19.10	10.00	6.00			290	14	974.76	191.00	77.58	76.88
2	20.00	9.90	6.10	10/10/2024	24/10/2024	290	14	923.89	198.00	75.24	
3	19.10	10.00	6.00			290	14	985.76	191.00	78.45	
4	20.00	9.90	6.10			290	14	936.30	198.00	76.25	

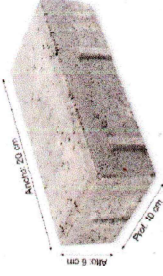
ADICION 60%

1	19.10	10.00	6.00			290	14	914.64	191.00	72.79	72.18
2	20.00	9.90	6.10	11/10/2024	25/10/2024	290	14	878.46	198.00	71.54	
3	19.10	10.00	6.00			290	14	932.98	191.00	74.25	
4	20.00	9.90	6.10			290	14	861.02	198.00	70.12	

OBSERVACIONES:

El laboratorio no ha participado en el proceso de muestreo de los adoquines de concreto; su función se ha limitado únicamente a llevar a cabo la rotura del testigo.

adoquines de concreto



CIEXLIAN Y LABORATORIO
CIEXLIAN
CONSTRUYENDO SUELOS
Ing. Heriberto Rojas Tiravanti
REG. CR. 348840
TÉCNICO EN LABORATORIO

CIEXLIAN Y LABORATORIO
CIEXLIAN
CONSTRUYENDO SUELOS
Ing. Heriberto Rojas Tiravanti
REG. CR. 348840

Técnico de Laboratorio:

Firma:



RESISTENCIA A LA FLEXION UNIDADES DE ALBAÑILERÍA (N.T.P., 339: 079)

CIEXLIAN S.R.L. - LABORATORIO
R.U.C.: 20604291641
CEL: 950589432

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

TESIS: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO | CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

UBICACIÓN: Distrito de Chota-Provincia de Chota-Departamento de Cajamarca

CLIENTE: Neyser Vásquez Nuñez y Nelder Joselito Quintana Mendoza

MUESTRA N°	DIMENSIONES (cm)			FECHA FABRICACIÓN N	FECHA ROTURA	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN ADOQUINES DE CONCRETO TIPO (I)	EDADA DIAS	CARGA ROTURA		RESISTENCIA		
	LARGO	ANCHO	ALTO					KG	cm ²	Máxima obtenida	PROMEDIO	
ADICION 0%												
1	19.90	9.99	6.10	7/10/2024	4/11/2024	290 Kg/cm ²	28	1511.32	198.80	121.36		
2	20.10	9.90	5.90			290 Kg/cm ²	28	1444.20	198.99	128.35		
3	20.10	9.00	6.00			290 Kg/cm ²	28	1270.75	180.90	118.25	120.55	
4	19.90	9.90	6.10			290 Kg/cm ²	28	1434.52	197.01	116.24		
ADICION 10%												
1	20.90	10.00	6.00			290 Kg/cm ²	28	1210.17	209.00	105.39		
2	19.90	9.90	6.10	8/10/2024	5/11/2024	290 Kg/cm ²	28	1386.51	197.01	112.35	109.11	
3	20.00	10.00	6.00			290 Kg/cm ²	28	1300.20	200.00	108.35		
4	20.10	9.90	6.10			290 Kg/cm ²	28	1348.28	198.99	110.35		
ADICIONANDO 20%												
1	20.12	9.90	6.00			290 Kg/cm ²	28	1105.10	199.19	93.58		
2	19.90	9.90	6.00	9/10/2024	6/11/2024	290 Kg/cm ²	28	1151.58	197.01	96.45	90.58	
3	20.00	9.99	6.00			290 Kg/cm ²	28	1109.49	199.80	92.55		
4	20.20	10.10	6.10			290 Kg/cm ²	28	988.97	204.02	79.73		

El laboratorio no ha participado en el proceso de muestreo de los adoquines de concreto; su función se ha limitado únicamente a llevar a cabo la rotura del testigo.

CIEXLIAN Y LABORATORIO
Gilmer Yael Vásquez Saldarriaga
TÉCNICO-EN LABORATORIO

CIEXLIAN Y LABORATORIO
CIEXLIAN
Ing. Hérmes Rojas Tiravanti
REG. CIP. 348840



Técnico de Laboratorio:

Firma:



CIEXLIAN

RESISTENCIA A LA FLEXION UNIDADES DE ALBAÑILERÍA (N.T.P. 339: 079)

CIEXLIAN S.R.L. - LABORATORIO
RUC : 20604291641
CEL: 950589432 943450291

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

TESIS: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES TIPO I CON ADICIÓN DE CAUCHO GRANULAR RECICLADO PARA PAVIMENTOS DE USO PEATONAL, CHOTA, 2024

UBICACIÓN: Distrito de Chota-Provincia de Chota-Departamento de Cajamarca

CLIENTE: Neyser Vásquez Nuñez y Nelder Joselito Quintana Mendoza

MUESTRA N°	DIMENSIONES (cm)			FECHA		RESISTENCIA A LA FLEXIÓN ADOQUINES DE CONCRETO TIPO (I)	EDADA DIAS	CARGA		RESISTENCIA		RESISTENCIA PROMEDIO
	LARGO	ANCHO	ALTO	FECHA FABRICACIÓ N	FECHA DE ROTURA			ROTURA	ÁREA BRUTA	Máxima obtenida kg/cm ²		
ADICION 40%												
1	20.15	9.99	6.00			290	28	1066.72	201.30	89.65		
2	19.99	10.10	6.10	10/10/2024	7/11/2024	290	28	1057.34	201.90	84.36		
3	20.00	10.00	5.98			290	28	1043.51	200.00	87.25		
4	19.90	10.00	6.10			290	28	1015.58	199.00	81.47		86.68
ADICION 60%												
1	20.12	10.00	6.00			290	28	914.64	201.20	76.68		
2	19.90	9.99	5.98	11/10/2024	8/11/2024	290	28	941.29	198.80	78.65		
3	20.10	10.10	6.00			290	28	908.58	203.01	75.34		76.83
4	20.05	10.20	6.00			290	28	935.98	204.51	76.66		

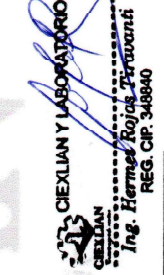
OBSERVACIONES:

El laboratorio no ha participado en el proceso de muestreo de los adoquines de concreto; su función se ha limitado únicamente a llevar a cabo la rotura del testigo.

adoquines de concreto



Técnico de Laboratorio:



Firma:

