



Colpa Matara, 27 de agosto del 2024.

C.O. N° 32-2024-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: **“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”**, elaborado por los bachilleres en ingeniería civil: **Dixon Antony Asenjo Guevara y Edemer Gonzales Idrogo**, para optar el Título Profesional de ingeniero civil, presenta un índice de similitud de 11% excluyendo citas, 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

Dixon Antony Asenjo Guevara

ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL CAUCHO GRANULAR EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS, MECÁNICAS Y TERMOACÚSTICA...

 INFORME FINAL DE TESIS ESTUDIANTES

 UNIDAD DE INVESTIGACION FIC

 Universidad Nacional Autonoma de Chota

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:2991751141

Fecha de entrega

27 ago 2024, 5:17 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

27 ago 2024, 5:25 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

TESIS_Dixon_Asenjo_Edemer_19.07.24.docx

Tamaño de archivo

6.1 MB

194 Páginas

41,543 Palabras

227,456 Caracteres




11% 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

- 10%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 3%  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

- 10% Fuentes de Internet
- 1% Publicaciones
- 3% 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	2%
2	Internet	www.repositorio.unach.edu.pe	2%
3	Internet	hdl.handle.net	1%
4	Internet	repositorio.ucv.edu.pe	1%
5	Internet	talentos.ueb.edu.ec	1%
6	Internet	repositorioacademico.upc.edu.pe	0%
7	Trabajos del estudiante	Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez	0%
8	Internet	repositorio.uss.edu.pe	0%
9	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo	0%
10	Internet	repositorio.unc.edu.pe	0%
11	Internet	repositorio.unh.edu.pe	0%

12	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Autonoma de Chota	0%
13	Trabajos del estudiante	Escuela Politecnica Nacional	0%
14	Internet	repositorio.unj.edu.pe	0%
15	Trabajos del estudiante	Universidad Privada Boliviana	0%
16	Internet	www.grafiati.com	0%
17	Trabajos del estudiante	Pontificia Universidad Catolica del Peru	0%
18	Internet	repositorio.upla.edu.pe	0%
19	Internet	www.dspace.unitru.edu.pe	0%
20	Trabajos del estudiante	Universidad Católica de Santa María	0%
21	Internet	repositorio.unfv.edu.pe	0%
22	Internet	repositorio.unsaac.edu.pe	0%
23	Trabajos del estudiante	Universidad Autonoma de Chile	0%
24	Trabajos del estudiante	Universidad Senor de Sipan	0%
25	Internet	www.coursehero.com	0%

26	Trabajos del estudiante	Universidad Privada del Norte	0%
27	Trabajos del estudiante	Universidad Continental	0%
28	Internet	doczz.es	0%
29	Internet	dspace.ucuenca.edu.ec	0%
30	Publicación	Ramón Tejada Oliveros. "Optimización de las propiedades de tenacidad e impact...	0%
31	Internet	pirhua.udep.edu.pe	0%
32	Internet	tesis.ucsm.edu.pe	0%
33	Internet	dspace.utpl.edu.ec	0%
34	Internet	qdoc.tips	0%
35	Internet	repositorio.uta.edu.ec	0%
36	Internet	docplayer.es	0%
37	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Jose Faustino Sanchez Carrion	0%
38	Internet	www.bio-conferences.org	0%
39	Trabajos del estudiante	Universidad Cooperativa de Colombia	0%

40	Trabajos del estudiante	Universidad Internacional de la Rioja	0%
41	Internet	repositorio.espe.edu.ec	0%
42	Internet	www.pinterest.es	0%
43	Trabajos del estudiante	University of the Andes	0%
44	Internet	prezi.com	0%
45	Internet	repositorio.undac.edu.pe	0%
46	Internet	repositorio.upn.edu.pe	0%
47	Trabajos del estudiante	Corporación Universitaria Minuto de Dios, UNIMINUTO	0%
48	Internet	repositorio.uncp.edu.pe	0%
49	Trabajos del estudiante	Universidad Carlos III de Madrid - EUR	0%
50	Internet	dspace.ups.edu.ec	0%
51	Internet	repositorio.unamba.edu.pe	0%
52	Trabajos del estudiante	uncedu	0%
53	Trabajos del estudiante	unsaac	0%

54	Internet	www.slideshare.net	0%
55	Publicación	Harrison de la Rosa Ramírez. "Desarrollo de formulaciones de ácido poliláctico (P...	0%
56	Internet	doaj.org	0%
57	Internet	livrosdeamor.com.br	0%
58	Internet	mexico.justia.com	0%
59	Internet	patents.google.com	0%
60	Internet	repositorio.upt.edu.pe	0%
61	Internet	repository.unimilitar.edu.co	0%
62	Internet	www.linguee.com	0%
63	Internet	www.mordorintelligence.com	0%
64	Internet	1library.co	0%
65	Publicación	Bingxue Jiang, Shuai Li, Yuanyuan Wu, Jingxin Song, Shanshan Chen, Xinxin Li, Hu...	0%
66	Publicación	Jaime Retama Velasco, Ricardo Heras Cruz. "Evaluación experimental de la resiste...	0%
67	Publicación	Jesús Alexander Estrada, Alexander López González, Daniel Hernández Cruz, Josse...	0%

68	Publicación	Jordi Martínez Ventura. "Enseñanza de la Arquitectura y Educación para el desarr...	0%
69	Publicación	Sandro Cabral, Uajará Pessoa Araújo. "O sistema prisional visto como um nexus d...	0%
70	Internet	dokumen.pub	0%
71	Internet	eim.uas.edu.mx	0%
72	Internet	repositorio.uandina.edu.pe	0%
73	Internet	repositorio.udh.edu.pe	0%
74	Internet	repositorio.uns.edu.pe	0%
75	Internet	repositorio.upao.edu.pe	0%
76	Internet	repositoriobibliotecas.uv.cl	0%
77	Internet	rinacional.tecnm.mx	0%
78	Internet	www.colibri.udelar.edu.uy	0%
79	Internet	www.impresoras3d.com	0%
80	Internet	www.repositorio.usac.edu.gt	0%
81	Internet	www.tenaris.com	0%

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
CHOTA**

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



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 DE INGENIERO CIVIL

Presentado por:

Dixon Antony Asenjo Guevara

Edemer Gonzales Idrogo

Asesor: Mg. Ing. Miguel Ángel Silva Tarrillo

Chota – Perú

2024



FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TESIS Y TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN, PARA OPTAR GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL – UNACH

1. DATOS DEL AUTOR:

Apellidos y nombres: Asenjo Guevara Dixon Antony

Código del alumno: 2015052001

Correo electrónico: dixonantonyasenjoguevara@gmail.com

Teléfono: 978110113

DNI: 73120130

Apellidos y nombres: Gonzáles Idrogo Edemer

Código del alumno: 2015052015

Correo electrónico: edemergi96@gmail.com

Teléfono: 965174324

DNI: 74287687

2. MODALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

Trabajo de investigación

Trabajo de suficiencia profesional

Trabajo académico

Tesis

3. TÍTULO PROFESIONAL O GRADO ACADÉMICO:

Bachiller

Licenciado

Título

Magister

Segunda especialidad

Doctor

4. TÍTULO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

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

5. FACULTAD DE: CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

6. ESCUELA PROFESIONAL DE: INGENIERÍA CIVIL

7. ASESOR

Apellidos y Nombres: Mg. Ing. Miguel Angel Silva Tarrillo

Teléfono: 967904967

Correo electrónico: masilvat@unach.edu.pe

D.N.I: 45606229

A través de este medio autorizo a la Universidad Nacional Autónoma de Chota publicar el trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional Digital, Repositorio Nacional Digital de Acceso Libre (ALICIA) y el Registro Nacional de Trabajos de Investigación (RENATI).

Asimismo, por la presente dejo constancia que los documentos entregados a la UNACH, versión digital, son las versiones finales del trabajo sustentado y aprobado por el jurado y son de autoría del suscrito en estricto respeto de la legislación en materia de propiedad intelectual.

FIRMA:

DNI: 74287687

FIRMA:

DNI: 73120130

**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**

POR:

DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA

EDEMER GONZALES IDROGO

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

de

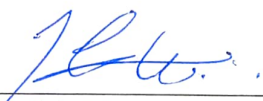
INGENIERO CIVIL

APROBADA POR EL JURADO INTEGRADO POR



Msc. Ing. Luis Fernando Romero Chuquilín

PRESIDENTE



Mg. Ing. Cristhian Saúl López Villanueva

SECRETARIO



Dr. Ing. Claudia Emilia Benavidez Nuñez

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

Los miembros del jurado de tesis que suscriben, reunidos en el segundo piso de la oficina de Incuba de la UNACH, para escuchar y evaluar la sustentación de tesis presentado por los Bachilleres: **Dixon Antony Asenjo Guevara y Edemer Gonzáles Idrogo**, denominado: **"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"**; escuchada la sustentación, las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas, la declaramos:


APROBADO


CON EL CALIFICATIVO (*)


CATORCE (14)

En consecuencia, se le declara **EXPEDITO** 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, 11 de setiembre del 2024


Msc. Luis Fernando Romero Chuquilin
PRESIDENTE


Mg. Cristhian Saúl López Villanueva
SECRETARIO


Dra. Claudia Emilia Benavidez Núñez
VOCAL


Mg. Miguel Ángel Silva Tarrillo
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: “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”; presentado por los Bachilleres: Dixon Antony Asenjo Guevara y Edemer Gonzáles Idrogo, sustentada el día 11 de setiembre del 2024, por Resolución de Coordinación N°254-2024-FCI/UNACH, la declaramos **CONFORME**.

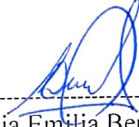
Chota, 24 de setiembre del 2024



Msc. Luis Fernando Romero Chuquilin
PRESIDENTE



Mg. Cristhian Saúl López Villanueva
SECRETARIO



Dra. Claudia Emilia Benavidez Núñez
VOCAL



Mg. Miguel Ángel Silva Tarrillo
ASESOR

DEDICATORIA

A Dios, fuente de sabiduría y guía constante en nuestro camino, dedicamos este trabajo. Su infinita bondad y amor han sido nuestra fortaleza y motivación para alcanzar este logro.

A nuestra amada familia, por su inquebrantable apoyo, comprensión y aliento en cada paso de esta travesía. Su amor incondicional ha sido el motor que nos impulsa a seguir adelante y a alcanzar nuestros sueños.

A nuestros queridos amigos, por su compañía, ánimo y alegría compartida durante este largo camino. Sus palabras de aliento y su presencia han sido un pilar fundamental en momentos de dificultad y celebración.

Con profundo agradecimiento y cariño.

Dixon y Edemer

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas que han contribuido de alguna manera en la realización de esta tesis. En primer lugar, agradecemos a Dios por la fortaleza y sabiduría necesarias en este trabajo de investigación.

También queremos agradecer de manera especial al Mg. Ing. Miguel Ángel Silva Tarrillo, nuestro asesor, por su invaluable apoyo en la elaboración de la tesis.

Agradecemos a los dueños de los talleres de mecánica por su generosa disposición de neumáticos fuera de uso, los cuales fueron fundamentales para la realización de nuestro estudio.

Por último, queremos agradecer a nuestros familiares y amigos por su constante comprensión a lo largo de esta ardua labor. Sin su ayuda y ánimo, este proyecto no hubiera sido posible.

Por todo ello, les estamos profundamente agradecidos. ¡Muchas gracias!

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	15
1.1. Planteamiento del problema.....	15
1.2. Formulación del problema	17
1.3. Justificación	17
1.4. Delimitación de la investigación.....	20
1.5. Limitaciones.....	21
1.6. Objetivos	21
1.6.1. Objetivo general.....	21
1.6.2. Objetivos específicos	21
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	23
2.1. Antecedentes	23
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	23
2.1.2. Antecedentes nacionales	29
2.1.3. Antecedentes regionales	32
2.2. Bases teórico – científicas	35
2.2.1. Teoría del concreto y la influencia del caucho granular.....	35
2.2.2. Teoría del desarrollo sostenible	53
2.2.3. El concreto ligero utilizando agregados de materiales reciclados, como el caucho granular.....	55
2.3. Marco conceptual	57
2.3.1. Caucho triturado	57
2.3.2. Concreto liviano.....	62
2.3.3. Agregados para concreto y para concreto liviano.....	63
2.3.4. Propiedades de los agregados	65
2.3.5. Diseño de mezclas para concreto ligero	68
2.3.6. Propiedades del concreto en estado fresco	69

2.3.7. Propiedades físicas del concreto endurecido	70
2.3.8. Propiedades mecánicas del concreto endurecido.....	71
2.3.9. Propiedades termo acústicas del concreto ligero	73
2.3.10. Normas y regulaciones	74
2.4. Hipótesis.....	75
2.5. Operacionalización de variables.....	76
2.5.1. Variable independiente: Caucho granular	76
2.5.2. Variable dependiente: Propiedades físicas, mecánicas y termoacústicas del concreto liviano, y sus posibles usos en edificaciones	76
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO	78
3.1. Tipo y nivel de investigación	78
3.2. Diseño de investigación.....	79
3.3. Métodos de investigación.....	79
3.4. Población, muestra y muestreo	81
3.4.1. Población	81
3.4.2. Muestreo	81
3.4.3. Muestra	82
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	83
3.5.1. Técnicas	83
3.5.2. Instrumentos	84
3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	85
3.6.1. Procedimientos aplicados en el estudio	85
3.6.2. Procesamiento de datos.....	118
3.6.3. Análisis de datos	118
3.7. Aspectos éticos	119
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	120
4.1. Descripción de resultados.....	120
4.1.1. Propiedades en estado fresco del concreto con caucho granular.....	120
4.1.2. Propiedades físicas del concreto con caucho granular.....	127
4.1.3. Propiedades mecánicas del concreto con caucho granular	132

4.1.4. Propiedades termoacústicas del concreto con caucho granular	137
4.1.5. Comparación de las propiedades del concreto con caucho granular	149
4.1.6. Verificación del cumplimiento de los requisitos de las normas y regulaciones nacionales e internacionales del concreto con caucho granular para su uso en aplicaciones específicas.....	155
4.1.7. Posibles usos del concreto ligero con caucho granular en Chota	160
4.2. Contrastación de hipótesis.....	168
4.3. Discusión de resultados.....	177
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	188
5.1. Conclusiones	188
5.2. Recomendaciones y/o sugerencias	191
CAPÍTULO VI. REFERENCIAS	193
CAPÍTULO VII. ANEXOS	207
Anexo A. Matriz de consistencia.....	207
Anexo B. Datos estadísticos	208
Anexo C. Panel fotográfico	211
Anexo D. Resultados de los ensayos de laboratorio.....	228
Anexo E. Costo Unitario del concreto con caucho granular	284
Anexo F. Ficha técnica y cotización del caucho granular	289

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Categoría de los Agregados Según su Peso Específico.....	64
Tabla 2	Resistencia al Desgaste del Agregado.....	67
Tabla 3	Tipo de Concreto según la Resistencia.....	72
Tabla 4	Matriz de Operacionalización	77
Tabla 5	Tipos de Investigación	78
Tabla 6	Nº de Pruebas al Concreto Fresco.....	82
Tabla 7	Probetas para Pruebas al Concreto Endurecido a los 28 días.....	82
Tabla 8	Medidas de los Modelos a Escala para Pruebas Termoacústicas	83
Tabla 9	Propiedades del Agregado Fino	95
Tabla 10	Porcentaje que Pasa del Agregado Fino	96
Tabla 11	Propiedades del Agregado Grueso	97
Tabla 12	Porcentaje Acumulado del Agregado Grueso	98
Tabla 13	Propiedades Físico mecánicas del Caucho.....	99
Tabla 14	Diseño de Mezcla de Concreto F’c 175 kg/cm ²	102
Tabla 15	Volumen de Materiales de Agregado Grueso y Caucho Granular para Concreto....	103
Tabla 16	Peso de Materiales de Agregado Grueso y Caucho Granular para Concreto	104
Tabla 17	Contenido de Aire del Concreto con Caucho Granular.....	121
Tabla 18	Peso Unitario del Concreto con Caucho en la Densidad del Concreto	123
Tabla 19	<i>Temperatura del Concreto Fresco con Caucho Granular</i>	124
Tabla 20	Asentamiento (Slump) del Concreto con Caucho Granular	126
Tabla 21	Peso y Peso Unitario del Concreto con Caucho Granular.....	129
Tabla 22	Absorción del Concreto con Caucho Granular.....	131
Tabla 23	Resistencia a Compresión del Concreto con Caucho Granular.....	133
Tabla 24	Resistencia a Flexión del Concreto con Caucho Granular	135
Tabla 25	Variación de la Temperatura del Ambiente 1 al Ambiente 2 de las Estructuras Construidas con Concreto con Caucho Granular	142
Tabla 26	Variación de Sonido del Ambiente 1 al Ambiente 2 de las Estructuras Construidas con Concreto con Caucho Granular	148
Tabla 27	Propiedades del Concreto con Caucho Granular.....	149
Tabla 28	Posibles Usos del Concreto con Caucho Granular para Aplicaciones Específicas ..	161
Tabla 29	Costo Unitario de 1 m ³ de Concreto con Caucho Granular.....	165
Tabla 30	Costo de 1 m ² de Losa Aligerada de Techo con Ladrillo Hueco.....	166
Tabla 31	Costo de 1 m ² de Losa Aligerada de Techo con Concreto de 10% de Caucho Granular	166

Tabla 32 Cálculo del Costo de Producción de Ladrillos Portantes con Concreto con 10% de Caucho Granular	167
Tabla 33 Análisis ANOVA Modelo Lineal General para las Propiedades Físicas, Mecánicas y Termoacústicas del Concreto con Caucho Granular	173
Tabla 34 Análisis t-studen para el Peso Unitario In Situ del Concreto con Caucho Granular	173
Tabla 35 Análisis t-studen para la Resistencia a Compresión del Concreto con Caucho Granular	174

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Pilares del desarrollo sostenible.....	54
Figura 2	Proceso de Fabricación de Neumáticos	57
Figura 3	Proceso de Tratamiento de los Neumáticos Fuera de Uso (NFVU)	58
Figura 4	Tipos de Caucho	59
Figura 5	Tipos de Trituración	60
Figura 6	Tipos de Concreto Liviano	62
Figura 7	Tipos de Agregados para Concreto Liviano	63
Figura 8	Pasos para Determinar la Proporción de Compuestos de Mezcla.....	68
Figura 9	Factores que Afectan la Resistencia	72
Figura 10	Diseño de Investigación.....	80
Figura 11	Estructura (Modelos) a Escala para Ensayos Termoacústicos.....	83
Figura 12	Ubicación de las Cantera de Agregados, Chota.....	90
Figura 13	Ensayo de Peso Unitario en el Agregado Fino en la UNACH	94
Figura 14	Distribución Granulométrica del Agregado Fino	96
Figura 15	Curva de Gradación del Agregado Grueso	98
Figura 16	Granulometría del Caucho Granular.....	99
Figura 17	Proporción de Mezcla en Volumen para 1 m ³ de Concreto F'c 175 kg/cm ²	102
Figura 18	Volumen de Materiales de Agregado Grueso y Caucho Granular.....	103
Figura 19	Probetas Luego del Lapso de Curado	106
Figura 20	Realización del Ensayo de Asentamiento del Concreto con Caucho Granular	106
Figura 21	Realización del Ensayo de Temperatura del Concreto con Caucho Granular	107
Figura 22	Realización del Ensayo de Densidad in Situ (Peso Unitario) del Concreto con Caucho Granular.....	108
Figura 23	Prueba de Contenido de Aire del Concreto con Caucho Granular	109
Figura 24	Realización del Ensayo de Absorción del Concreto con Caucho Granular	111
Figura 25	Realización del Ensayo de Compresión al Concreto con Caucho Granular	113
Figura 26	Proceso de Elaboración de Estructuras a Escala para Ensayos Termoacústicos	115
Figura 27	Realización del Ensayo de Percepción de la Temperatura	116
Figura 28	Vista de Modelo para Ensayos termoacústicos.....	117
Figura 29	Influencia del Caucho en el Contenido de Aire del Concreto	121
Figura 30	Influencia del Caucho Granular en el Peso Unitario del Concreto Fresco	123
Figura 31	Influencia del Caucho Granular en el Asentamiento (Slump) del Concreto.....	126
Figura 32	Influencia del Caucho Granular en el Peso del Concreto	129
Figura 33	Influencia del Caucho Granular en la Absorción del Concreto	131
Figura 34	Influencia del Caucho en la Absorción Máxima del Concreto	131

Figura 35	Resistencia a Compresión del Concreto con Caucho Granular	134
Figura 36	Influencia del Caucho Granular en la Resistencia a Compresión del Concreto	134
Figura 37	Resistencia a Flexión del Concreto con Caucho Granular.....	136
Figura 38	Influencia del Caucho Granular en la Resistencia a Flexión del Concreto.....	136
Figura 39	Temperatura en el Ambiente 2 de Cada Tipo de Estructura Construida con Concreto con Caucho Granular.....	139
Figura 40	Temperaturas en Cada Tipo de Estructura Construida con Concreto con Caucho Granular.....	139
Figura 41	Temperaturas en la Estructura con Concreto con 0% de Caucho Granular.....	140
Figura 42	Temperaturas en la Estructura con Concreto con 10% de Caucho Granular.....	140
Figura 43	Temperaturas en la Estructura con Concreto con 25% de Caucho Granular.....	141
Figura 44	Temperatura en la Estructura con Concreto con 50% de Caucho Granular	141
Figura 45	Sonido en el Ambiente 2 de Cada Tipo de Estructura Construida con Concreto con Caucho Granular	145
Figura 46	Sonido en Cada Tipo de Estructura Construida con Concreto con Caucho Granular	145
Figura 47	Sonido en la Estructura con Concreto con 0% de Caucho Granular	146
Figura 48	Sonido en la Estructura con Concreto con 10% de Caucho Granular	146
Figura 49	Sonido en la Estructura con Concreto con 25% de Caucho Granular	147
Figura 50	Sonido en la Estructura con Concreto con 50% de Caucho Granular	147
Figura 51	Resistencia a Compresión del Concreto con Caucho Granular en Relación al F'c de Diseño 175 kg/cm ²	152
Figura 52	Peso Unitario del Concreto con Caucho Granular.....	152
Figura 53	Absorción del Concreto con Caucho Granular	153
Figura 54	Asentamiento del Concreto con Caucho Granular.....	153
Figura 55	Capacidad de Aislamiento Térmico del Concreto con Caucho Granular	154
Figura 56	Capacidad de Aislamiento Acústico del Concreto con Caucho Granular	154
Figura 57	Verificación de la Capacidad Mecánica del Concreto Según Norma E.060	156
Figura 58	Verificación de la Capacidad Mecánica del Concreto de Acuerdo a la Norma E.070 para Bloques.....	157
Figura 59	Verificación de la Capacidad Mecánica del Concreto de Acuerdo a la Norma E.070 para Ladrillos	157
Figura 60	Verificación de la Capacidad Mecánica del Concreto de Acuerdo a la Norma CE.010 para Pavimentos	158
Figura 61	Verificación del Peso Unitario del Concreto de Acuerdo a la Norma ACI 213R para Concreto Ligero	159
Figura 62	Costo Unitario de 1 m ³ de Concreto con Caucho Granular	164

Figura 63 Prueba de Normalidad de la Resistencia a Compresión del Concreto con Caucho Granular.....	170
Figura 64 Prueba de Normalidad del Asentamiento del Concreto con Caucho Granular.....	170
Figura 65 Prueba de Normalidad de la Absorción del Concreto con Caucho Granular.....	171
Figura 66 Prueba de Normalidad del Peso Unitario del Concreto con Caucho Granular	171
Figura 67 Prueba de Normalidad de la Sensación Térmica del Concreto con Caucho Granular	172
Figura 68 Prueba de Normalidad del Aislamiento Acústico del Concreto con Caucho Granular	172
Figura 69 Regresión Lineal del Peso Unitario del Concreto con Caucho Granular.....	174
Figura 70 Regresión Lineal de la Absorción del Concreto con Caucho Granular	175
Figura 71 Regresión Lineal del Asentamiento (Slump) del Concreto con Caucho Granular .	175
Figura 72 Regresión Lineal de la Resistencia a Compresión del Concreto con Caucho Granular	176
Figura 73 Regresión Lineal de la Sensación Térmica en la Estructura con Concreto con Caucho Granular.....	176
Figura 74 Regresión Lineal del Aislamiento Acústico en la Estructura con Concreto con Caucho Granular.....	177
Figura 75 Evolución del parque vehicular estimado 2007 – 2018 (Unidades vehiculares)	208
Figura 76 Evolución del parque vehicular estimado de la región Cajamarca: 2007 – 2018 (Unidades vehiculares).....	208
Figura 77 Parque vehicular estimado, según departamento en el año 2018 (Unidades vehiculares)	209
Figura 78 Composición de los Residuos Sólidos.....	210
Figura 79 Botaderos en la Ciudad de Chota.....	210
Figura 80 Generación de los Residuos Sólidos en la ciudad de Chota	210

RESUMEN

La demanda actual requiere que las construcciones sean más ligeras y duraderas, ya que el número y la altura de los edificios están en constante aumento. La tesis se enfoca en analizar la influencia del caucho granular en las propiedades físicas, mecánicas y termoacústicas del concreto ligero $f'c$ 175 kg/cm² y sus posibles usos en el distrito de Chota. Se utilizaron 36 probetas cilíndricas y 12 prismáticas, además de 72 mezclas de concreto con 0%, 10%, 25% y 50% de caucho granulado, como remplazo del volumen de grava, además, se construyeron modelos a escala para evaluar las propiedades termoacústicas. Los resultados indican que el caucho granulado disminuye el peso unitario del concreto (1863.02kg/m³), clasificándolo como liviano. Aunque afecta la trabajabilidad, especialmente con altos porcentajes de caucho (2.58”). Asimismo, se evidencia una reducción en la resistencia a compresión (73.76kg/cm²) y flexión (3.19kg/cm²) a medida que se acrecienta el porcentaje de caucho granulado en la mezcla. Sin embargo, se destaca la mejora en las propiedades termoacústicas del concreto con caucho granulado, especialmente en la absorción de sonido (34.08%) y aislamiento térmico (45.82%). Por lo que, se sugiere que el porcentaje óptimo de caucho granulado para maximizar las mejoras en estas propiedades es del 25%, con resistencia a compresión de 171.80kg/cm². Finalmente, se señala que ninguna dosificación cumple completamente con los requisitos establecidos por la norma ACI 213R (2014), pero la dosificación con un 25% de caucho granulado se acerca más al cumplimiento de la normativa internacional.

Palabras clave: slump, resistencia a compresión, peso unitario, temperatura, sonido.

ABSTRACT

Current demand requires lighter and more durable constructions, as the number and height of buildings are constantly increasing. The thesis focuses on analyzing the influence of granular rubber on the physical, mechanical and thermoacoustic properties of lightweight concrete f_c 175 kg/cm² and its possible uses in the Chota district. Thirty-six cylindrical and 12 prismatic specimens were used, as well as 72 concrete mixtures with 0%, 10%, 25% and 50% of granular rubber, as a replacement for the volume of gravel, and scale models were constructed to evaluate the thermoacoustic properties. The results indicate that the granulated rubber decreases the unit weight of the concrete (1863.02kg/m³), classifying it as lightweight. Although it affects workability, especially with high percentages of rubber (2.58"). Also, a reduction in compressive strength (73.76kg/cm²) and flexural strength (3.19kg/cm²) is evidenced as the percentage of granulated rubber in the mix increases. However, the improvement in the thermoacoustic properties of concrete with granulated rubber is highlighted, especially in sound absorption (34.08%) and thermal insulation (45.82%). Therefore, it is suggested that the optimum percentage of granulated rubber to maximize the improvements in these properties is 25%, with a compressive strength of 171.80kg/cm². Finally, it is noted that no dosage fully complies with the requirements established by the ACI 213R (2014) standard, but the dosage with 25% granulated rubber is closer to compliance with the international standard

Keywords: slump, compressive strength, unit weight, temperature, sound.

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Cada día se necesitan estructuras más livianas y resistentes debido al crecimiento en número y altura de las construcciones (Pawar et al., 2019). Esto se logra mediante el uso de concreto ligero, el cual presenta densidad menor o igual a 1900 kg/m³ y una resistencia a compresión mayor a 17 MPa al reemplazar parcial o totalmente agregados de peso normal con agregados livianos (Leong et al., 2021). Considerando ello, la utilización de materiales de desecho como sustitutos de los áridos naturales en el concreto se ha convertido en una solución eficaz a los problemas medioambientales (Akbari et al., 2022).

El concreto es el material más utilizado en el mundo (Courland, 2022). En el año 2021, en Perú la industria de la construcción experimentó un crecimiento del 15.22%, reflejado en obras públicas y privadas (El Peruano, 2021). Esto implicó un aumento significativo en la producción de concreto, integrado por cemento, agua y agregados, pero estos últimos son recursos no renovables y su extracción impacta negativamente en el ambiente (Coronación, 2017). La continua extracción de agregados naturales conlleva al agotamiento de estos, por lo que muchas municipalidades han implementado regímenes de extracción para garantizar la sostenibilidad en la industria (El peruano, 2016). No obstante, en provincias como Chota, Cajamarca, donde el número de canteras es limitado y existe solo una única cantera de agregado fino (arena) para concreto, la extracción no se detiene, generando un impacto ambiental notable. Por lo tanto, es relevante buscar otros recursos reciclados que puedan utilizarse como agregados.

Los neumáticos al final de su vida útil se convierten en un desperdicio desafiante debido a sus propiedades no biodegradables, su alto volumen de producción y su baja tasa de utilización (Islam et al., 2022). Cada año, millones de llantas son desechadas, enterradas o quemadas, representando un grave peligro para el medio ambiente (Qaidi et al., 2021). Las llantas de desecho generan una presión enorme y problemas ecológicos para la industria cuando se acumulan en tierras cultivadas o se queman (Ren et al., 2022). Pero, el uso de caucho granular de llantas para la sustitución parcial de agregados en el concreto podría ser una solución ecológica viable (Záleská et al., 2019).

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2018) en Cajamarca, el parque automotor ha crecido progresivamente del año 2017 con 11,255 vehículos, al año 2018 con 27,674 vehículos, generando un aumento en el número de neumáticos fuera de uso derivados del desgaste de las llantas de los vehículos. Mientras que, según la Municipalidad Provincial de Chota (MPCH, 2018) en la ciudad se generan 10,473 toneladas por día de residuos sólidos, de los cuales el 1.81% corresponde a residuos de caucho, cuero y jebe, que terminan depositados en focos de contaminación como las inmediaciones del Ministerio de Agricultura y los márgenes de los cursos de agua del río Chotano, la quebrada Colpamayo y la quebrada San Mateo. Una inspección visual a estos focos de contaminación confirmó la presencia de una gran cantidad de neumáticos fuera de uso que podrían triturarse para obtener caucho granular.

La utilización de caucho desmenuzado en el concreto podría conducir a una mejor gestión de estos desechos, preservando los agregados naturales y protegiendo el ambiente (Qaidi et al., 2021). Sin embargo, es importante tener en cuenta que el caucho triturado puede modificar el comportamiento de

agrietamiento y fractura del concreto (Akbari et al., 2022). El caucho granular en la mezcla de concreto puede tener una serie de beneficios potenciales, como la reducción del peso del material, la mejora de sus propiedades térmicas y acústicas, así como la disminución de la huella de carbono asociada a su producción (Assaggaf et al., 2021). Sin embargo, es necesario investigar a fondo sus efectos en el concreto liviano, tanto en términos de resistencia mecánica y comportamiento térmico y acústico, para determinar su viabilidad y posibles limitaciones en su uso en edificaciones de la ciudad de Chota.

Por lo tanto, aunque el caucho ha sido utilizado previamente para mejorar la tenacidad del concreto, es necesario realizar un análisis detallado para garantizar que no afecte negativamente otras propiedades físicas y mecánicas al ser usado como agregado ligero en concreto a nivel local. Por lo tanto, se ha propuesto analizar el caucho granular en las propiedades físicas, mecánicas y termoacústicas del concreto ligero en Chota, para su aplicación en la construcción.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo influye el caucho granular en las propiedades físicas, mecánicas y termoacústicas del concreto ligero en el distrito de Chota?

1.3. Justificación

El aporte teórico conseguido en esta investigación es la demostración de cómo la inclusión de caucho granular en el concreto liviano puede optimar sus propiedades físicas, mecánicas y termoacústicas, lo cual podría tener aplicaciones importantes en Chota.

Siendo los aportes sustanciales: la evaluación de cómo el uso de caucho granulado afectó la densidad del concreto ligero, se investigó cómo el caucho granulado afectó la capacidad para absorber y retener agua del concreto, se evaluó

el impacto del caucho granulado en la resistencia del concreto, y se evaluó el impacto del caucho granulado en las propiedades termoacústicas del concreto, como la absorción de sonido y el aislamiento térmico. Así mismo, se determinó la cantidad de caucho granulado que se debe agregar a la mezcla de concreto para maximizar las mejoras en las propiedades físicas, mecánicas y termoacústicas. Y se evaluó si el concreto ligero con caucho granulado cumple con los requisitos de las normas y regulaciones locales e internacionales para su uso en aplicaciones específicas, como la construcción de estructuras ligeras o la construcción de carreteras y pavimentos.

Por tanto, se desarrolló y se apoyó en la teoría de rotura del concreto, pero se sustentó en la teoría del desarrollo sostenible, por la búsqueda de sustituir los áridos naturales, evitando su extracción, y por el uso de un material reciclado, caucho granular obtenido a partir de neumáticos fuera de uso. Los resultados se pueden generalizar para su aplicación en construcciones peruanas, que buscan tener un menor peso o carga en la estructura, pero igual resistencia a compresión, no obstante, se requiere un previo diseño de mezclas. Siendo así, la investigación incrementó el conocimiento científico respecto al comportamiento del concreto ligero, con el uso de agregados livianos reciclados, como, el caucho granular, existiendo estudios internacionales y nacionales al respecto, pero no en el ámbito regional, por lo que el análisis es pertinente, para plantear la proporción idónea de cemento: caucho granular, que logre la fabricación de concreto ligero.

La investigación se efectuó por la falta de información acerca del comportamiento físico, mecánico y termoacústico del concreto con caucho granular en Chota, así como, la necesidad de buscar alternativas sostenibles y ecoamigables en la construcción de edificaciones en Chota, debido a la

acumulación de llantas fuera de uso en los botaderos a las afueras de la ciudad, lo que genera contaminación en el entorno ambiental, por el tiempo que tardan estos en degradarse (entre 500 a 1000 años), siendo así, es pertinente que, este material residual tenga otro uso sustentable dentro de la industria, siendo este, para la elaboración de concreto, pero, se deben validar las características físicas, mecánicas y termoacústicas del concreto elaborado, para garantizar que cumpla con los estándares de calidad para su uso.

Así mismo, en Chota, la única cantera de agregado fino es la cantera de Conchán, cuya disponibilidad de material día a día disminuye, siendo así, se tienen que buscar nuevas fuentes de agregados, pero al ser estos recursos no renovables, es mejor si se remplazan total o parcialmente por otro tipo de agregados industriales reciclados. Tal como, argumenta Assaggaf et al. (2021) el uso del concreto de caucho triturado conducirá a un uso sostenible de un material de desecho, lo que llevará a la protección del medio ambiente que se está agotando.

El estudio es original, ya que no se han encontrado investigaciones previas que aborden específicamente el caucho granular en las propiedades físicas, mecánicas y termoacústicas del concreto liviano en Chota.

Por lo que, el aspecto del problema que se resolvió fue la posibilidad de mejorar el concreto utilizando como material agregado el caucho granular, evaluando su viabilidad en la construcción de edificaciones en la región.

Siendo así, con la investigación no solo se benefician los pobladores de la ciudad de Chota con información científica y técnica para el uso del caucho granular en el concreto, sino también, alumnos, docentes e investigadores, debido a que el presente tema, marca el inicio para futuras investigaciones que busquen

producir concreto ligero, haciendo uso de materiales reciclados, dando sustentabilidad al entorno ambiental, no solo por la reducción en el uso de agregados naturales, sino también, por la reducción de elementos residuales.

1.4. Delimitación de la investigación

Espacial: se llevó a cabo en Chota, específicamente en instalaciones del campus Colpamatara de la Universidad Nacional Autónoma de Chota. Se utilizaron materiales como arena de Conchán, grava de Chuyabamba y caucho granular.

Temporal: se realizó en el año 2023, con una duración de seis meses. Durante este periodo se llevaron a cabo las pruebas necesarias para analizar el caucho granular en las propiedades físicas, mecánicas y termoacústicas del concreto liviano.

Profundidad temática: se enfocó en analizar de manera detallada la influencia del caucho granular (de ½” de diámetro) como sustituto parcial del agregado grueso en porcentajes de 0%, 10%, 25% y 50% del volumen, para la elaboración de concreto, abordando aspectos en estado fresco (contenido de aire, peso unitario, temperatura, asentamiento) y en estado endurecido, físicos (absorción, peso), mecánicos (resistencia a compresión y resistencia a flexión) y termoacústicos (percepción de la temperatura y aislamiento del sonido). Así mismo, se consideraron los posibles usos de esta mezcla en construcción.

Metodológica: Se utilizó un enfoque cuantitativo para llevar a cabo la investigación, utilizando técnicas específicas para la recolección y análisis de datos. Se realizaron pruebas de laboratorio para evaluar el concreto con caucho granular.

Procedimental: se realizaron pruebas físicas en los agregados y se realizó el diseño de mezclas base, mismo que se modificó de acuerdo a los porcentajes de

sustitución del agregado grueso por caucho granular, luego se elaboraron las mezclas de concreto, se hicieron pruebas al concreto en estado fresco, también pruebas de resistencia mecánica al concreto endurecido, y pruebas de aislamiento térmico y acústico, como aislamiento del sonido y percepción de la temperatura en modelos a escala de dos habitaciones con paredes de concreto con caucho granular.

1.5. Limitaciones

Para el estudio de las propiedades termoacústicas no existen normativas de ensayos experimentales de campo, por lo que, se ha utilizado la investigación de Bustamante (2021) como base teórica para la realización de las pruebas termoacústicas de percepción de la temperatura y aislamiento del sonido. No se han encontrado más limitaciones teóricas, estando todos los ensayos sustentados por sus respectivas normas técnicas peruanas.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Analizar la influencia del caucho granular en las propiedades físicas, mecánicas y termoacústicas del concreto ligero $f'c$ 175 kg/cm² y sus posibles usos en edificaciones del distrito de Chota.

1.6.2. Objetivos específicos

- Estudiar la influencia del uso de caucho granulado en las propiedades en estado fresco de la mezcla de concreto $f'c$ 175 kg/cm².
- Estudiar la influencia del caucho granulado en las propiedades físicas del concreto $f'c$ 175 kg/cm² endurecido (absorción y peso).
- Analizar la influencia del caucho granulado en las propiedades mecánicas del concreto $f'c$ 175 kg/cm² endurecido (resistencia a compresión y flexión).

- Analizar la influencia del caucho granulado en las propiedades termoacústicas del concreto, como la absorción de sonido (Db) y el aislamiento térmico ($^{\circ}\text{C}$) en un modelo a escala.
- Comparar el concreto con caucho granular para determinar el porcentaje que maximiza las mejoras en sus propiedades.
- Evaluar si el concreto ligero con caucho granulado cumple con los requisitos de las normas y regulaciones nacionales e internacionales para su uso en aplicaciones específicas.
- Describir los posibles usos del concreto ligero con caucho granulado en obras de ingeniería del distrito de Chota.

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. *Antecedentes internacionales*

Islam et al. (2022) en su indagación “Método de diseño y optimización de la resistencia para la producción de concreto estructural liviano: una investigación experimental para la sustitución completa de agregados gruesos convencionales por partículas de caucho de desecho” tuvieron como objetivo diseñar concreto con la sustitución de agregados gruesos convencionales por caucho granular, para ello utilizó la metodología de análisis SEM-EDS, determinando que aumentó en 97, 59 y 20% la resistencia a compresión, flexión y tracción en cotejo con el concreto base, por lo que concluyeron que han fabricado concreto ligero según las recomendaciones del ACI 213R-14 y Eurocode 2, con una resistencia máxima a compresión de 18 MPa, y densidad de 2000 kg/m³. El estudio sirvió como guía metodológica para determinar la gradación única a la que, se utilizaría el caucho granular debido a que, en su estudio plantean diferentes gradaciones de uso y eligen la más adecuada.

Pradhan et al. (2020) en su artículo científico “Efectos de la inclusión de caucho granulado sobre la resistencia, la permeabilidad y la resistencia al ataque ácido del concreto activado con álcalis que incorpora diferentes desechos industriales” tuvieron como objetivo determinar los efectos de la inclusión de caucho granular sobre la permeabilidad y la resistencia del concreto activado con álcalis. Utilizaron la metodología cuasiexperimental, y sustituyeron los agregados finos por caucho triturado al 0%, 10%, 20% y 30% para cada mezcla de concreto ligero activado por álcali (AAC) con diferentes ligantes (cenizas volantes, de

cáscara de arroz y de fondo) para elaborar las muestras que fueron curadas. Concluyeron que la compresión se redujo con el caucho triturado, pero que con 20% de caucho triturado se puede preparar concreto de peso ligero sostenible y duradero. Este estudio se ha utilizado como elemento de contraste, considerando que utilizan el caucho granular como remplazo de la arena, mientras que, en la investigación sustituye al agregado grueso.

Assagaf et al. (2021) en su revisión bibliográfica “Propiedades del concreto con caucho granulado tratado y sin tratar: una revisión” tuvieron por fin analizar las propiedades del concreto con caucho granulado tratado y sin tratar, para ello usó el enfoque cuantitativo, determinando que generalmente elaboran concreto sustituyendo parcial o totalmente los áridos finos y/o gruesos por caucho granular, con espesor de 0.60 mm a 4.75 mm, remplazando a los agregados en porcentajes de 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100%, con relaciones a/c que variaban de 0.30 a 0.60. Sus muestras control alcanzaban resistencias a compresión de 22.30 a 78.05 MPa, pero luego de la incorporación del caucho, disminuían de 3.5% a 60% de su resistencia, sin embargo, incrementa el módulo de elasticidad, impermeabilidad, y las características termoacústicas. En conclusión, el concreto de caucho granulado conducirá a la protección del medio ambiente y la conservar de agregados naturales que se están agotando. El aporte de esta investigación al estudio fue como elemento de comparación, debido a que, está supliendo los agregados por caucho granular.

Leong et al. (2021) en su artículo científico “Incorporación de caucho granulado y agente inclusor de aire en composite cementoso ultraligero: Evaluación de propiedades mecánicas y acústicas” tuvieron como objetivo determinar la incorporación del uso de caucho desmenuzado (CR) y agente

inclusor de aire (AEA) para elaborar un compuesto cementicio ultraligero (ULCC) con densidad menor a 800 kg/m³. Teniendo como resultados que, en comparación con la mezcla de control, la adición de 1% de AEA y la inclusión de 15% de CR tienen un efecto similar en la reducción de la densidad de ULCC, donde la densidad se reduce en aproximadamente un 15%. A pesar de la disminución de la resistencia mecánica con el uso de CR, el ULCC aún posee una buena resistencia a la flexión de 2.4 MPa sin AEA. Concluyeron que, la combinación de CR y AEA, logra la elaboración del ULCC con densidad de 711-857 kg/m³. El aporte de esta investigación al estudio fue: como elemento metodológico, para la verificación de la densidad del concreto ligero elaborado con caucho granular.

Maeijer et al. (2021) en su revisión bibliográfica “Caucho granulado en concreto: las barreras para su aplicación en la industria de la construcción” tuvieron como objetivo realizar un estudio exhaustivo de la literatura para resumir las experiencias de aplicación de caucho granulado (CR) en concreto en los últimos 30 años, el tipo de investigación fue cuasiexperimental, determinando que el rango óptimo de remplazo de caucho triturado basado en las propiedades podría variar entre 10% a 20% para el remplazo de agregados finos y 5% para el remplazo de agregados gruesos. En conclusión, la densidad del concreto cauchutado se reduce sustancialmente con el acrecentamiento en el contenido o finura de caucho triturado, debido a la menor gravedad específica y capacidad de incorporación de aire de caucho triturado. Esto hace que el concreto engomado sea útil para estructuras livianas. El aporte de esta investigación al estudio fue: Como elemento de comparación, debido a que, está supliendo los agregados por caucho granular.

Pham et al. (2020) en su artículo “Propiedades dinámicas de compresión del concreto geo polímero engomado ligero” tuvieron por fin comprobar las

propiedades dinámicas de comprensión del concreto geo polímero engomado ligero, el tipo de investigación fue experimental, determinaron que el efecto de diferentes proporciones de caucho granular reemplazan parcialmente los agregados gruesos y finos (es decir, 0%, 15%, y 30% en volumen) sobre las características dinámicas del concreto geo polímero. Concluyeron que, el concreto de geo polímero cauchutado exhibió mejor resistencia al impacto en comparación con el concreto de geo polímero normal. El aporte de esta investigación al estudio fue: como elemento de comparación, debido a que, está supliendo los agregados por caucho granular tal como en el presente estudio.

Ngii et al. (2019) en su indagación “El efecto de los desechos de neumáticos vulcanizados sobre las propiedades mecánicas del concreto de caucho como material de construcción” tuvieron por fin analizar la aplicación del caucho triturado en las mezclas de concreto. El tipo de investigación fue cuasiexperimental. Realizaron pruebas de laboratorio en 15 cilindros y 15 vigas de concreto, con proporciones de caucho triturado y arena de 0%: 100%, 10%: 90%, 20%:80%, 30%:70% y 40%:60%, concluyendo que la resistencia a compresión alcanzada era 23.33, 21.51, 16.54, 11.04 y 10.10 MPa; siendo así, las propiedades del concreto disminuyeron en 50% tras la añadidura de caucho triturado en la mezcla con 40%, pero, la misma proporción volumétrica aumentó la ductilidad del concreto. El uso de 20% de caucho triturado en la mezcla puede producir concreto ligero para la construcción estructural. El aporte de esta investigación al estudio fue como elemento de comparación.

Záleská et al. (2019) tuvieron por fin comprobar las propiedades del concreto liviano con caucho de llanta de desecho incorporado como agregado grueso. El tipo de investigación fue experimental, utilizaron cuatro proporciones,

con 450 g de cemento, 675 g de arena, 225 de agua, relación a/c de 0.5, reemplazando el agregado grueso (675 g, 540 g, 405 g, 270 g) por el 0%, 10%, 20% y 30% en peso de caucho granular (0 g, 135 g, 270 g y 405 g). La densidad obtenida es 2453, 2249, 2101 y 1902 kg/m³, resistencia a compresión de 64.5, 28.5, 12.3 y 5.2 MPa, resistencia a flexión 6.8, 5.1, 2.7 y 1.7 MPa, módulo de elasticidad 39, 17, 5.8, 3.1 GPa respectivamente. Concluyeron que, el concreto ligero con caucho granular tiene un mejor rendimiento de aislamiento térmico, así mismo, la resistencia mecánica alcanzada por el concreto con caucho es suficiente para aplicaciones estructurales. El aporte de esta investigación al estudio fue: como elemento de contraste de la dosificación utilizada para la elaboración de concreto ligero con caucho granular.

Soto & Marín (2019) tuvieron por fin comprobar el desempeño del concreto con caucho. Utilizaron metodología experimental, con 0%, 2%, 5%, 7% y 10% de caucho triturado para la elaboración de probetas cilíndricas que ensayaron a compresión a los 7, 14 y 28 días, estableciendo que su peso era 13.6, 13.24, 12.74, 13.13 y 13.27 kg, respectivamente, así mismo, su resistencia a compresión era 24.45, 23.12, 23.10, 23.70 y 22.56 MPa. Concluyeron que, para 5% de agregado de caucho, el peso del concreto disminuye significativamente, y la resistencia a compresión se mantiene, debido a que todas las muestras superan la resistencia esperada de 21 MPa. El aporte de esta investigación al estudio fue como elemento de comparación del peso.

Hernández (2018) se propuso desarrollar las propiedades mecánicas del concreto modificado con caucho reciclado de llantas desechadas. El enfoque de la investigación fue experimental, donde preparó diferentes mezclas de concreto con adiciones de caucho en porcentajes que iban del 5% al 25%, manteniendo

constantes las proporciones de cemento, agua, arena y grava. Estas mezclas fueron vertidas en moldes cúbicos y realizó pruebas de compresión a los 28 días de fraguado. Los resultados indicaron que las muestras de concreto con adición de caucho en polvo en porcentajes entre el 10% y el 25%, así como las muestras con caucho en forma de fibras en porcentajes de 20% a 25%, exhibieron densidades dentro del rango de 600 a 1800 kg/m³, lo que las clasifica como concretos ligeros. Sin embargo, al aumentar la cantidad de caucho, la resistencia disminuía. Por lo tanto, sugirió que estos materiales se utilicen en elementos estructurales secundarios que requieran ligereza para reducir cargas muertas, o en aplicaciones de relleno que no estén sometidas a cargas estructurales significativas. La contribución principal de esta investigación radica en proporcionar un punto de comparación en términos de densidad lograda por el concreto ligero al emplear caucho en forma de fibra.

López (2018) en su investigación se propuso determinar el máximo porcentaje de este tipo de agregado que podría emplearse en mezclas de concreto en Colombia. Encontró que las mezclas óptimas incluían un reemplazo de agregado fino y grueso que oscilaba entre el 5% y el 7% con agregado de llanta usada. Para este propósito, usó polvillo de caucho con una granulometría de 1 mm a 5 mm, lo que resultó en un porcentaje total de reemplazo de agregado de entre el 10% y el 14%. Este tipo de concreto con agregado demostró ser adecuado para uso estructural, cumpliendo con los requisitos del NSR-10. Además, destacó que estos concretos ofrecen mejor aislamiento térmico y acústico, así como una reducción de peso en cotejo con el concreto base. Por tanto, concluyó que, con 7% de caucho la combinación cumple con los estándares de resistencia establecidos en la NSR-10 para Colombia, con resistencia a los 28 días superiores

a los 22 MPa para los tipos de concreto CR7 y CR5. La contribución principal de esta investigación radica en su utilidad metodológica al mostrar las aplicaciones potenciales del concreto ligero, así como en resaltar sus propiedades como aislante térmico y acústico.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Zapata (2021) se propuso evaluar cómo afecta el porcentaje y el módulo de finura de las partículas de caucho en estas propiedades del concreto. Para lograrlo, empleó una metodología cuasiexperimental, donde se determinó que las partículas de caucho se incorporaron en un rango del 2%, 4% y 6% en peso. El MF del caucho varió dependiendo de su tamaño: para las partículas de caucho en polvo de menos de 0.5 mm fue de 1.9, mientras que para el caucho granulado con un tamaño entre 0.5 y 2 mm tuvo un MF de 4.0. Determinó que la resistencia a la compresión del concreto base obtuvo 213 kg/cm², mientras que, en el concreto con caucho la resistencia osciló entre 182 y 119 kg/cm². Además, observó que las propiedades en estado fresco, como el asentamiento y densidad del concreto, tendieron a disminuir al ir incrementando la cantidad de caucho añadido. Este estudio contribuye al campo al proporcionar una comparación del concreto ligero con caucho granulado.

Muñoz et al. (2021) se propusieron determinar las aplicaciones y efectos del empleo de caucho granular en el concreto. Para ello, llevaron a cabo una revisión de la literatura científica existente. Los investigadores encontraron que la mayoría de los estudios concluyen que el concreto con la adición de caucho puede ser utilizado, pero en proporciones que van del 0% al 12.5% en peso, sustituyendo al agregado fino, para obtener concretos de alta resistencia (60 MPa). Sin embargo, la resistencia del concreto se reduce si se aumenta la proporción de

caucho. Además, determinaron que se reduce 12.8% de la resistencia a flexión al sustituir el 20% del agregado fino por caucho. Los investigadores concluyeron que la mayoría de los estudios sugieren un contenido máximo de caucho no superior al 20% del volumen total de agregado. Este estudio tiene implicaciones importantes en el diseño y la aplicación de este tipo de concretos con caucho granular, por ende, los resultados son comparables con la presente investigación.

Anco & Magallanes (2021) llevaron a cabo un estudio con el propósito de analizar cómo la incorporación de caucho reciclado afecta la resistencia del concreto con una resistencia nominal de f_c 210 kg/cm², especialmente en condiciones climáticas calurosas. Donde sustituyeron parcialmente los agregados por caucho reciclado de dos tipos: agregado fino (de 0 a 2 mm) y agregado grueso (de 4 mm). Determinaron que cuando se incrementaba el caucho triturado, la resistencia del concreto disminuía notablemente. La resistencia a compresión del concreto convencional de 243 kg/cm² se reducía a 48.40 kg/cm² al emplear agregados de caucho granular. No obstante, también disminuía la densidad y el peso del concreto. En consecuencia, los investigadores concluyeron que el caucho reciclado producía efectos negativos en la mecánica del concreto, utilizando los porcentajes estudiados. Este estudio contribuye al campo al permitir entender las limitaciones y aplicaciones potenciales de este tipo de concretos en condiciones específicas, como en climas cálidos.

Chávarri & Falen (2020) tuvieron como fin desarrollar un concreto amigable con el medio ambiente utilizando caucho reciclado para pavimentar en Lima. El enfoque de la investigación fue exploratorio - descriptivo, y se centró en el comportamiento de 11 muestras de concreto que incorporaban caucho reciclado en tamaños de partículas de 20 y 25 mm, reemplazando hasta el 50% del agregado

fino del concreto. Los hallazgos indicaron que las muestras que incluían caucho eran resistentes a la compresión hasta un reemplazo del 20%. El módulo de rotura mínimo fue 36 kg/cm² con reemplazos de hasta el 40%. Además, la mezcla optimizada resultó en una reducción del costo de fabricación por metro cúbico del 2.9% y una disminución de la huella de carbono del 0.4%. Este estudio sirve como recurso metodológico para elaborar concreto con caucho granulado, además de resaltar las implicaciones en la obtención de pavimentos urbanos más sostenibles en Lima y otras áreas urbanas.

Oyague (2020) examinó cómo la inclusión de neumático triturado afecta las propiedades de un concreto con una resistencia 21 MPa. La investigación se enmarcó en un enfoque aplicativo con un alcance correlacional. En el estudio, se elaboraron un total de 72 especímenes para evaluar la resistencia a compresión y a flexión del concreto con adiciones de 0%, 5%, 10% y 20% de neumáticos triturados. A medida que aumentaba el porcentaje de neumáticos triturados, la resistencia a compresión disminuía, registrándose valores de 285, 197, 172.66 y 163.66 kg/cm² para los porcentajes de adición mencionados, respectivamente. Similarmente, la resistencia a la flexión también mostró una tendencia decreciente con los porcentajes de adición, con valores de 51.10, 40.26, 37.70 y 31.23 kg/cm², respectivamente. Este estudio ayuda a comprender mejor las implicaciones de su uso del concreto con caucho granular.

García (2020) se propuso determinar cómo la inclusión de caucho granulado afecta la capacidad mecánica del concreto para su aplicación en Lima durante el año 2020. Se enmarcó en un enfoque experimental. Determinó que la resistencia a los 7 y 14 días experimentó aumentos del 4% con una adición del 5% de caucho. Sin embargo, a los 28 días, se observaron 236, 201 y 198 kg/cm² para

el concreto con 5, 10 y 15% de caucho, respectivamente. En cuanto a la resistencia a la flexión, a los 28 días, se observó un aumento del 4% en el concreto con 5% y 10% de caucho. Además, se determinó que el costo aumentó en un porcentaje mínimo del precio inicial, con incrementos del 2%, 4% y 5% al agregar 5%, 10% y 15% de caucho, lo que sugiere la viabilidad de su uso. El aporte al estudio fue para comparar las propiedades del concreto ligero con caucho granular.

Calderón & Vasquez (2021) tuvieron como finalidad analizar el efecto del caucho de neumáticos en los bloques de cemento, para ello utilizaron el método cuantitativo de aplicación experimental, como resultados obtuvieron después de agregar caucho que, la resistencia a compresión disminuyó en 10.16% para el concreto con 10% de caucho, mientras que, la densidad del concreto con 20% de caucho reduce en 15.02%. En conclusión, al fabricar bloques de concreto para muros de carga, la cantidad de caucho utilizado como relleno no debe exceder el 10%, porque su resistencia a la compresión se ve seriamente afectada, pero tiene buenas propiedades de aislamiento térmico y reduce el peso del edificio al tener unidades más livianas. El aporte de esta investigación al estudio fue como elemento metodológico del uso del concreto ligero con caucho granular, además de que se compararon los porcentajes de reducción de la capacidad mecánica del concreto con caucho granular.

2.1.3. Antecedentes regionales

Díaz (2021) realizó una revisión documental que abarcó 10 tesis y 14 artículos científicos relacionados con el concreto que incorpora en su matriz de elaboración caucho triturado. Determinó que la inclusión de caucho triturado en el concreto se realiza utilizando generalmente partículas con un tamaño mínimo de 0.50 a 10 mm, sustituyendo en promedio alrededor del 5% del agregado grueso.

Además, identificó que el proceso de obtención del caucho triturado se lleva a cabo mediante trituración mecánica selectiva, donde se separa el material fibroso o de acero de los neumáticos fuera de uso. Concluyó que, con 5% de caucho triturado se puede lograr un concreto con similares características técnicas que, el concreto convencional pero mejores características ambientales. Este estudio proporciona una guía metodológica valiosa para la utilización de neumáticos triturados como material ecológico en la construcción de concreto en Cajamarca y en otras áreas donde se busca implementar prácticas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

Estela & Vasquez (2020) tuvieron como propósito evaluar cómo el caucho afecta al concreto poroso. La metodología empleada fue de carácter experimental. Tuvo un total de 72 probetas para absorción y resistencia. Asimismo, realizaron pruebas de permeabilidad en 48 probetas. Determinaron el diseño de mezcla con 17% de contenido de caucho metamorfoseado y una consistencia slump de 0. Evaluaron cuatro mezclas en total, con tres tratamientos que incorporaban 5, 10 y 15% de caucho reciclado, junto con un grupo de control sin adición de caucho (0%). En conclusión, encontraron que el caucho metamorfoseado altera las propiedades del concreto poroso, aumentando la filtración y disminuyendo la tenacidad a la presión al aumentar la cantidad de partículas de caucho agregadas.

Lucano & Núñez (2023) tuvo como objetivo determinar el efecto del remplazo de arena por caucho granulado de neumáticos reciclados en bloques portantes, con el fin de cumplir con la norma E.070. Para ello, analizaron los agregados y produjeron 261 bloques de concreto con una dosificación de 1: 6 de cemento y agregados, con una relación agua cemento de 1:1, con diferentes porcentajes de caucho granulado (0%, 5%, 10%, 13%, 15%, 20% y 25%) en lugar

de volumen de arena. Encontraron que, a mayor caucho granulado, mayor absorción en los bloques, pero menor resistencia en unidad. Los bloques con 15, 20 y 25% de caucho granulado no cumplen con la resistencia de 50 kg/cm² establecida en la norma E.070. Por otro lado, los bloques con 0% y 13% de caucho granulado superan la resistencia de 74 kg/cm² para pilas y 8.6 kg/cm² para muretes. En consecuencia, concluyeron que el caucho granulado afecta las propiedades mecánicas de los bloques, pero se puede utilizar hasta un 13% de caucho, ya que maximiza el uso de caucho granular en la mezcla de concreto y cumple con la norma E.070 (MVC, 2006).

Bustamante (2021) analizó las propiedades termoacústicas del concreto utilizando diferentes porcentajes de poliestireno expandido en forma de perlas en remplazo del volumen de los agregados de la mezcla. Determinó que, con 12.5% de poliestireno, la resistencia a compresión alcanzada era 175.50 kg/cm². Con respecto a las propiedades termoacústicas el poliestireno sirvió de regulador de la temperatura, siendo así, en el interior de un modelo a escala con dos habitaciones la temperatura promedio fue 17.30 °C, pero además redujo el sonido exterior en 39.50 Db en contraste con el modelo producido con concreto sin perlas de poliestireno. Concluyó que, el uso de concreto con perlas de poliestireno expandido es favorable técnicamente, porque logra un concreto con mejores características termoacústicas. El aporte de este antecedente, si bien no se relaciona con el producto de adición, está orientado a guía metodológica de las pruebas realizadas para caracterizar las propiedades térmicas y acústicas del concreto, ya que, son los mismos procesos que se han aplicado en el estudio.

2.2. Bases teórico – científicas

2.2.1. Teoría del concreto y la influencia del caucho granular en sus propiedades

2.2.1.1.Efecto del caucho granulado en el asentamiento (slump) del concreto fresco

El caucho granulado tiene un efecto positivo sobre el asentamiento del concreto generando mayor fluidez en la mezcla, y por ende mayor trabajabilidad, no obstante, esto debe ser controlado para garantizar que, este dentro del rango plástico y no genere efectos negativos en la resistencia del concreto, pero esto solo sucede si se utiliza un aditivo plastificante de por medio, cuando no se utilizan aditivos plastificante el asentamiento se reduce y la mezcla pierde trabajabilidad, debido a la textura del caucho granular que, no se adhiere a los agregados.

El asentamiento del concreto fresco, comúnmente conocido como "slump", se ve afectado por el caucho granulado. El aditamento de este material puede influir en la capacidad del concreto para mantener su forma y consistencia deseada antes de fraguar. Diversos estudios han demostrado que el contenido de caucho granulado puede alterar significativamente el asentamiento del concreto fresco.

Según Farfán & Leonardo (2018) aumentó el asentamiento en las mezclas de concreto del 38 al 45%, en comparación con el concreto base, cuando se agregó caucho en concentraciones del 5 al 15%, junto con un aditivo plastificante. Sin embargo, solo se registraron aumentos en el asentamiento del 1 al 3% al emplear caucho reciclado con aditivos. Además, los autores encontraron incrementos en el asentamiento del 11 al 25% y del 14 al 16% en concretos con un 10% y un 15% de caucho reciclado, respectivamente, en lugar de agregados. Al usar plastificantes en diferentes dosis, se obtuvieron incrementos mínimos del 47.9%

y máximos del 139.6%. Esta disparidad significativa se atribuye al aditivo plastificante usado en la mezcla, ya que garantiza una fluidez adecuada.

Pero en cambio, según Smith y Jones (2018), la incorporación de un porcentaje adecuado de caucho granulado puede reducir el asentamiento del concreto, lo que sugiere una mayor cohesión y menor fluidez en la mezcla. Este efecto se atribuye a la naturaleza elástica del caucho, que puede interferir con la interacción entre las partículas, limitando así el asentamiento del concreto.

Por otro lado, investigaciones como las realizadas por García et al. (2020) han encontrado que el efecto del caucho granulado en el asentamiento del concreto fresco puede variar. En experimentos controlados, se observó que mayores concentraciones de caucho granulado tendían a disminuir el asentamiento, mientras que concentraciones más bajas podían no tener un impacto significativo o incluso aumentar el asentamiento.

La reducción en el asentamiento del concreto fresco puede atribuirse a varias razones. Por ejemplo, las partículas de caucho granulado pueden ocupar espacio en la mezcla de concreto, lo que limita la capacidad del concreto para fluir libremente y, por lo tanto, reduce su asentamiento. Además, el caucho granulado puede interactuar con el agua y otros componentes de la mezcla de concreto de manera diferente al agregado convencional, lo que afecta su capacidad para mantener una consistencia adecuada.

2.2.1.2. Influencia del caucho granulado en la densidad y porosidad del concreto ligero

La adición de caucho granulado al concreto ligero puede tener un impacto significativo en su densidad y porosidad. Los estudios han demostrado que el caucho granulado actúa como un material ligero que reemplaza parcialmente el

agregado convencional, lo que resulta en una disminución de la densidad del concreto. Esto se debe a que el caucho tiene una densidad mucho menor que la mayoría de los materiales pétreos utilizados en la fabricación de concreto.

La sustitución parcial del agregado convencional por caucho granulado reduce la masa total del concreto, lo que conduce a una disminución en su densidad. Además, las partículas de caucho pueden introducir espacios vacíos en la matriz de concreto, lo que contribuye aún más a la reducción de su densidad. Como resultado de esta disminución en la densidad, el concreto ligero con caucho granulado tiende a tener una masa específica más baja.

Además, puede influir en la porosidad del concreto ligero. La presencia de partículas de caucho en la mezcla puede crear porosidades internas en el concreto, ya que el caucho no se une completamente con la matriz de cemento. Estos poros pueden contribuir a una mayor porosidad en el concreto, lo que afecta sus propiedades.

El caucho granulado tiene un efecto positivo en la densidad del concreto disminuyendo el peso del mismo, lo que, facilita la elaboración de concreto ligero, no obstante, también incrementa la porosidad del mismo, pero estos vacíos se encuentran cubiertos es decir, el granulo de caucho, de por sí está lleno de vacíos pero se encuentra encapsulado dentro de la matriz del caucho, no obstante, al ser caucho granular muchas veces las partículas tienen problemas de acomodo en la matriz de concreto formado otro tipo de vacíos o poros en la mezcla, sin embargo esto no es muy común, a pesar de ello, se recomienda tener un control de la dosificación óptima (Farfán & Leonardo, 2018).

Numerosos estudios han explorado el impacto del caucho granulado en la densidad y porosidad del concreto ligero fresco. Por ejemplo, Smith y Johnson

(2019) investigaron el efecto de diferentes concentraciones de caucho en la densidad del concreto y encontraron que a medida que aumentaba la proporción de caucho granulado en la mezcla, la densidad del concreto disminuía significativamente. Este resultado se atribuyó a la baja densidad del caucho granulado en comparación con otros materiales agregados convencionales.

Además de la densidad, la porosidad del concreto ligero es un factor importante que influye en sus propiedades mecánicas y durabilidad. Investigaciones realizadas por García et al. (2021) demostraron que el caucho granulado al concreto ligero fresco puede resultar en una mayor porosidad en la matriz del concreto. Este aumento en la porosidad se relaciona directamente con la presencia de espacios vacíos entre las partículas de caucho y la matriz de cemento.

Es importante destacar que el efecto del caucho en la densidad y porosidad del concreto ligero fresco puede variar según la distribución de tamaño de partícula del caucho y los métodos de mezclado utilizados. Por ejemplo, en un estudio realizado por Martínez y López (2023), se encontró que una distribución uniforme de partículas de caucho granulado en la mezcla de concreto ligero condujo a una disminución más significativa en la densidad y un aumento en la porosidad en comparación con una distribución desigual.

2.2.1.3.Efecto del caucho granulado en la permeabilidad y capacidad de absorción del concreto ligero

El caucho en el concreto ligero puede influir en su permeabilidad y capacidad de absorción de agua de varias maneras. La permeabilidad se refiere a la facilidad con la que el agua puede fluir a través de la estructura del concreto, mientras que la capacidad de absorción se refiere a la cantidad de agua que puede

ser absorbida por el material. A continuación, se explora cómo el caucho granulado afecta estas propiedades: (Muñoz y otros, 2021)

Permeabilidad reducida: puede reducir la permeabilidad del concreto ligero. Las partículas de caucho actúan como elementos de relleno dentro de la matriz de concreto, lo que disminuye la cantidad de espacio disponible para que el agua fluya a través del material. Como resultado, el caucho granulado puede ayudar a disminuir la velocidad a la que el agua puede penetrar en el concreto.

Disminución de la conectividad porosa: La presencia de caucho granulado puede interrumpir la conectividad porosa del concreto ligero, lo que dificulta el paso del agua. Las partículas de caucho pueden actuar como obstáculos para el flujo del agua, reduciendo así la permeabilidad del concreto.

Capacidad de absorción modificada: La incorporación de caucho granulado puede alterar la capacidad de absorción de agua del concreto ligero. Aunque el caucho en sí mismo es hidrofóbico y repele el agua, la presencia de poros y grietas en la interfaz entre el caucho y la matriz de concreto puede permitir la absorción de agua en cierta medida. Sin embargo, en comparación con el concreto convencional, es probable que el concreto ligero tenga absorción mayor debido al aumento en la conectividad porosa y la permeabilidad general.

Por tanto, el caucho granular impermeabiliza la mezcla del concreto al ser un material altamente impermeable proveniente de neumáticos fuera de uso, pero se debe tomar en cuenta otros aspectos como la conductividad hidráulica previo a su uso, porque si bien impermeabiliza al concreto contradictoriamente aumenta su capacidad de absorber agua.

Según Muñoz et al. (2021) la conductividad hidráulica es una propiedad esencial a tener en cuenta al evaluar la idoneidad de un material para su uso en

sistemas de drenaje. Para que los residuos de neumáticos sean eficaces en sistemas de drenaje, es fundamental que permitan la disipación de la humedad a un ritmo adecuado. Aunque la inclusión de TDP en los sistemas de drenaje puede mejorar la permeabilidad, porosidad y capacidad de absorción en comparación con los agregados tradicionales, es importante considerar el potencial de lixiviación que puede resultar de la saturación continua del concreto. Jasim & Abdulabbas (2020), proporcionaron datos experimentales utilizando el método volumétrico, la grava natural fue reemplazada en porcentajes de 0, 10, 20, 30, 40 y 50% para las diferentes muestras. Logrando un concreto más permeable por la dimensión del caucho granular, sin embargo, en otros casos el caucho tiende a ser impermeable.

Investigaciones recientes han arrojado luz sobre cómo la inclusión de caucho granulado afecta la absorción de agua del concreto. Según Lee et al. (2019), la adición de caucho granulado en sustitución de los agregados convencionales en el concreto conduce a un aumento en la porosidad del material, lo que resulta en una mayor absorción de agua. Este fenómeno se atribuye a la naturaleza intrínsecamente porosa del caucho, la cual introduce más vacíos dentro de la matriz de concreto.

Sin embargo, el efecto del caucho granulado en la capacidad de absorción de agua no es unilateral. Moreno y Sánchez (2020) observaron que el tratamiento superficial del caucho granulado antes de su incorporación en la mezcla de concreto puede modificar significativamente este efecto. Mediante el tratamiento de las partículas de caucho con silanos y otros agentes de acoplamiento, se mejora la adhesión entre el caucho y la matriz de cemento, reduciendo la porosidad interfacial.

La proporción de caucho granulado añadido a la mezcla de concreto también juega un papel esencial en la absorción de agua. Investigaciones realizadas por Wang et al. (2021) demostraron que existe un punto óptimo de adición de caucho, más allá del cual el aumento en la capacidad de absorción de agua no aporta beneficios adicionales significativos.

El tamaño de partícula del caucho granulado es otro factor determinante. Estudios de Patel y Clark (2022) indicaron que el uso de partículas de caucho más finas tiende a incrementar la absorción de agua más que el uso de partículas más grandes, debido a la mayor área superficial que interactúa con la matriz de cemento y contribuye a una mayor porosidad.

Por tanto, mientras que el caucho granulado ofrece un potencial considerable para mejorar la sostenibilidad, su efecto en la capacidad de absorción del material es complejo y depende de varios factores, incluyendo el tratamiento superficial del caucho, la proporción y el tamaño de partícula. Estos hallazgos subrayan la importancia de la mezcla y la selección de materiales para optimizar el concreto con caucho granulado.

2.2.1.4. Influencia del caucho granulado en la resistencia del concreto ligero

La introducción de caucho granulado en el concreto ligero puede influir significativamente en su resistencia. A continuación, se detallan algunos aspectos: (Muñoz et al., 2021)

Reducción de resistencia inicial: puede disminuir la resistencia inicial del concreto ligero. Esto se debe a que el caucho actúa como un material menos rígido en comparación con los agregados tradicionales, lo que puede debilitar la estructura del concreto en cierta medida.

Mejora de la tenacidad: A pesar de la posible reducción en la resistencia inicial, puede mejorar la tenacidad del concreto ligero. El caucho tiene propiedades de absorción de energía y puede ayudar a evitar la propagación de grietas dentro del concreto, lo que resulta en una mayor capacidad para resistir impactos y cargas cíclicas.

Variación en la resistencia a largo plazo: la resistencia a largo plazo del concreto ligero puede variar según factores como la cantidad de caucho agregado, la calidad del caucho y la relación agua-cemento. En algunos casos, la resistencia a largo plazo puede ser comparable o incluso superior a la del concreto convencional, especialmente si se optimizan otros aspectos del diseño y la mezcla.

Consideraciones de diseño y mezcla: Para maximizar la resistencia del concreto ligero con caucho granulado, es importante realizar un diseño y una mezcla adecuados. Esto puede implicar ajustar la relación agua-cemento, utilizar aditivos o modificadores de la mezcla y optimizar el proceso de curado para garantizar un desarrollo óptimo de la resistencia.

El efecto del caucho granulado en la resistencia del concreto ligero puede ser complejo y depende de varios factores. Si bien la resistencia inicial puede verse afectada negativamente, la mejora en la tenacidad y la resistencia a largo plazo pueden compensar este efecto. Un diseño y una mezcla cuidadosos son fundamentales para aprovechar al máximo los beneficios del caucho granulado sin comprometer la resistencia general del concreto.

a) Resistencia a compresión

Se han llevado a cabo diversas investigaciones sobre los impactos que las partículas de caucho tienen en las características mecánicas del concreto. La mayoría de estos estudios se han enfocado en el uso de partículas de caucho de

tamaño reducido, conocidas como caucho triturado, las cuales sustituyen parcialmente a los agregados finos y/o gruesos en la mezcla de concreto. Asimismo, algunos trabajos han explorado el empleo de partículas de caucho de mayor tamaño para reemplazar parcialmente a los agregados gruesos. Además, se han investigado las aplicaciones de partículas de caucho en polvo, de tamaño muy reducido, como material de relleno en la composición del concreto.

Uno de los efectos positivos principales al utilizar caucho es la capacidad de obtener concretos de alta resistencia con porcentajes de caucho que van desde el 0% hasta el 12.5%. Sin embargo, un exceso de caucho puede ocasionar pérdida de resistencia (Muñoz et al., 2021).

Irmawaty et al. (2020) llevaron a cabo una investigación que examinó el uso de caucho desmenuzado y virutas de neumáticos que sustituyen parcialmente los agregados naturales. Según los resultados obtenidos, se observó una reducción del 3.5% en el peso del volumen. Además, se registró una disminución del 24% en la resistencia a la compresión al agregar 10% de caucho desmenuzado más virutas de neumáticos, mientras que la resistencia a la tracción se redujo en un 16%.

Elatayeb et al. (2020) llevaron a cabo una investigación sobre las propiedades del concreto que incluye caucho fino como sustituto parcial de la arena. Encontraron que es posible lograr concreto con caucho con resistencia a compresión superior a 10 MPa y una densidad menor a 1600 kg/m³ mediante la incorporación de un 17% de caucho en relación al volumen total de concreto.

Adeboje et al. (2020) examinaron los efectos de reemplazar parcialmente la arena en porcentajes del 1%, 2%, 3% y 4% con caucho granulado en el concreto modificado. Los investigadores evaluaron tanto las propiedades mecánicas como

la formación microestructural del material resultante. Se encontró que conforme se incrementaba la cantidad de caucho granulado en la mezcla, se observaba una mejora en la resistencia del concreto. Los valores de resistencia reportados fueron de 18.5 MPa, 21 MPa, 28.5 MPa, 41 MPa y 42.5 MPa para los diferentes porcentajes de reemplazo de arena. Además, se notó una densificación en la microestructura de las muestras de concreto a medida que aumentaba el tiempo de curado. Las densidades medidas fueron de 2330 y 2340 kg/m³ para edades de curado de 3, 7, 28, 90 y 120 días, respectivamente. Este estudio destaca el potencial del caucho granulado como adición al concreto para mejorar tanto su resistencia como su estructura interna a lo largo del tiempo.

En el estudio llevado a cabo por Bušić et al. (2020) desarrollaron modelos con el fin de predecir las propiedades del concreto autocompactante con caucho (SCRC). Revelaron que las mezclas que contenían hasta 15% de caucho reciclado y 5% de humo de sílice, presentaban f'_c superior a 30 MPa a los 28 días, demostraron ser las mezclas óptimas para investigaciones futuras sobre concreto fluido estructural con caucho. Este estudio destaca el potencial del uso de materiales reciclados en la producción de concreto autocompactante, ofreciendo una alternativa sostenible y prometedora para la industria de la construcción.

Muttashar et al. (2020) exploraron el impacto de sustituir el agregado grueso convencional por caucho, considerando variaciones en el tamaño. Se plantearon tres proporciones diferentes, siendo del 5, 10 y 15% en peso. Revelaron que, al reemplazar todas las fracciones de tamaño de partículas, la resistencia a la compresión del concreto disminuyó gradualmente del 51% al 15%. Este hallazgo destaca la influencia significativa del contenido de caucho en las propiedades

mecánicas del concreto, lo cual es importante para la formulación de mezclas de concreto con agregados reciclados.

La investigación realizada por Silva et al. (2019) exploró el efecto de la inclusión de caucho en el concreto. En este estudio, se empleó caucho residual obtenido del proceso de recauchutado de neumáticos para reemplazar parcialmente en 7.5, 15 y 30% en relación con la masa de la arena. Indicaron una disminución en la resistencia mecánica del concreto a medida que se incrementaba la sustitución de la arena por caucho. Específicamente, para la resistencia a la compresión a los 28 días, se observó una disminución del 21.8%, 36.7% y 51.7% en comparación con el concreto sin caucho, para 7.5, 15 y 30%, respectivamente. En cuanto a la resistencia a la tracción en flexión, no se observó una disminución significativa con el 7.5% de sustitución, pero para el 15% y el 30% se registraron descensos del 17.7% y 48.9%, respectivamente. Por otro lado, el módulo de elasticidad mostró una reducción del 1.5, 12.9 y 32.5% para los mismos porcentajes de reemplazo. Estos resultados resaltan y subrayan la importancia de considerar cuidadosamente el porcentaje de reemplazo.

Huang et al. (2020) investigó la relación entre el grado equivalente de compactación (EDC) y el factor de reducción de resistencia (SRF) en el concreto de caucho. Durante su investigación, se correlacionó el SRF y el EDC, lo que sugiere que los agregados de caucho presentes en el concreto pueden ser considerados como huecos regulares. A partir de la teoría de microporosidad, los investigadores desarrollaron un nuevo modelo SRF específicamente para el concreto de caucho granulado. Este modelo proporciona una herramienta invaluable para comprender mejor el comportamiento mecánico del concreto que

contiene caucho, lo que podría tener importantes implicaciones en el diseño y la ingeniería de estructuras que utilizan este material innovador.

En el estudio realizado por Muttashar et al. (2020) analizaron el concreto con diferentes proporciones de caucho en migajas y cenizas volantes como reemplazo parcial de la arena y cemento, respectivamente. La investigación se centró en el efecto de variar el contenido de caucho en migajas que sustituye a la arena, en un rango del 0% al 20%, y las cenizas volantes que reemplazan al cemento, con un rango del 0% al 30%. Los resultados obtenidos revelaron que, en general, la resistencia del RuPC disminuyó a medida que aumentaba el contenido de caucho en polvo. Sin embargo, se observó que el 5% de caucho en polvo presentó la menor disminución de resistencia en comparación con las otras proporciones evaluadas. Estos hallazgos resaltan el reemplazo de caucho en migajas y cenizas volantes en la formulación del RuPC, con el fin de lograr un equilibrio óptimo entre la reducción de resistencia y otras propiedades del concreto.

Shao et al. (2020) incorporaron diferentes tamaños de partículas de caucho en porcentajes del 5%, 10%, 15%, 20% y 25%. Sus conclusiones destacaron que, al mantener una resistencia interfacial adecuada para fines de reparación, la inclusión de caucho en el concreto contribuye a aumentar su deformabilidad, lo que resulta beneficioso para contrarrestar la rigidez inherente del material.

Por otro lado, en un estudio realizado por Banerjee et al. (2020), se empleó polvo de caucho como sustituto del agregado fino en diferentes proporciones. En este caso, se reemplazó la arena con caucho en porcentajes del 0%, 5%, 7% y 10%, y se evaluó la resistencia en diversas condiciones. Este enfoque ofreció una perspectiva adicional sobre el impacto del caucho en el concreto, centrándose

específicamente en su efecto en la resistencia a la compresión bajo diferentes niveles de sustitución de agregados finos.

b) Resistencia a flexión

Los estudios han revelado que el aditamento de caucho granular al material compuesto puede alterar su comportamiento estructural, especialmente en términos de resistencia a la flexión. Por lo general, la inclusión de caucho puede resultar en una disminución de la rigidez del material, lo que se traduce en una mayor deformabilidad y capacidad de absorción de energía antes de la falla bajo cargas de flexión. Esta disminución de la rigidez puede atribuirse a la naturaleza elastomérica del caucho, que actúa como una fase de amortiguación en el material compuesto. Sin embargo, la cantidad y distribución del caucho granular en la matriz del material, así como la calidad y características del propio caucho, pueden influir significativamente en el efecto final sobre la resistencia a la flexión.

Choudhary et al. (2020) exploraron el uso de fibras de caucho como sustituto de agregados finos en la preparación de concreto funcionalmente graduado. Emplearon diversos materiales como cenizas volantes, fibras de acero, gránulos de vidrio y agregados de granito triturado para esta finalidad. La sustitución de fibras de caucho varió del 0% al 20% en intervalos del 5%, y del 30% para la preparación de concreto base, concreto con fibras de caucho y concreto funcionalmente graduado con caucho.

En su investigación, Mousavimehr & Nematzadeh (2019) exploraron el concreto que incorpora caucho como sustituto natural de la arena, en proporciones del 0, 15 y 30%, bajo condiciones de compresión axial después de haber sido expuesto a diversas temperaturas elevadas. Este estudio exhaustivo analizó una amplia gama de propiedades de las muestras de concreto, que incluyen resistencia.

Además, se evaluaron las características visuales de las muestras después de la exposición a diferentes temperaturas. Basándose en los resultados obtenidos, los investigadores propusieron modelos empíricos, lo que proporciona valiosas herramientas para comprender mejor el comportamiento del concreto con caucho en condiciones de alta temperatura. Este estudio contribuye significativamente al avance del conocimiento en el campo de los materiales de construcción y ofrece información relevante para el diseño y la ingeniería de estructuras expuestas a condiciones térmicas extremas.

Por tanto, el caucho en el concreto ligero puede influir significativamente en su resistencia a la flexión. Se describen los efectos de esta adición: (Muñoz et al., 2021)

Reducción de la resistencia a la flexión: suele provocar una disminución en la capacidad a flexión del concreto ligero. Esto se debe a que las partículas de caucho actúan como discontinuidades en la matriz del concreto, lo que puede debilitar la cohesión y la capacidad de carga del material. La flexión es un modo de falla común en el concreto, y la presencia de caucho puede aumentar la susceptibilidad a este tipo de deformación bajo cargas aplicadas.

Aumento de la deformabilidad: La introducción de caucho granulado puede incrementar la deformabilidad del concreto ligero bajo carga, lo que significa que el material puede experimentar una mayor deformación antes de alcanzar su punto de fractura. Si bien esto puede resultar en una reducción de la resistencia a la flexión, también puede conferir al concreto una mayor capacidad para absorber energía y resistir el agrietamiento bajo cargas cíclicas o impactos.

Modificación de la distribución de tensiones: puede alterar la distribución de tensiones dentro del material cuando se somete a cargas de flexión. Esto puede

dar lugar a concentraciones de tensiones en las interfaces entre el caucho y la matriz de concreto, lo que puede contribuir a la propagación de grietas y a una disminución adicional.

Por tanto, el concreto ligero puede tener un impacto en la capacidad a flexión. Si bien esta inclusión generalmente resulta negativa, también puede influir en la deformabilidad y en la distribución de tensiones dentro del material. Estos factores deben considerarse cuidadosamente al diseñar y aplicar concreto ligero.

2.2.1.5. Influencia del caucho granular en las propiedades termoacústicas del concreto ligero

La introducción de caucho granulado en el concreto ligero influye en sus propiedades termoacústicas. A continuación, se exploran los efectos de esta adición: (Muñoz et al., 2021)

Aislamiento térmico mejorado: el caucho en el concreto ligero puede conducir a un mejor aislamiento térmico. Debido a las propiedades de baja conductividad térmica del caucho, se reduce la transferencia de calor a través del material, lo que ayuda a mantener temperaturas más estables. Esto puede resultar en una mayor eficiencia energética al reducir la pérdida de calor en climas fríos y la ganancia de calor en climas cálidos.

Reducción de la transmisión de sonido: El caucho granulado también puede contribuir a la reducción de la transmisión de sonido a través del concreto ligero. Las partículas de caucho actúan como amortiguadores de vibraciones, absorbiendo parte de la energía sonora que golpea la superficie del material. Esto puede ser beneficioso en la construcción de paredes divisorias entre espacios habitables o áreas con diferentes niveles de ruido.

Mejora de la absorción acústica: Además de reducir la transmisión de sonido, el caucho granulado puede mejorar las propiedades de absorción acústica del concreto ligero. La presencia de partículas de caucho crea una superficie más porosa en el material, lo que aumenta su capacidad para absorber y disipar el sonido en lugar de reflejarlo. Esto puede ayudar a reducir la reverberación y mejorar la calidad acústica de los espacios interiores construidos con este tipo de concreto.

El caucho granulado al concreto ligero puede tener efectos beneficiosos en sus propiedades termoacústicas. Estos incluyen un mejor aislamiento térmico, una reducción de la transmisión de sonido y una mejora en la absorción acústica. Estas características hacen que el concreto ligero con caucho granulado sea una opción atractiva donde se requieren altos estándares de confort térmico y acústico.

a) Conductividad térmica

Diversos estudios han proporcionado evidencia sólida de que la inclusión de caucho granular influye en la conductividad térmica del concreto, lo que a su vez influye en su capacidad para resistir cambios de temperatura y en su eficiencia energética.

Muñoz et al. (2021) encontraron que la adición de un 10% de caucho fino condujo a una mejora del aislamiento térmico en un 23%, lo que sugiere que el caucho puede actuar como un agente aislante en el concreto. Este hallazgo es respaldado por estudios previos, como el de Abb-Elaal & Ahmad (2020), quienes demostraron que el tratamiento térmico previo de las partículas de caucho granulado antes de su incorporación al concreto puede resultar en una reducción adicional de la conductividad térmica del material.

Por otro lado, Tang et al. (2020) estudiaron el concreto con caucho (RRAC) después de exposición a altas temperaturas y encontraron que una proporción de alrededor del 4% de caucho mostró el mejor rendimiento en términos de resistencia al fuego bajo cargas de compresión. Esto sugiere que la inclusión de caucho en el concreto no solo puede mejorar su resistencia térmica, sino también su capacidad para resistir el calor extremo.

Sin embargo, Zaleská et al. (2019) observaron que el caucho puede provocar una reducción del peso unitario del concreto y la conductividad térmica. Aunque la inclusión de caucho puede reducir la conductividad térmica, también puede tener otros efectos.

Akbarzadeh, et al. (2020) sobre el comportamiento mecánico del concreto de caucho después de ser expuesto a altas temperaturas debido a un incendio. Se evaluó el efecto combinado del fuego y la adición de agregado de caucho al concreto, reemplazando la arena en 20%, a temperaturas de 200, 400, 600 y 800 °C. Se desarrollaron modelos predictivos para estimar las propiedades del concreto de caucho reciclado expuesto al fuego. Revelaron un deterioro notable en las características de las muestras de concreto a medida que aumentaba la temperatura de exposición.

Además, Khern et al. (2020) señalaron que son escasas las investigaciones que han explorado el impacto de los agregados de caucho con superficie modificada en las propiedades del concreto, lo que sugiere un área prometedora para futuras investigaciones en este campo.

Por tanto, los estudios revisados indican que la inclusión de caucho granular impacta sus propiedades térmicas, especialmente en términos de conductividad térmica y resistencia al fuego. Sin embargo, se requieren más

investigaciones para comprender completamente los efectos del caucho en otras propiedades del concreto y para explorar el potencial de los agregados de caucho con superficie modificada en la mejora de las propiedades térmicas del material.

b) Propiedades acústicas

El uso de caucho granular en la fabricación de concreto ha sido objeto de interés en la investigación científica debido a su potencial para mejorar las propiedades acústicas del material. Estudios recientes han demostrado que el concreto recubierto de caucho exhibe una mayor capacidad para absorber energía proveniente del sonido, impacto y vibraciones.

Mushunje et al. (2018) observaron que la absorción de sonido aumentó significativamente con niveles de reemplazo de caucho desmenuzado superiores al 20%. Este aumento se atribuye al incremento de los espacios de aire presentes en la estructura del concreto, lo que mejora su capacidad para disipar la energía acústica. Estos hallazgos sugieren que el concreto recubierto de caucho puede ser una opción efectiva para reducir la transmisión de ruido en aplicaciones donde se requiere un buen aislamiento acústico.

En un estudio comparativo realizado por Wang & Du (2020), se evaluaron diversas propiedades físicas, térmicas y acústicas de diferentes tipos de concreto, incluyendo el concreto convencional y con caucho (RCC). Los resultados mostraron que a medida que aumenta el caucho, la densidad aparente del concreto disminuye gradualmente. Esta reducción en la densidad aparente puede contribuir a una mejora en la capacidad de absorción acústica del material, ya que una menor densidad implica una mayor cantidad de espacios de aire en la estructura del concreto, lo que facilita la absorción de sonido.

Además, se encontró que el coeficiente de reducción de ruido también aumentó con el acrecentamiento de la tasa de reemplazo de caucho reciclado. Esto indica que el concreto de caucho granulado reciclado puede ofrecer ventajas significativas en términos de rendimiento acústico.

Por tanto, los estudios revisados sugieren que el caucho granular en el concreto puede mejorar sus propiedades acústicas al aumentar su capacidad para absorber el sonido y reducir la transmisión de ruido. Estos hallazgos tienen importantes implicaciones para el diseño y la construcción de estructuras donde se requiere un buen aislamiento acústico, como edificios residenciales, comerciales y de infraestructura.

2.2.2. *Teoría del desarrollo sostenible*

El desarrollo sostenible se ha convertido en un paradigma fundamental en todas las esferas de la actividad humana, promoviendo un equilibrio entre las necesidades económicas, sociales y ambientales de las presentes y futuras generaciones. En el contexto de la construcción y la tecnología del concreto, la incorporación de prácticas sostenibles ha adquirido una relevancia particular, dada la extensiva utilización de recursos y el impacto ambiental asociado con la producción de concreto. En este marco, la utilización de caucho granulado, derivado del reciclaje de neumáticos fuera de uso, representa una estrategia innovadora que no solo contribuye a la gestión de residuos, sino que también mejora ciertas propiedades del concreto, alineándose así con los principios del desarrollo sostenible.

Figura 1

Pilares del desarrollo sostenible



Nota: (Espinoza, 2019)

La teoría del desarrollo sostenible apareció por primera vez en 1987 y significa utilizar los recursos naturales sin perjudicar a las futuras generaciones para satisfacer sus necesidades futuras (Artaraz, 2002).

Esta teoría se implantó con la finalidad de analizar y replantear nuevas políticas para el desarrollo económico teniendo en cuenta el cuidado del medio ambiente (Espinoza, 2019). Además, se basa en tres pilares importantes como la economía, la sociedad y la protección del ambiente (Castaño, 2013).

La teoría del desarrollo sostenible enfatiza la importancia de desarrollar tecnologías y prácticas que reduzcan el impacto ambiental y promuevan la reutilización de materiales reciclables en la producción de nuevos productos (Brundtland Commission, 1987). En este contexto, investigaciones recientes han demostrado cómo la incorporación de caucho granulado en la mezcla de concreto no solo ayuda a mitigar el problema de disposición de neumáticos desechados,

sino que también puede mejorar las propiedades de aislamiento térmico del concreto (Patel, 2019).

Desde la perspectiva del desarrollo sostenible, la adición de caucho granulado al concreto se alinea con los objetivos de reducción de la explotación de recursos naturales, al sustituir parcialmente los agregados convencionales, y de minimización de la huella de carbono asociada a la producción de concreto (Siddique & Khatib, 2010). Además, este enfoque promueve la economía circular, al integrar materiales reciclados en la cadena de producción de concreto, cerrando el ciclo de vida de los neumáticos y contribuyendo a la gestión de residuos (Jain & Singh, 2020).

No obstante, la implementación de concreto con caucho granulado también plantea desafíos, especialmente en las modificaciones en las propiedades mecánicas del concreto, lo cual requiere investigaciones detalladas y adaptaciones en las prácticas de diseño y construcción (Gupta & Siddique, 2019). La superación de estos desafíos es ineludible para la viabilidad a largo plazo de esta tecnología sostenible y su aceptación en la industria.

2.2.3. El concreto ligero utilizando agregados de materiales reciclados, como el caucho granular

Los concretos ligeros se caracterizan por tener densidades inferiores a las de los concretos convencionales. La reducción de la densidad se debe a la presencia de espacios vacíos en el agregado. El concreto ligero fue descubierto en el año 1900 para disminuir su peso, los concretos normales pueden tener una densidad de 2,500 kg/m³ a diferencia de un concreto ligero que posee entre 1,400 kg/m³ y 2,000 kg/m³ (De la Cruz et al., 2015).

El concreto ligero, especialmente aquel que incorpora agregados de materiales reciclados como el caucho granular, ha emergido como una solución prometedora. El caucho granular, obtenido a partir del reciclaje de neumáticos usados, ofrece una vía para disminuir la acumulación de residuos en vertederos y reducir la demanda de agregados naturales.

El caucho granular en el concreto no solo contribuye a la sostenibilidad, sino que también mejora las propiedades del material. El concreto ligero con caucho granular se caracteriza por su baja densidad, lo que reduce el peso propio de las estructuras, contribuyendo a una disminución en la demanda de material y, por ende, en el impacto ambiental (Li et al., 2019). Además, este tipo de concreto exhibe una mejor capacidad de aislamiento térmico y acústico en comparación con el concreto convencional (Thomas & Gupta, 2018).

No obstante, el desafío principal al utilizar caucho granular es la posible reducción mecánica y la durabilidad del material. Las investigaciones han indicado que el caucho tiende a tener una adhesión más débil con la matriz de cemento en comparación con los agregados naturales, lo que puede llevar a reducir la resistencia (Siddique & Naik, 2020). Sin embargo, estudios recientes han demostrado que estos efectos negativos pueden mitigarse mediante el tratamiento superficial del caucho o la modificación de la mezcla, como la inclusión de aditivos o fibras para mejorar la interfaz caucho-cemento (Patel, 2019).

Wang et al. (2021) sugiere que existe un contenido óptimo de caucho que maximiza la relación beneficio-costos y sostenibilidad ambiental. La determinación precisa de este balance es fundamental en concreto ligero con caucho para que sean viables tanto técnica como ambientalmente.

2.3. Marco conceptual

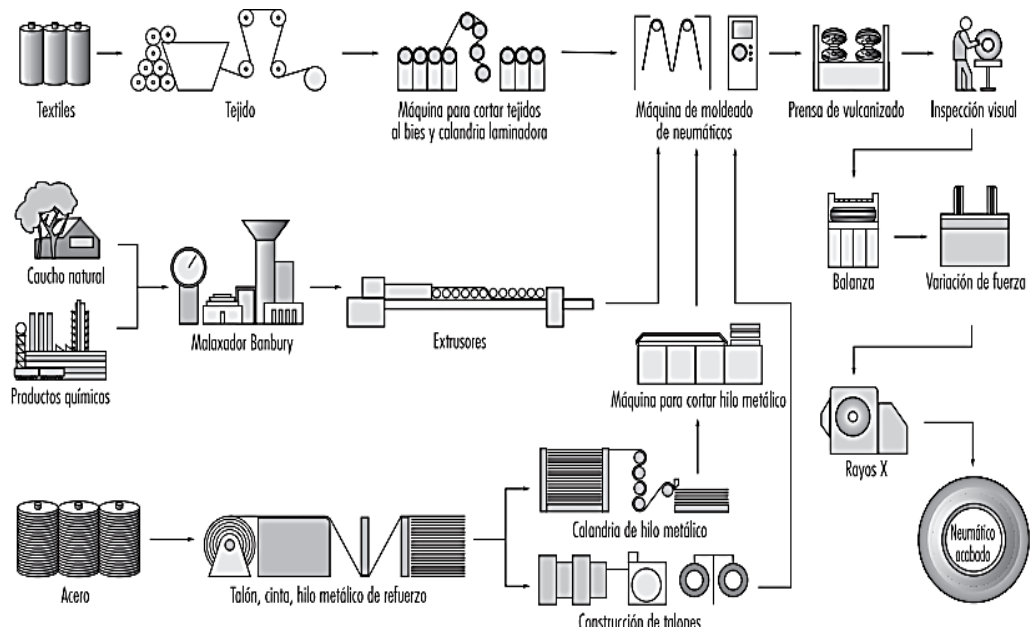
2.3.1. Caucho triturado

2.3.1.1. Caucho

Polímero elástico, capaz de deformarse significativamente y retornar a su forma original cuando se elimina la fuerza que causa la deformación. Según Sterling et al. (2015) sostienen que el caucho es una especie originaria de Sudamérica utilizada mayormente en la industria de látex destinado para la elaboración de llantas. Urrego et al. (2017) sostiene que el caucho natural forma polímero gracias a sus reacciones vulcanizadas que presenta, estas reacciones forman enlaces de carbono las cuales generan elasticidad. Proviene tanto de fuentes naturales como de procesos de síntesis química. Su elasticidad, resistencia al agua y aislamiento eléctrico lo hacen indispensable en diversas aplicaciones, desde neumáticos de vehículos hasta dispositivos médicos y aislantes.

Figura 2

Proceso de Fabricación de Neumáticos



Nota: (Encyclopaedia of Occupational Health & Safety, 2011).

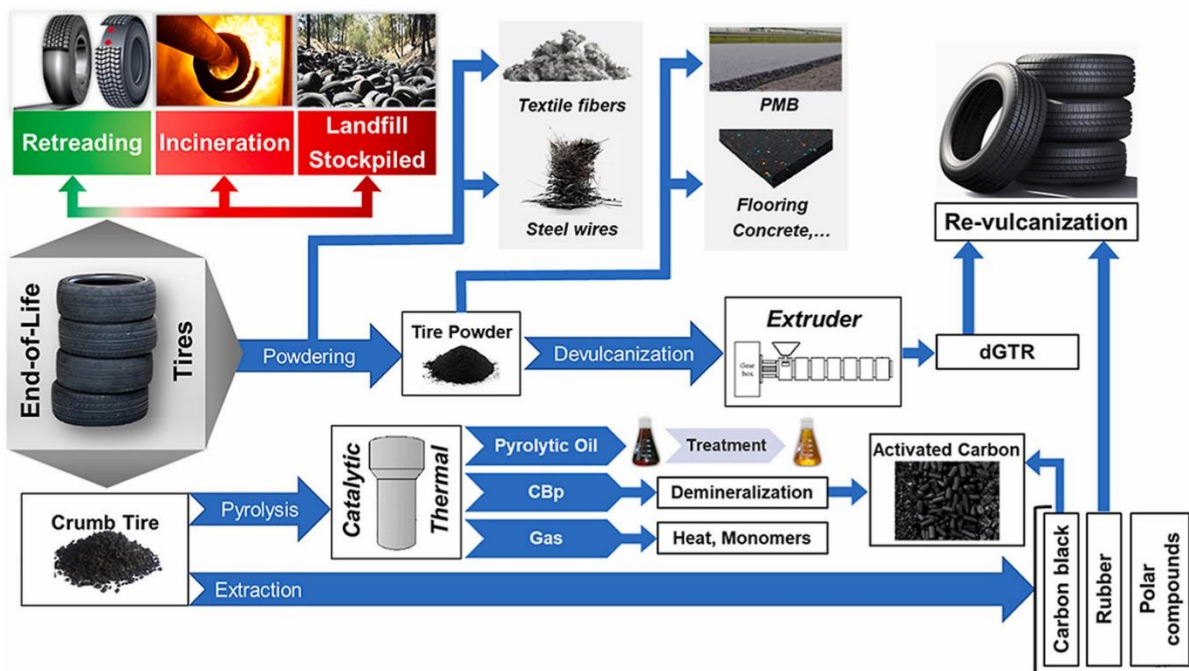
2.3.1.2. Neumáticos fuera de uso

Neumáticos fuera de uso se refiere a los neumáticos que han llegado al final de su vida útil, ya sea por desgaste, daño o avances tecnológicos que los hacen obsoletos. Los neumáticos están compuestos de una mezcla de caucho natural y sintético, acero, fibras textiles y diversos compuestos químicos que mejoran sus propiedades, como resistencia al desgaste, durabilidad y capacidad de carga. Esta compleja composición hace que su reciclaje y disposición final sean técnicamente desafiantes y costosos (Pérez & Saiz, 2018).

Constituyen un desafío ambiental significativo debido a su volumen, durabilidad y los compuestos químicos que contienen. Su gestión adecuada es indispensable para prevenir la contaminación y promover la reutilización y reciclaje. Son considerados simples residuos; sin embargo, si se someten a un proceso de tratamiento estos pueden ser reutilizados o reciclados (Pérez & Saiz, 2018).

Figura 3

Proceso de Tratamiento de los Neumáticos Fuera de Uso (NFVU)



Nota: (Abbas-Abadi et al., 2022).

2.3.1.3. Tipos de caucho

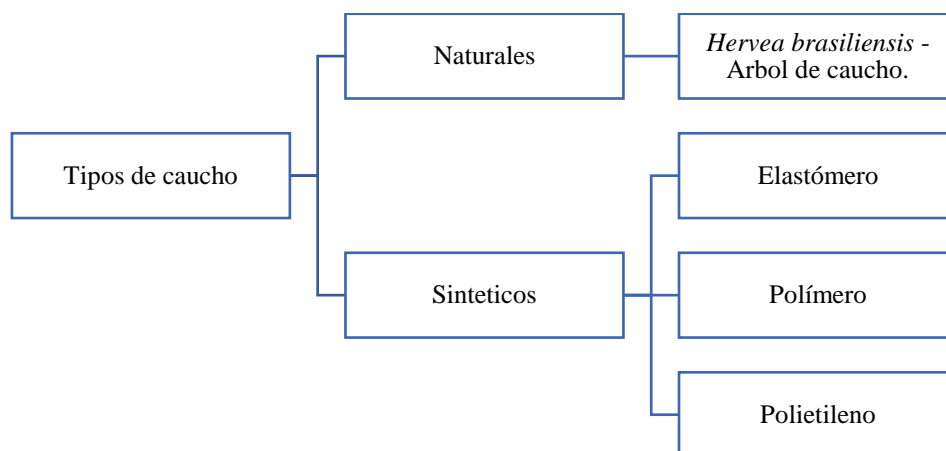
Los cauchos se pueden principalmente estar en dos grandes categorías: natural y sintético. Cada tipo tiene propiedades únicas que lo hacen más adecuado para ciertas aplicaciones. A continuación, se detallan ambos tipos y algunos de los cauchos sintéticos más comunes:

Caucho natural. El caucho natural se obtiene del látex, un líquido lechoso producido por varias plantas, principalmente el árbol *Hevea brasiliensis*. Se caracteriza por su alta elasticidad, resistencia al desgaste y flexibilidad a bajas temperaturas. Es ampliamente utilizado en productos como neumáticos, bandas elásticas y guantes.

Caucho sintético. El caucho sintético se fabrica mediante procesos químicos a partir de derivados del petróleo y otros monómeros. Ofrece propiedades específicas que pueden ser ajustadas según las necesidades de la aplicación, como mayor resistencia a la temperatura, aceites y químicos. Los tipos comunes incluyen el estireno-butadieno (SBR), neopreno y butadieno.

Figura 4

Tipos de Caucho



Nota: Cada tipo de caucho, ya sea natural o sintético, tiene propiedades únicas que lo hacen adecuado para diversas aplicaciones especializadas (Pérez & Saiz, 2018).

2.3.1.4. Tipos de trituración del caucho

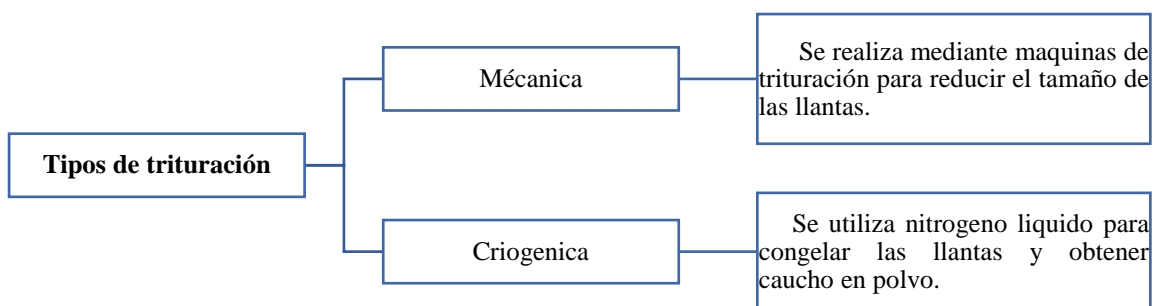
Los NFU pueden ser procesados para recuperar materiales útiles, como el caucho granulado, acero y fibras. El caucho reciclado se utiliza en una amplia gama de productos, incluidos pavimentos, asfalto modificado con caucho y materiales para la construcción, pero previamente debe pasar por procesos de trituración (Clemente, 2022).

Trituración mecánica. La trituración mecánica es un proceso físico que descompone los materiales en partículas más pequeñas mediante fuerzas mecánicas como el corte, la compresión o el impacto. En el contexto del reciclaje de neumáticos, se utiliza para descomponer los neumáticos en chips o partículas más manejables, facilitando su posterior procesamiento o reutilización (Clemente, 2022).

Trituración criogénica. La trituración criogénica utiliza temperaturas extremadamente bajas, generalmente mediante la aplicación de nitrógeno líquido, para congelar y volver frágil el material objetivo, en este caso, el caucho. Al aplicar fuerzas mecánicas, el caucho se quiebra en partículas finas. Este método es particularmente útil para obtener partículas de caucho de tamaño muy pequeño y de alta pureza (Clemente, 2022).

Figura 5

Tipos de Trituración



Nota: (Chinchano, 2020).

2.3.1.5. Caucho granular

El caucho granular se refiere a las partículas de caucho que han sido procesadas a partir de neumáticos fuera de uso o desechos de caucho. Su tamaño puede variar, pero generalmente se encuentra en el rango de menos de un milímetro a varios milímetros. El caucho granular se utiliza en una variedad de aplicaciones, incluidos los campos de juego sintéticos, los pisos de seguridad para áreas de juegos infantiles, mezclas de asfalto modificado y como agregado en la producción de concreto de caucho, donde contribuye a la reducción de la vibración y mejora las propiedades aislantes del concreto (Clemente, 2022).

El caucho granular es un material derivado del reciclaje de neumáticos fuera de uso (NFU) y de otros productos de caucho. Este proceso implica la reducción de estos materiales a pequeñas partículas o gránulos mediante procesos de trituración mecánica o criogénica. El caucho granular se caracteriza por su versatilidad y se ha convertido en un recurso valioso para diversas aplicaciones industriales y de consumo, contribuyendo significativamente a la economía circular y a la reducción de residuos en vertederos (Alay et al., 2020).

El caucho granular tiene una amplia gama de aplicaciones debido a sus propiedades únicas, como la absorción de impactos, durabilidad y resistencia al desgaste. Algunas de sus aplicaciones más comunes incluyen:

Productos de moldeo: Se emplea en la fabricación de baldosas, bordillos y otros elementos de construcción, donde mejora las propiedades de aislamiento.

Materiales aislantes: Su capacidad para absorber vibraciones lo hace ideal para la fabricación de paneles aislantes en la industria de la construcción y el transporte.

Superficies y pavimentos modificados: Se utiliza en la creación de pavimentos, donde proporciona amortiguación y reduce el riesgo de lesiones.

2.3.2. Concreto liviano

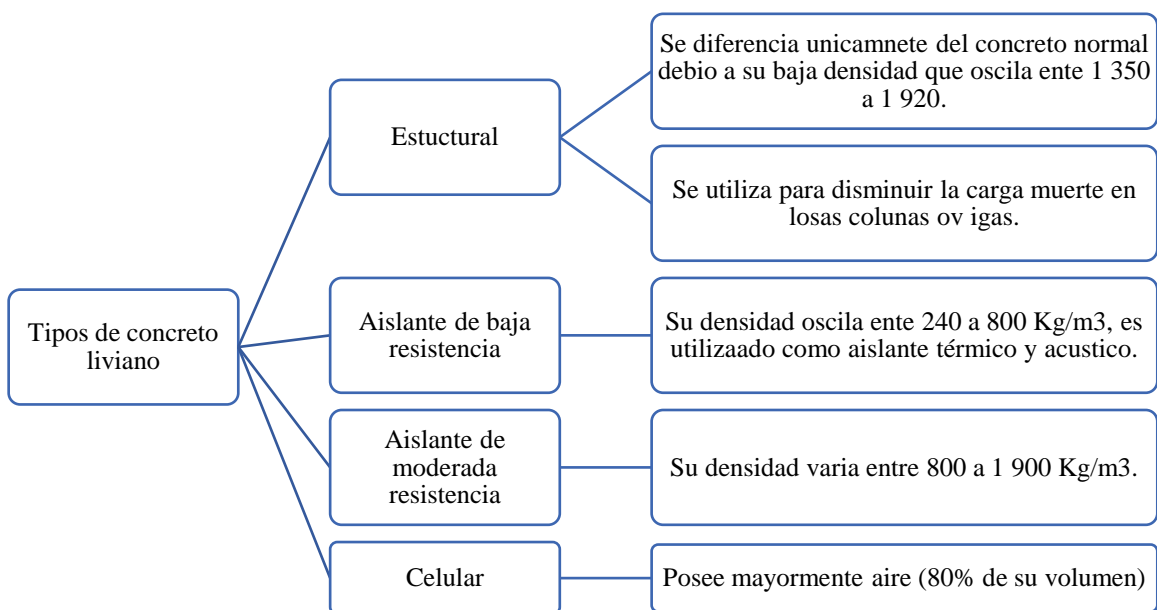
El concreto liviano, también conocido como concreto ligero, es un tipo de concreto que se caracteriza por tener una densidad menor que el concreto normal (León, 2022).

La reducción en la densidad se logra mediante la incorporación de agregados ligeros o por la creación de vacíos en la masa del concreto. Este tipo de concreto no solo es más ligero, sino que también ofrece aislamiento térmico y acústico mejorado, además de una mayor capacidad de absorción de energía (ECOCRET, 2021).

Este tipo de concreto este compuesto por agregados o material inorgánico, agua y mortero; a diferencia del concreto normal este concreto tiene menor peso por consiguiente menor resistencia; sin embargo, son muy beneficiosas en el aislamiento térmico u acústico, simplicidad en el manejo y disminución de costos en obras (De la Cruz et al., 2015).

Figura 6

Tipos de Concreto Liviano



Nota: (Oliveros & Tapahuasco, 2019).

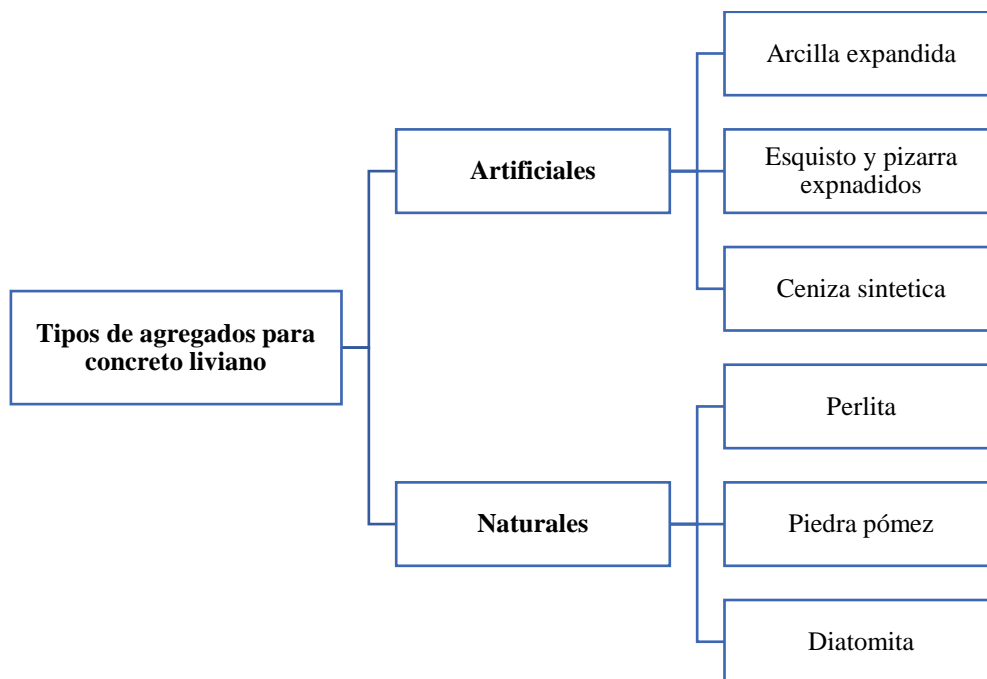
2.3.3. Agregados para concreto y para concreto liviano

Los agregados para concreto liviano son materiales granulares utilizados en la producción de concreto para reducir su densidad sin comprometer significativamente su resistencia. Estos agregados son esenciales para crear mezclas de concreto más ligeras que el concreto convencional, ofreciendo ventajas como mejor aislamiento térmico y acústico, así como una reducción en la carga estructural de los edificios. Se clasifican principalmente en agregados finos y gruesos, cada uno con características y usos específicos (National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA), 2006).

Los agregados para concreto liviano son aquellos que se utilizan para reemplazar los agregados gruesos a fin de disminuir el peso que estos representan en la mezcla de concreto, estos son variables de acuerdo a sus características de resistencia o densidad espumas (León, 2022).

Figura 7

Tipos de Agregados para Concreto Liviano



Nota: (León, 2022).

Agregados finos. Suelen consistir en partículas pequeñas que pasan por tamices de 4.75 mm. Estos incluyen materiales como la arena, la perlita, la vermiculita, y la ceniza volante. La función principal de los agregados finos es llenar los espacios entre los agregados gruesos, mejorando la trabajabilidad de la mezcla y la cohesión del concreto fresco. Además, contribuyen a la estabilidad dimensional y al acabado superficial del concreto endurecido. En el contexto del concreto liviano, los agregados finos específicos ayudan a reducir la densidad de la mezcla, a la vez que mantienen una buena trabajabilidad y resistencia (León, 2022).

Agregados gruesos. Son componentes de mayor tamaño que se utilizan para reducir la cantidad de cemento y agua necesarios, disminuyendo así la densidad del concreto. Estos agregados incluyen materiales como la escoria expandida, la arcilla expandida, la pizarra y otros materiales volcánicos. El tamaño de estos agregados es generalmente mayor que 4.75 mm, y su principal contribución es a la estructura y resistencia del concreto. Al igual que los agregados finos, su selección y proporción en la mezcla de concreto son importantes para alcanzar las propiedades deseadas del concreto liviano, como la resistencia mecánica, la densidad y las propiedades de aislamiento (León, 2022) .

Tabla 1

Categoría de los Agregados Según su Peso Específico

Categoría	Peso específico (kg/m³)
Ligero	1200 – 2000
Normal	2000 – 2800
Pesado	Mayor a 2800

Nota: (Tapia C. , 2021).

La elección entre diferentes tipos de agregados finos y gruesos dependerá de la aplicación específica del concreto liviano, los requisitos de resistencia y durabilidad, así como las propiedades de aislamiento térmico y acústico deseadas.

2.3.4. *Propiedades de los agregados*

2.3.4.1. **Contenido de humedad**

Relación entre la masa de humedad en estado natural y el peso del agregado después de secarlo, puede variar de cero al estar seco hasta un valor máximo que no siempre es 100% (Zenteno, 2023).

Está relacionado con el peso volumétrico, la resistencia y las características térmicas del concreto liviano, el valor de este depende de la porosidad o estructura del concreto (Ventura, 2015).

$$\text{Contenido de humedad} = \frac{W_w}{W_g} \times 100 \quad (1)$$

Donde, W_w Peso del agua presente en la muestra, W_g Peso seco de la muestra.

2.3.4.2. **Granulometría**

La NTP 400.012 (INACAL, 2021) define el procedimiento de asignación por tamizado para obtener la masa de áridos retenida en cada tamiz. Calcula los porcentajes fraccionados y acumulados. Esta propiedad influye en la resistencia de los concretos debido a que sus propiedades afectan en el comportamiento de mezcla en estado endurecido o fluido (Varas, 2018). Este ensayo representa un papel semilogarítmico mediante una curva granulométrica (Gutiérrez, 2021).

Módulo de finura. Se trata de un concepto importante definido en 1925 por Abrams, como la sumatoria de todos los porcentajes de retención acumulados de una serie patrón hasta el centésimo tamiz dividida por 100 (Varas, 2018).

$$MF = \frac{\sum \% \text{retenido}_{\text{acumulado}}(6+3+1\frac{1}{2}+\frac{3}{4}+\frac{3}{4}+N^{\circ}4+N^{\circ}8+N^{\circ}16+N^{\circ}30+N^{\circ}50+N^{\circ}100)}{100} \quad (2)$$

Tamaño máximo nominal (TMN). Se calcula como un mínimo del 15% del material contenido en la abertura del tamiz directamente por encima de la abertura.

2.3.4.3. Absorción y peso específico

El peso específico se refiere a la densidad de masa por unidad de volumen de dicho material. La absorción se refiere al agua necesaria para saturar sus vacíos del agregado (Campos, 2017).

Un alto peso específico indica la calidad de los agregados, debido a que significa que los materiales tienen un buen comportamiento a diferencia de los valores más bajos que indican materiales débiles (Campos, 2017).

$$Pem = \frac{A}{(B-C)} \times 100 \quad (3)$$

$$PeSSS = \frac{B}{(B-C)} \times 100 \quad (4)$$

$$Pea = \frac{A}{(A-C)} \times 100 \quad (5)$$

Donde, para el agregado grueso, A, B y C masa seca en el aire, saturada superficialmente seca y saturada en el agua, respectivamente.

$$Densidad = \frac{997.5 \times A}{(B+S-C)} \quad (6)$$

$$SSD = \frac{997.5 \times S}{(B+S-C)} \quad (7)$$

$$Densidad\ Aparente = \frac{997.5 \times A}{(B+A-C)} \quad (8)$$

Donde, para el agregado fino, la SSD (Densidad relativa saturada superficialmente seca) se define como la relación entre la masa de la muestra seca al horno (A) y la diferencia entre la masa del picnómetro lleno de agua hasta la marca de calibración (B) y la masa del picnómetro lleno de muestra y agua (S).

$$Ab (\%) = \frac{B-A}{A} \quad (9)$$

Donde, Absorción (AB), C Masa en el agua de la muestra saturada.

2.3.4.4. Peso unitario

Peso unitario suelto. Peso del agregado incluido sus vacíos por volumen. El procedimiento de prueba está definido en la NTP 400.017 (INACAL, 2020).

$$PUS = \frac{\text{Peso suelto del agregado}}{\text{Volumen unitario}} \quad (10)$$

Peso unitario compactado. Es el peso de un agregado clasificado de compactación en un volumen unitario. El procedimiento de prueba está definido en la NTP 400.017 (INACAL, 2020).

$$PUC = \frac{\text{Peso compactado del agregado}}{\text{Volumen unitario}} \quad (11)$$

Porcentaje de vacíos. Es el porcentaje de espacios vacíos en una masa de agregado (Torre, 2004).

$$\% \text{ vacios} = \frac{S \times W - P.U.C}{S \times W} \times 100 \quad (12)$$

Donde, S peso específico de masa, W densidad del agua, y PUC, peso unitario compactado seco del agregado.

2.3.4.5. Abrasión del agregado grueso

Es el daño por la acción de partículas sólidas presentes en la zona del rozamiento. Es una de las propiedades mecánicas en los cuales su importancia y su conocimiento es indispensable en el diseño de mezclas. (Maldonado, 2016)

Porcentaje de pérdida de peso =

$$\frac{\text{Peso inicial del agregado} - \text{Peso retenido en el tamiz}}{\text{Peso inicial del agregado}} \times 100 \quad (13)$$

Tabla 2

Resistencia al Desgaste del Agregado

Abrasión	Impacto
50%	30%

Nota: (Torre, 2004).

2.3.5. *Diseño de mezclas para concreto ligero*

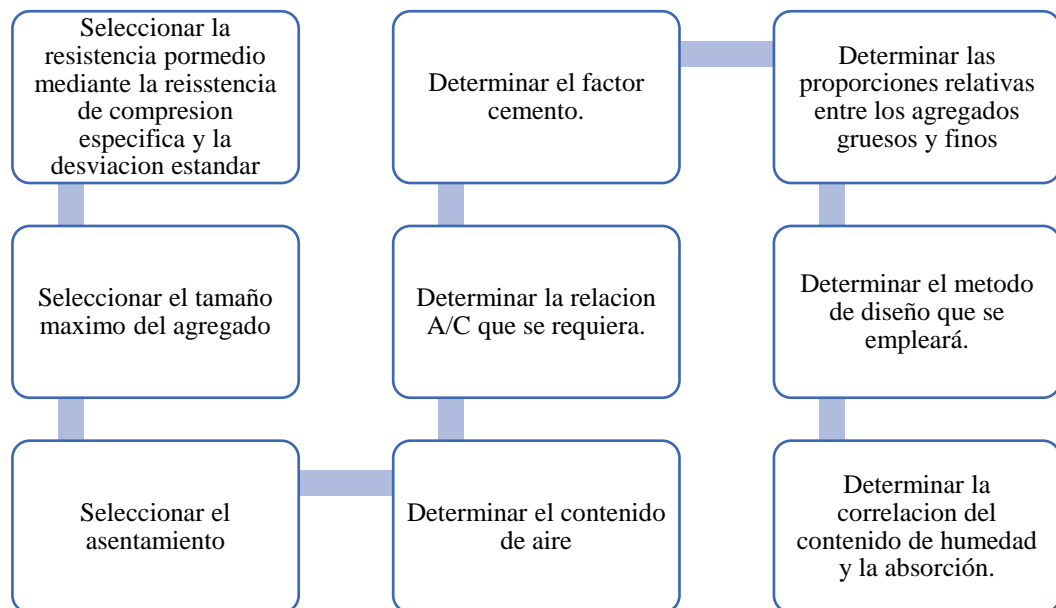
Es el proceso por el que se determina las características que requiere el concreto, además antes de determinar las proporciones para la mezcla se debe considerar el uso que se le va a dar al concreto y de acuerdo con esto realizar el diseño de mezcla (Kosmatka y otros, 2004)

Son aquellos diseños que se realizan a concreto tanto en estado fresco como en estado de fraguado; las pruebas en estado fresco deben cumplir con los parámetros de manejabilidad, durabilidad y resistencia. Mayormente el diseño de mezcla está en relación de 1 cantidad de cemento por el doble de arena y el triple de grava (Arboleda & Salazar, 2020).

Según (Ventura, 2015) el peso dependerá del tipo de agregado que se coloque en la mezcla, para determinar las proporciones que se colocará a la mezcla se debe realizar los siguientes pasos.

Figura 8

Pasos para Determinar la Proporción de Compuestos de Mezcla



Nota: (Ventura, 2015).

2.3.6. *Propiedades del concreto en estado fresco*

Se refieren a las características del concreto desde el momento en que los componentes son mezclados hasta el inicio del proceso de fraguado. Estas propiedades son fundamentales para garantizar una adecuada manipulación, colocación, compactación y acabado del concreto. Incluyen la trabajabilidad, la cohesión, la temperatura, el tiempo de fraguado y la exudación. La trabajabilidad, medida a menudo por el asentamiento, indica la facilidad para manejar y colocar el concreto, mientras que la cohesión afecta a la separación de los componentes y la capacidad del concreto para mantenerse unido (Pacheco, 2017).

Trabajabilidad. También conocida como manejabilidad, es una propiedad del concreto en estado fresco que permite determinar la habilidad para movilizarlo, ubicarlo o instalarlo, resistente a la vibración para su apropiada consolidación, de tal manera que el concreto termine sin segregación alguna (Pacheco, 2017).

Consistencia. Según (Ayuque, 2019) la consistencia es una propiedad que indica el grado de humedecimiento en la mezcla en estado fresco, por tal razón, es dependiente del contenido de agua que se utilice.

Determina la fluidez en estado fresco, esta propiedad se puede manifestar en condición seca o fluida. La consistencia también se considera como el grado de humedad de una mezcla en estado fresco (Pacheco, 2017).

Densidad. La densidad es una propiedad que está relacionada entre la masa del concreto fresco y el volumen total que este ocupa (Medina & Ramos, 2021).

Plasticidad. El concreto característico por su elasticidad, en esta condición puede ser fácilmente moldeado o acondicionado. Una característica propia de la plasticidad en el concreto es que puede cambiar de manera lenta, si este se saca del molde, por tal razón, no pueden ser consideradas como mezclas de

consistencia plástica aquellas que se encuentren muy secas o fluidas (Pacheco, 2017).

Contenido de aire. Según Adama et al. (2021) este es un factor que permite que la estructura se expanda y contraiga en áreas de cambios bruscos de temperatura para evitar grietas. Por otro lado, es importante tener en cuenta que, si el concreto contiene una gran cantidad de aire, su porosidad puede verse afectada, provocando daños en el concreto armado o fugas de agua a otros lugares.

El contenido de aire puede variar en función a los agregados, al proceso, etc. El mismo que puede ser liberado durante la compactación. Existe procesos en donde le aire puede ser incorporado de manera intencional con el propósito de mejorar su trabajabilidad, para este caso debe realizarse en condiciones adecuadas (Ruiz & Vasallo, 2018).

Temperatura. Las propiedades con las cuales es más influyente, es el asentamiento y contenido de aire. Por esta razón, es necesario ser cuidadoso en la verificación, es común utilizar un termómetro ambiental para tener un constante control y no dejar que esta propiedad afecte a las demás (Sánchez de Guzmán citado por (Pacheco, 2017).

2.3.7. *Propiedades físicas del concreto endurecido*

Características inherentes del material que influyen en su comportamiento. Estas incluyen la densidad, la porosidad, la permeabilidad y la absorción de agua. La densidad del concreto determina su peso y tiene implicaciones directas en la carga estructural de una construcción. La porosidad y la permeabilidad afectan la capacidad del concreto para resistir la penetración de agua y sustancias químicas.

Densidad. Esta propiedad representa la masa del concreto en estado endurecido y el volumen que ocupa el contenido de la masa (Medina & Ramos, 2021). El

peso unitario del concreto liviano es menor al del convencional. La densidad puede variar entre 2 200 y 2 400 Kg/m³ para concreto convencional y entre 1 600 y 2 000 Kg/m³ para concreto liviano.

Absorción. Se define como la cantidad de líquido que se vierte en la unidad. La condición de la superficie es seca, abundante debido la sequía (Asenjo, 2023).

$$\% a = (D - S)/S \times 100 \quad (14)$$

Donde, a absorción, D probeta húmeda, S probeta seca.

Permeabilidad. Propiedad que controla el flujo o la velocidad de un fluido a través de una unidad sólida porosa (Tolentino, 2018).

$$dq/dt = (K(\Delta HA))/(L\mu) \quad (15)$$

Peso. Según Ruiz & Vasallo (2018) el peso está estrechamente relacionado con el volumen.

2.3.8. *Propiedades mecánicas del concreto endurecido*

Describen su comportamiento ante cargas y esfuerzos. Estas propiedades incluyen la resistencia a compresión, a tracción, a flexión, la elasticidad, la ductilidad y al impacto y al desgaste. Donde, la resistencia a compresión es la capacidad del concreto para resistir cargas que tienden a reducir su tamaño y es la propiedad más comúnmente evaluada y utilizada para el diseño estructural (Palacios, 2021).

2.3.8.1. **Resistencia a compresión**

La resistencia a compresión del concreto es la capacidad del material para resistir cargas que tienden a reducir su tamaño. Es la medida más común de rendimiento del concreto, ya que este material es especialmente fuerte en compresión. Se utiliza para determinar la calidad del concreto y es un parámetro clave en el diseño de estructuras de concreto (Palacios, 2021).

Resulta de la relación que existe entre la carga máxima de un espécimen antes de que este se agriete, se determina calculando el esfuerzo del concreto por unidad de área en estado endurecido, para ello primero se debe someter a un proceso de curado para luego realizar pruebas de carga axial. El ensayo para calcular este tipo de resistencia es simple (Palacios, 2021).

La resistencia a compresión (f'_c) se calcula aplicando una carga compresiva a una muestra cilíndrica estándar (generalmente de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura) hasta que falle. La fórmula es:

$$f'_c = \frac{P_{max}}{A} \quad (16)$$

Donde, f'_c Resistencia a compresión, P_{max} carga máxima aplicada en el punto de falla, A área transversal de la muestra.

Tabla 3

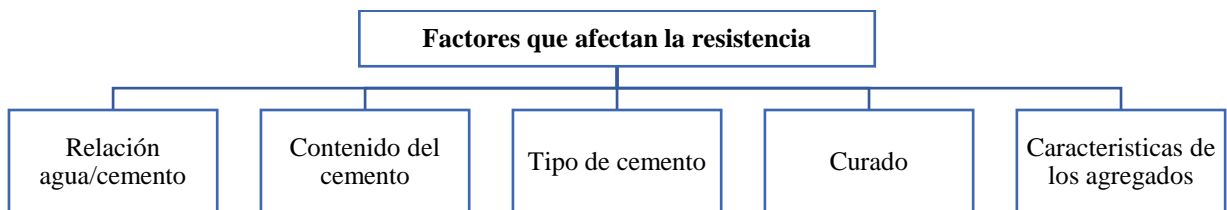
Tipo de Concreto según la Resistencia

Normal	De alta resistencia	De ultra alta resistencia
≤ 42	> 42 y ≤ 100	> 100 MPa

Nota: (Palacios, 2021).

Figura 9

Factores que Afectan la Resistencia



Nota: (Palacios, 2021).

2.3.8.2. Resistencia a flexión

También conocida como módulo de rotura, es la capacidad para resistir fuerzas que intentan doblarlo. Aunque el concreto es mucho menos resistente en tensión que en compresión, la resistencia a flexión es importante para el diseño de elementos estructurales sometidos a cargas de flexión, como vigas y losas (Palacios, 2021).

Se determina mediante un ensayo de flexión en una viga de concreto, utilizando la configuración de carga de tercer punto o de carga central en una muestra prismática. La fórmula general para (f_r) es:

$$f_r = \frac{Pl}{b \times d^2} \quad (17)$$

Donde, f_r resistencia a flexión, P carga máxima aplicada en el punto de falla, L longitud de soporte (distancia entre apoyos), b ancho de la viga, d altura de la viga.

2.3.9. *Propiedades termo acústicas del concreto ligero*

Las propiedades termoacústicas se relacionan con su capacidad para manejar el calor y el sonido. La conductividad térmica mide la capacidad del concreto para transmitir calor, afectando directamente la eficiencia energética de los edificios. La capacidad térmica específica es otro aspecto relevante, ya que indica cuánto calor puede almacenar el concreto, contribuyendo a la inercia térmica de la construcción. En cuanto a las propiedades acústicas, se refieren a la capacidad del concreto para absorber, reflejar o transmitir el sonido. Estas propiedades son importantes en la planificación de edificios para controlar el ruido y mejorar el confort acústico en el interior (Bustamante, 2021).

2.3.9.1. Propiedades térmicas

Ayuda a reducir el flujo de calor que ingresa al ambiente. El flujo de calor se da por conducción, radiación o por convección. Cabe señalar que el aislamiento térmico se expresa mediante el coeficiente de conductividad (Paulino, 2017), la cual se representa:

$$K = \frac{Pxe}{\Delta Tm \times A} \quad (18)$$

Donde, k: Coeficiente de conductividad térmica [W/m°K], P: Potencia [W], e: Espesor de la muestra [m], ΔTm : Incremento de la temperatura media del ensayo [°K], A: Área de superficie de ensayo [m²].

2.3.9.2. Propiedades acústicas

Es la capacidad que tienen el concreto para reducir el sonido a través de un cuerpo, esto se debe a la densidad del material, el concreto liviano no posee buenas propiedades acústicas sin embargo el recubrimiento de pastas de cemento mejora la propiedad acústica (Ventura, 2015).

2.3.10. Normas y regulaciones

ACI 213R-14 (2014). Esta norma indica que se denomina concreto liviano aquellos que tienen una densidad menor a 1 920 Kg/m³ en estado seco. Además, en esta norma se detallan propiedades físicas del agregado ligero estructural junto con el diseño. El concreto ligero tiene muchas aplicaciones, incluidos marcos y pisos de edificios de varios pisos, muros cortina, cubiertas de láminas, chapas plegadas, puentes, pretensados o elementos prefabricados de todo tipo, estructuras marinas, y otros. En muchos casos, la expresión arquitectónica de la forma combinada con el diseño funcional se puede lograr más fácilmente con estructural concreto ligero que con cualquier otro medio (ACI 213R-14, 2014).

Norma Peruana E.060 “Concreto Armado”. Es una regulación técnica para concreto armado en Perú. Esta norma especifica los requisitos y procedimientos para la evaluación de los parámetros de diseño, materiales, métodos de construcción y sistemas estructurales.

Norma Peruana E.070 “Albañilería”. Es una regulación técnica para el diseño y construcción de estructuras de albañilería en Perú. Esta norma define los requisitos y criterios técnicos para la evaluación de materiales de construcción, métodos de diseño y construcción, y sistemas estructurales de albañilería.

Norma Peruana CE.010 “Pavimentos Urbanos”. La Norma Peruana CE.010, también establecida por el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), es una regulación técnica para el diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos urbanos en Perú. Esta norma especifica los requisitos y criterios técnicos para la selección de materiales, diseño geométrico, construcción, drenaje, mantenimiento y rehabilitación de pavimentos urbanos para garantizar su durabilidad, seguridad y funcionalidad en entornos urbanos peruanos.

2.4. Hipótesis

H1: El caucho granular influye en las propiedades físicas, mecánicas y termoacústicas del concreto ligero en Chota.

H0: El caucho granular no influye en las propiedades físicas, mecánicas y termoacústicas del concreto ligero en Chota.

2.5. Operacionalización de variables

2.5.1. Variable independiente: Caucho granular

El caucho granular se refiere a partículas de caucho reciclado provenientes de NFU u otros productos de caucho desechados. Conceptualmente, representa un material alternativo y sostenible que se incorpora en la producción de concreto para mejorar sus propiedades al reutilizar desechos de caucho.

Operacionalmente, se cuantifica por el caucho granular usado en el concreto, medida en porcentaje del volumen total del agregado grueso. Esto implica la determinación precisa de la proporción de caucho granular en el concreto, mediante volumetría, para cada muestra o lote de concreto producido.

2.5.2. Variable dependiente: *Propiedades físicas, mecánicas y termoacústicas del concreto liviano, y sus posibles usos en edificaciones*

Las propiedades físicas, mecánicas y termoacústicas del concreto se refieren a sus características físicas, mecánica y de aislamiento térmico acústico. Conceptualmente, estas propiedades determinan la calidad del concreto liviano usos estructurales y no estructurales.

Tabla 4

Matriz de Operacionalización

Variab les	Definición conceptual	Dimensiones	Definición operacional	Indicadores	Ítem
VI Caucho granular	Material granular obtenido del reciclaje y trituración de neumáticos fuera de uso, para ser utilizado como agregado ligero.	Propiedades físicas	Son las características propias del material reciclado, caucho granular, para su uso como agregado liviano.	Granulometría	%
				humedad	%
				Abrasión	%
				Peso unitario	Kg/m3
				Peso específico	g/cm3
				Absorción	%
VD Propiedades físico, mecánicas termoacústicas del concreto liviano, y sus posibles usos en edificaciones	Son las características del concreto ligero que determinarán si presenta la densidad y resistencia a compresión de un concreto ligero, además de definir sus aplicaciones específicas de acuerdo a las normas y regulaciones nacionales e internacionales.	Propiedades en estado fresco	Características del concreto fresco,	Asentamiento (slump)	cm
				Temperatura	%
				Contenido de aire	
				Densidad (peso unitario in situ)	Kg/m3
		Propiedades físicas	Características en estado endurecido pero que solo caracterizan su peso y volumen.	Absorción de agua	%
				Peso	Kg
		Propiedades mecánicas	Características resistentes del concreto ligero endurecido.	compresión	Kg/cm2
				flexión	Kg/cm2
		Propiedades termoacústicas	Características que definen el paso del sonido, y calor en el concreto ligero.	Percepción de la temperatura en un modelo a escala	°C
				Aislamiento del ruido en un modelo a escala	Decibeles (Db)
		Posibles usos en la construcción	Son los usos del concreto ligero	Edificaciones	
				Carreteras	
Cumplimiento de las normas nacionales e internacionales	Son el análisis de las regulaciones para el uso	Pavimentos			
		(ACI 213R, 2014)			
		E.060			
		E.070			
			CE.010		

CAPÍTULO III.

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y nivel de investigación

Esta investigación es de enfoque cuantitativo porque se basa en la recolección y el análisis de datos numéricos para evaluar la influencia del caucho granular en las propiedades físicas, mecánicas y termoacústicas del concreto liviano. Se buscó medir de manera objetiva y cuantificable cómo la adición de caucho granular afecta las diferentes características del concreto.

Además, se considera una investigación aplicada porque tiene como objetivo principal estudiar la viabilidad y los posibles usos prácticos de esta tecnología (concreto con caucho granular) en el contexto específico de Chota.

Finalmente, se clasifica como una investigación descriptiva debido a que su principal objetivo es describir las propiedades físicas, mecánicas y termoacústicas del concreto liviano tanto con y sin la adición de caucho granular. Se busca obtener una imagen detallada y precisa de cómo estas propiedades se ven afectadas por la inclusión de este material en el concreto, sin necesariamente buscar explicar las causas subyacentes de estos cambios.

Tabla 5

Tipos de Investigación

Criterio	Tipo
Finalidad	Aplicada
Temporalidad	Transversal (sincrónica)
Objetivos	Descriptiva – Explicativa
Control de diseño de la prueba	Experimental
Contexto donde sucede	Laboratorio
Estrategia o enfoque metodológico	Cuantitativa
Fuente de datos	Primaria

3.2. Diseño de investigación

El diseño fue experimental de diseño clásico con pretest y post test, se generó una variación en las propiedades físicas, mecánicas y termoacústicas del concreto (Variable dependiente Y) por medio de un material de tratamiento, que en el caso del estudio fue el caucho granular (Variable independiente X).

$$M \leftarrow X \begin{matrix} Y1 \\ Y2 \\ Y3 \end{matrix} \quad (19)$$

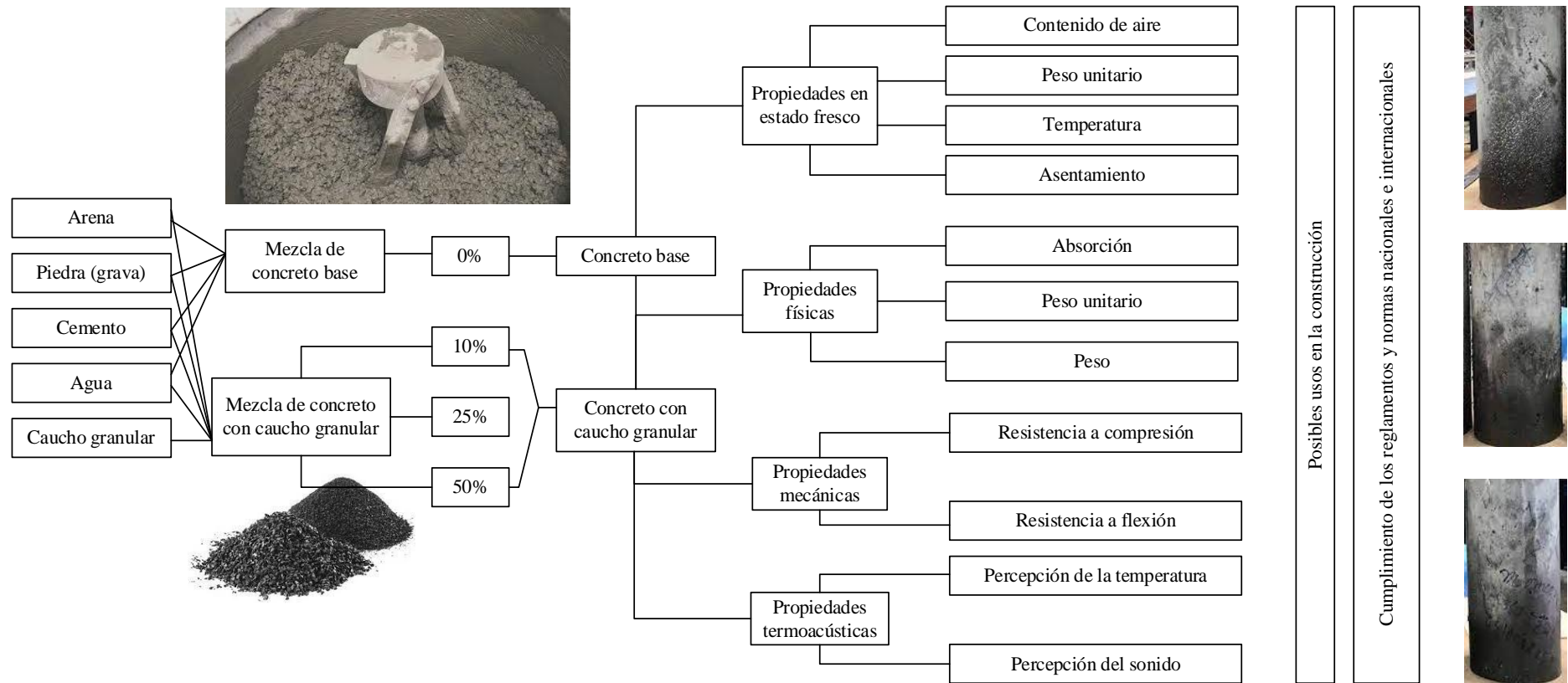
En la ecuación 19, se muestra el diseño, donde, M muestra, X variable independiente caucho granular, Y es la variable dependiente, que para el caso del estudio tiene tres dimensiones, Y1 propiedades físicas, Y2 mecánicas e Y3 propiedades termoacústicas del concreto ligero.

3.3. Métodos de investigación

Se usaron métodos cuantitativos para determinar las propiedades físicas, mecánicas y termoacústicas del concreto ligero con caucho granular; siendo así, se aplicó el método analítico sintético, que consistió en caracterizar el concreto en sus diferentes propiedades físicas, mecánicas, propiedades térmicas y propiedades acústicas, del concreto ligero con caucho granular, para verificar su variación según la dosificación de cemento: caucho granular, pero luego se analizaron todas las características en conjunto para llegar a definir la aceptación o rechazo de la hipótesis general en estudio.

Figura 10

Diseño de Investigación



3.4. Población, muestra y muestreo

3.4.1. Población

Todos los testigos de concreto ligero sustituyendo parcialmente el agregado grueso por caucho granular al 0%, 10%, 25% y 50% en volumen, obtenido por proceso de reciclaje y trituración de neumáticos fuera de uso, en el distrito de Chota.

3.4.2. Muestreo

El muestreo fue probabilístico definido en relación a las normas técnicas peruanas para cada ensayo en el concreto fresco y endurecido, mediante el DOE factorial (diseño de bloques completamente al azar) en el programa Minitab 22 para un nivel de confianza del 95%, con un nivel de significancia del 5%.

Para el concreto endurecido, los factores fueron (1) la dosificación de caucho granular con cuatro niveles (0%, 10%, 25% y 50% del volumen como sustituto del agregado grueso) y (2) tipo de ensayo con dos niveles (ensayos mecánicos: compresión y flexión, y ensayos físicos: absorción y peso), dando un total de corridas base de ocho, que, multiplicado por las seis repeticiones, dio en total 48 probetas de concreto endurecido.

Para el concreto fresco, los factores fueron (1) la dosificación de caucho granular con cuatro niveles (0%, 10%, 25% y 50% del volumen como sustituto del agregado grueso) y (2) tipo de ensayo con cuatro niveles (asentamiento, densidad, porcentaje de aire y temperatura), dando un total de corridas base de dieciséis (16), que, multiplicado por las seis repeticiones, dio en total 96 mezclas de concreto fresco.

El número de repeticiones por ensayo de acuerdo a la norma E.060 (MVCS, 2009) es tres (3), por ello se ha optado por seis (6) repeticiones.

3.4.3. Muestra

36 probetas cilíndricas para compresión y absorción, 12 probetas prismáticas para flexión a los 28 días de curado y 96 mezclas de concreto remplazando la grava por caucho granular al 0%, 10%, 25% y 50% del volumen, en Chota.

Así mismo, se elaborarán 4 modelos a escala de 0.50 m de lado (similar a un cajón con dos compartimentos), para la prueba de percepción del sonido y percepción de la temperatura a fin de verificar las características termoacústicas del concreto ligero con caucho granular al 0%, 10%, 25% y 50% del volumen como sustituto del agregado grueso.

Tabla 6

N° de Pruebas al Concreto Fresco

Ensayo en estado fresco	Dosificación caucho granular como sustituto de la grava				Total
	0%	10%	25%	50%	
Asentamiento	6	6	6	6	24
Densidad (peso unitario in situ)	6	6	6	6	24
Porcentaje de aire	6	6	6	6	24
Temperatura	6	6	6	6	24
Total	24	24	24	24	96

Tabla 7

Probetas para Pruebas al Concreto Endurecido a los 28 días

Tiempo de curado (días)	Dosificación cemento: caucho granular				Total
	0%	10%	25%	50%	
Compresión	3	3	3	3	12
Flexión	3	3	3	3	12
Absorción y peso	6	6	6	6	24
Total	12	12	12	12	48

Figura 11

Estructura (Modelos) a Escala para Ensayos Termoacústicos

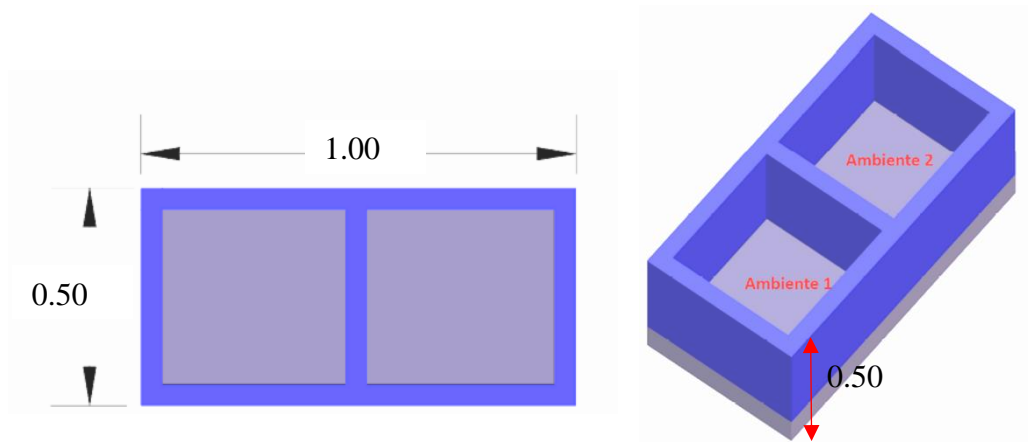


Tabla 8

Medidas de los Modelos a Escala para Pruebas Termoacústicas

Estructuras	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Espesor de muro (m)
E1 (Concreto 0% de caucho)	1.00	0.50	0.50	0.15
E2 (Concreto 10% de caucho)	1.00	0.50	0.50	0.15
E3 (Concreto 25% de caucho)	1.00	0.50	0.50	0.15
E4 (Concreto 50% de caucho)	1.00	0.50	0.50	0.15

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1. Técnicas

Observación. Se ha realizado el proceso de recolección, disposición y trituración de neumáticos fuera de uso, para obtener el caucho granular. Consistió en la observación directa de cada uno de los procedimientos para la obtención, análisis y uso de las materias primas en la producción del concreto con caucho granular a fin de analizar su comportamiento en condiciones controladas de laboratorio, en términos de propiedades físicas, mecánicas y termoacústicas.

Revisión documental. Se utilizó para recopilar información previa sobre el uso de caucho granular en concreto liviano, así como para obtener datos sobre las propiedades de los materiales utilizados en la investigación.

Ensayos físicos a las materias primas. Consistió en la evaluación de las propiedades físicas de los materiales usados para concreto liviano con caucho granular, tales como la densidad, humedad, peso unitario, absorción de agua y tamaño de partícula.

Ensayos físicos, mecánicos y termoacústicos en el concreto. Se realizaron para comprobar las propiedades del concreto liviano con caucho granular en estado fresco y en estado endurecido en términos de resistencia mecánica a compresión y flexión, absorción, peso, percepción de la temperatura y capacidad para absorber el sonido.

Comparación. La comparación de los resultados obtenidos en los ensayos físicos, mecánicos y termoacústicos permitió estudiar la influencia del caucho granular en las propiedades del concreto liviano y determinar sus posibles usos en la construcción en el distrito de Chota.

3.5.2. Instrumentos

Cuaderno de campo. El cuaderno de campo se utiliza para registrar de forma detallada todas las observaciones, procedimientos y otros procesos realizados durante la investigación. En este caso, se ha registrado información acerca de la adquisición de los agregados, el ensayo a las materias primas, sobre la preparación del concreto, el procedimiento de los ensayos de laboratorio, entre otros datos relevantes para el estudio.

Registro documental. Consiste en recopilar y analizar documentos relevantes para la investigación, como estudios previos, normativas técnicas, datos de

proveedores de materiales, entre otros. En este caso, se han recopilado documentos relacionados con las propiedades del caucho granular, las normativas sobre el uso de materiales en construcción, entre otros.

Formatos de laboratorio de los ensayos a las materias primas. Los documentos del laboratorio son aquellos en los que se presentan los resultados de las características físicas de los agregados, como la humedad, la distribución granulométrica, el peso unitario, la densidad y la absorción.

Formatos de laboratorio de los ensayos en el concreto. Se utilizaron para registrar los resultados de los ensayos realizados al concreto con la inclusión de caucho granular, como pruebas de resistencia a compresión, absorción de agua, densidad, entre otros. En estos formatos se registraron los datos obtenidos en los ensayos de caracterización del concreto, que permiten evaluar las propiedades físicas, mecánicas y termoacústicas del material.

Matriz de comparación. Se utilizó para comparar los resultados obtenidos en los distintos ensayos realizados a las materias primas y al concreto, con el fin de estudiar la influencia del caucho granular en el concreto liviano.

3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

3.6.1. Procedimientos aplicados en el estudio

3.6.1.1. Obtención y análisis físico mecánico del caucho granular

El caucho granular utilizado en este estudio fue adquirido de manera comercial en la ciudad de Chiclayo a través de una empresa limeña con sede local, especializada en reciclaje de materiales “TecnoGrass Perú”. Este material se caracteriza por tener un diámetro nominal de ½”, no obstante, se desconocía otras características como peso unitario suelto, compactado, peso específico, humedad o absorción.

3.6.1.1.1. Proceso de obtención del caucho granular

El procedimiento que sigue la empresa “TecnoGrass Perú” para la recolección de neumáticos fuera de uso, su trituración y el tamizado para obtener caucho granular de un diámetro nominal de ½” incluye:

Recolección de neumáticos fuera de uso

- Identificación y convenios: La empresa identifica puntos estratégicos de recolección como talleres, centros de acopio y otros generadores de neumáticos fuera de uso (NFU). Establece convenios con estas entidades para asegurar un suministro constante de neumáticos.
- Logística de recolección: Se organiza la recolección, empleando camiones y personal para recoger los neumáticos en los puntos designados. La recolección se realiza de manera periódica para optimizar el almacenamiento y transporte.

Transporte y almacenamiento

- Transporte: Los neumáticos recolectados son transportados a las instalaciones de “TecnoGrass Perú”.
- Almacenamiento temporal: Al llegar a la planta, los neumáticos son almacenados temporalmente en áreas designadas, donde se clasifican según su tamaño y tipo para facilitar su procesamiento posterior.

Trituración de neumáticos

- Pre-trituración: Los neumáticos completos pasan por una máquina de pre-trituración que los corta en piezas más manejables, normalmente en trozos grandes de aproximadamente 2 a 6 pulgadas.
- Trituración secundaria: Los trozos pre-triturados se introducen en un molino triturador, que los reduce a partículas más pequeñas. Durante este proceso, se

separan los componentes metálicos y textiles mediante sistemas de imanes y corrientes de aire.

- Trituración final: Las partículas pasan por una trituradora fina que las reduce aún más hasta obtener un tamaño cercano al requerido. Este proceso se ajusta para producir partículas de caucho con un diámetro nominal de ½”.

Tamizado y clasificación

- Tamizado: Las partículas de caucho triturado se someten a un proceso de tamizado, utilizando cribas con diferentes tamaños de malla para asegurar que solo las partículas del tamaño deseado (½”) sean seleccionadas.
- Clasificación y limpieza: Las partículas tamizadas se clasifican y limpian para eliminar cualquier residuo no deseado. Este proceso puede involucrar varios pasos de tamizado y limpieza para garantizar la pureza y uniformidad del caucho granular.

Empaque y almacenamiento del producto final

- Empaque: El caucho granular obtenido se empaqueta en sacos o contenedores adecuados para su almacenamiento y transporte. Los empaques son etiquetados con información sobre el tamaño del grano, el peso y la fecha de producción.
- Almacenamiento: El producto final se almacena en áreas específicas dentro de la planta, preparándose para su distribución a los clientes o para su uso en procesos internos de fabricación de productos.

Distribución

- Logística de entrega: La empresa organiza la logística para la entrega del caucho granular a sus clientes, asegurando que el producto llegue en óptimas condiciones y cumpla con las especificaciones requeridas.

3.6.1.1.2. Propiedades del caucho granular

Para poder evaluar adecuadamente las propiedades físicas y mecánicas de este caucho granular, se realizaron una serie de ensayos en el laboratorio de mecánica de materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Autónoma de Chota. Estos ensayos permitieron determinar aspectos importantes como la densidad aparente, la absorción de agua, la resistencia a la abrasión, el peso unitario suelto y compactado.

a) NTP 339.185 Contenido de humedad (INACAL, 2021)

- Se pesó la muestra de caucho granular
- Se llevó al horno la muestra de caucho granular
- Se peso la muestra seca de caucho granular

b) NTP 400.012 Análisis granulométrico (INACAL, 2021)

- 1000 g de caucho granular
- Se secó el caucho granular a 110 ± 5 °C.
- Se seleccionaron una serie de tamices
- Se paso el caucho granular por los tamices (tamizado)
- Se peso el caucho granular retenido en cada tamiz

c) NTP 400.021 Peso específico y absorción (INACAL, 2020)

- El caucho granular se seca
- La muestra de caucho granular se sumerge en agua
- Se retira la muestra de caucho granular del agua y se hace rodar sobre un paño grande que absorba
- Se pesa el caucho granular en condiciones de saturación con superficie seca
- Se coloca el caucho granular en una cesta de alambre y se pesa en agua
- Se seca el caucho granular hasta alcanzar un peso constante

d) NTP 400.017 Peso unitario y vacíos (INACAL, 2020)

- Para la determinación del peso unitario suelto (PUS), se procedió llenando el recipiente de medición con el agregado (caucho granular) utilizando una pala. Luego, se eliminó cualquier exceso de material y se registró el peso resultante de la muestra.
- Para calcular el peso unitario compactado (PUC), se llenó inicialmente un tercio del recipiente con el caucho granular. Posteriormente, se compactó esta capa con 25 golpes de una varilla, distribuidos de manera uniforme. Este proceso se repitió sucesivamente hasta llenar completamente el recipiente. Una vez finalizado, se pesó la muestra de caucho granular compactado.

e) NTP 400.019 Resistencia a abrasión (INACAL, 2020)

- Se eligió una muestra representativa de agregado grueso basada en su tamaño máximo nominal ($\frac{1}{2}$ "") por el método B.
- La muestra es pesada y posteriormente colocada en la máquina de abrasión.
- Una vez finalizado el proceso, se retira el material, se lava y se vuelve a pesar.

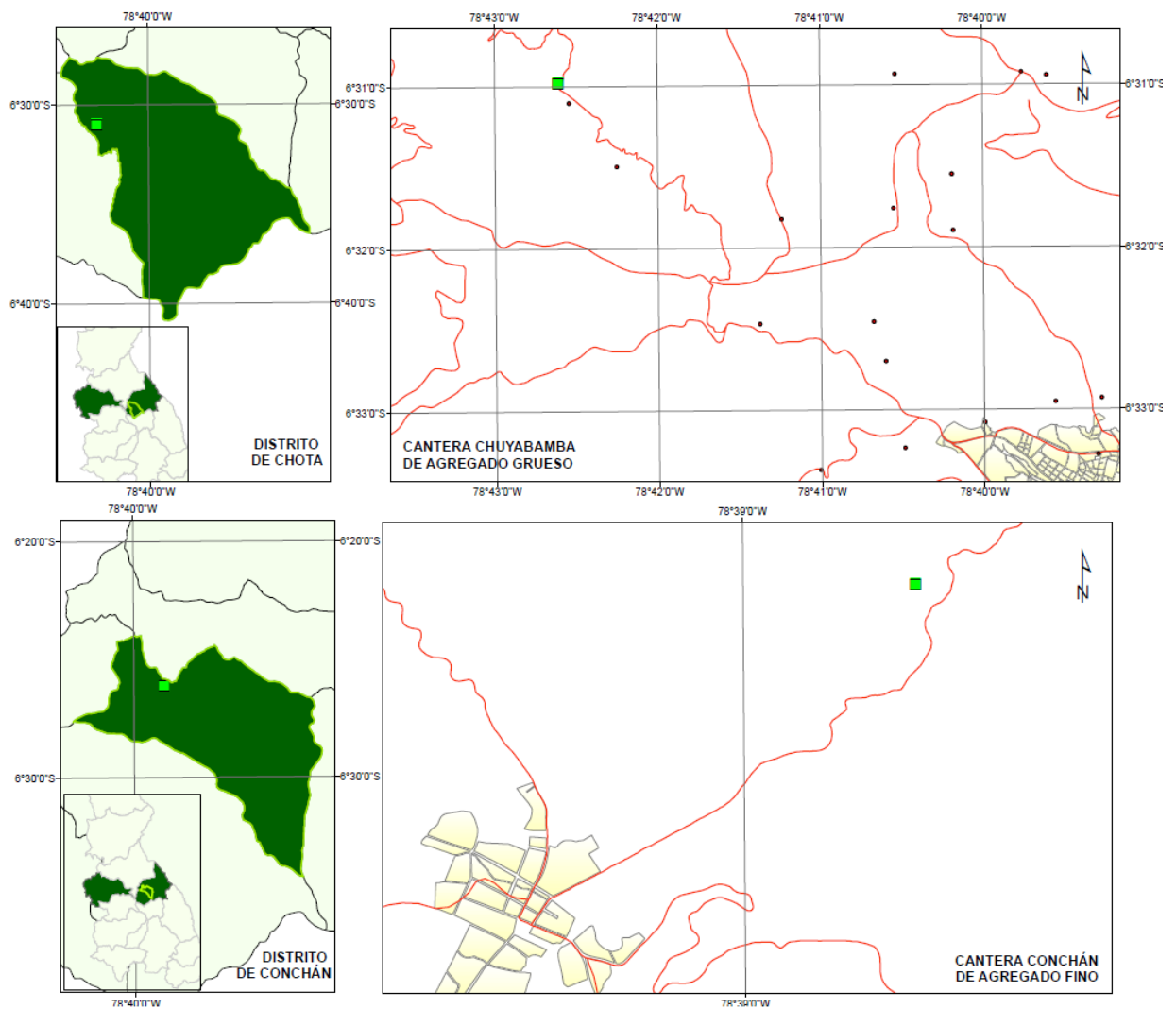
3.6.1.2. Recolección de agregados para la producción del concreto

a) Ubicación de las canteras

La cantera de agregado grueso Chuyabamba se sitúa en las coordenadas UTM WGS84 17S 753233.00 m E, 9279145.00 m S, a 2 km de la ciudad de Chota, con acceso por la carretera afirmada que conecta al centro poblado Chuyabamba. Mientras que, la cantera de agregado fino Conchán se sitúa en las coordenadas UTM WGS84 17S 760444.00 m E, 9288079.00 m S, a 500 m de la ciudad de Conchán, con acceso por vía afirmada, carretera Chota – Tacabamba.

Figura 12

Ubicación de las Cantera de Agregados, Chota



b) Equipos, materiales e instrumentos

- Bolsas de plástico o recipientes para recolectar las muestras
- Guantes de protección para las manos
- Vehículo para transportarse a las canteras
- Carretillas o bandejas para llevar las muestras de agregado grueso
- Tamices de diferentes tamaños para clasificar el agregado fino
- Cinta métrica o regla para medir el tamaño de las rocas del agregado grueso
- Balanza para pesar las muestras de agregado fino.

c) Procedimiento para recolectar los agregados

- Extraer la grava de Chuyabamba utilizando palas mecánicas o retroexcavadoras, garantizando el manejo adecuado y cumpliendo con normas de seguridad.
- Recolectar el agregado fino de la cantera Conchán utilizando maquinarias específicas, siguiendo un proceso similar al de la grava.
- Cargar el agregado grueso en camiones volquetes y transportarlo desde las canteras hasta el campus Colpamatara de la UNACH, asegurando que los camiones estén debidamente cubiertos para evitar la dispersión del material.
- Una vez transportados los agregados, proceder con su procesamiento y almacenamiento, que puede involucrar la trituración, clasificación y el almacenamiento en áreas designadas. En este caso, se realizan los ensayos pertinentes en el campus Colpamatara de la UNACH.

3.6.1.3. Análisis de los agregados y diseño de mezclas

a) Ensayos físico mecánicos de los agregados

Una vez recolectadas las muestras de agregado se ha realizado los respectivos ensayos físico mecánicos en el laboratorio de mecánica de materiales de la EPIC-UNACH, con el objetivo de comprobar si los resultados cumplen con la NTP 400.037 (INACAL, 2021).

NTP 339.185 Contenido de humedad (INACAL, 2021)

- Medir la masa de la muestra húmeda (al menos 1.5 kg para la arena y 6 kg para la grava) antes de introducirla en la estufa.
- Introducir el depósito con la muestra húmeda en la estufa a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 1 día.

- Transcurridas 24 horas, se pesa la muestra seca.

NTP 400.012 granulométrico del agregado fino (INACAL, 2021)

- Secar las muestras a una temperatura constante de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Tomar muestras de al menos 300 g.
- Separe la muestra en tamices para el análisis granulométrico.
- Verter la muestra en el tamiz superior y agitarlo bien durante unos minutos.
- Pesar y registrar la cantidad de material que queda en cada tamiz.

NTP 400.012 granulométrico del agregado grueso (INACAL, 2021)

- Secar las muestras a temperatura constante de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Tomar 10 kg de muestra.
- Colocar la muestra en el tamiz superior y agitarlo bien durante unos minutos.
- Pesar y registrar la cantidad de muestra que queda en cada tamiz.

NTP 400.017 Peso unitario suelto y compactado (INACAL, 2020)

- Seleccionar un recipiente y una varilla de acero lisa.
- Llenar $1/3$ del recipiente con material de relleno, luego $2/3$ del recipiente y finalmente $3/3$ del recipiente, apisonando 25 veces con la varilla de acero. Nivele el recipiente.
- Finalmente medir la masa y el volumen del recipiente.

NTP 400.022 Gravedad específica y absorción de la arena (INACAL, 2021)

- Se colocaron 1000 g de agregado fino cortado en cuartos en un recipiente y se secó a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Luego se secó la muestra en estufa por 3 horas.
- Se añadió agua a la muestra y se dejó reposar durante 24 horas. A continuación, se extiende el árido y se agita para garantizar secado uniforme.

- El agregado se coloca en un molde cónico y se golpea 25 veces con una varilla metálica hasta una altura de 5 cm. A continuación, se levanta el molde verticalmente y se repite el proceso hasta eliminar toda la humedad libre.
- Colocar una muestra de 500 g en el molde.
- Llenar un tubo de ensayo con agua hasta 500 cm³ a 20°C. Agitar suavemente el tubo de ensayo hasta que se llene de aire.
- Agitar suavemente el tubo de ensayo hasta que desaparezcan las burbujas. Sacar la masa del matraz, secar a 110°C ± 5°C, enfriar y pesar.
- Pesar la masa comprimida

NTP 400.021 Peso específico y absorción de la grava (INACAL, 2020)

- La muestra se seca, y se sumerge en agua.
- Se retira la muestra del agua y se hace rodar sobre un paño grande que absorba
- Se pesa la muestra en condiciones de SSS
- Se coloca la muestra en una cesta de alambre y se pesa en agua
- Se seca la muestra hasta alcanzar un peso constante.

NTP 400.020 Resistencia a abrasión (INACAL, 2020)

- Se elige una muestra característica de grava basada en su tamaño máximo nominal.
- La muestra es pesada y posteriormente colocada en la máquina de abrasión.
- Una vez finalizado el proceso, se retira el material restante de la máquina, se lava y se vuelve a pesar.

Figura 13

Ensayo de Peso Unitario en el Agregado Fino en la UNACH



b) Agregado fino

La humedad del agregado fino es del 2.15%, lo cual indica que tiene una pequeña cantidad de agua en su composición. El porcentaje de absorción del agregado fino es del 4.60%, lo que significa que puede absorber cierta cantidad de agua cuando se encuentra en contacto con ella. El peso unitario suelto del agregado fino es de 1449.96 kg/m³, esto indica la densidad del material en estado suelto. El peso unitario compactado del agregado fino es de 1600.15 kg/m³, lo cual indica la densidad del material cuando ha sido compactado. El módulo de finura del agregado fino es de 2.64%, esto indica el tamaño promedio de las partículas en el material. El peso específico de masa del agregado fino es de 2.44 gr/cm³, lo que indica la masa por unidad de volumen del material. La densidad saturada del agregado fino es de 2.55 gr/cm³, esto indica la densidad máxima que puede alcanzar el material cuando está saturado de agua. La densidad aparente del

agregado fino es de 2.74 gr/cm³, lo cual indica la densidad total del material en su estado natural, incluyendo los espacios vacíos.

Tabla 9

Propiedades del Agregado Fino

Propiedades Físico mecánicas	
Contenido humedad (%)	2.15
Peso unitario suelto (Kg/m ³)	1449.96
Peso unitario compactado (Kg/m ³)	1600.15
Módulo de finura (%)	2.64
Peso específico de masa (Pem) (gr/cm ³)	2.44
Densidad saturada superficialmente seca (PeSSS) (gr/cm ³)	2.55
Densidad aparente (Pea) (gr/cm ³)	2.74
Absorción (ab) (%)	4.6

Al utilizar tamices de diferentes tamaños para clasificar las partículas de las muestras, se observa que todas las partículas de la muestra pasan a través del tamiz de 3/8 de pulgada, lo que significa que ninguna partícula es retenida por este tamiz. Por otro lado, el tamiz de #200 retiene todas las partículas de la muestra, lo que significa que ninguna partícula logra pasar a través de este tamiz. Para los tamices intermedios, se observa que solo una parte de la muestra logra pasar a través de ellos. En particular, los tamices de #100, #50 y #30 retienen una mayor cantidad de agregado fino después del tamiz #200, lo que indica que estas partículas son más pequeñas y no logran pasar a través de estos tamices. Pero, lo importante a resaltar es que en todos los casos la arena cumple con el huso dado en la NTP 400.037 (INACAL, 2021) para agregado fino, así mismo, el módulo de finura se encuentra dentro del rango de 2.30 a 3.10 especificado en dicha normativa.

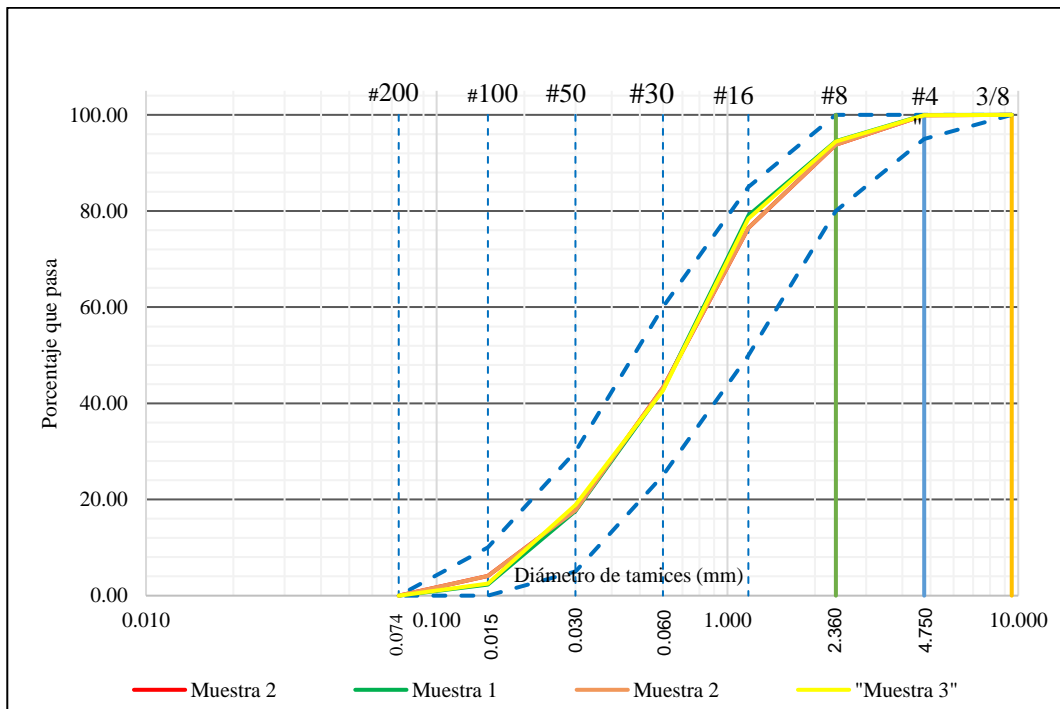
Tabla 10

Porcentaje que Pasa del Agregado Fino

Arena	Tamiz N°	Abertura (mm)	Porcentaje que pasa de la muestra		
			1	2	3
Gruesa	3/8"	9.5	100.00	100.00	100.00
	# 4	4.75	99.97	99.92	99.94
	# 8	2.36	94.53	93.80	94.43
Media	# 16	1.18	79.04	76.49	78.39
	# 30	0.6	42.83	43.25	42.68
	# 50	0.3	17.63	17.76	18.91
Fina	# 100	0.15	2.31	4.08	2.52
	#200	0.074	0.00	0.00	0.00
	Módulo de Finura (MF)		2.64	2.65	2.63

Figura 14

Distribución Granulométrica del Agregado Fino



c) Agregado grueso

La humedad de la grava es de 2.15%. El porcentaje de absorción es de 4.60%. El peso unitario suelto y compactado es 1449.96 y 1600.15 kg/m³ respectivamente, lo que significa que el agregado tiene un peso mayor cuando está

compactado en comparación con cuando está suelto. El TMN del agregado grueso es 1", por tanto, al menos el 5% del material se retiene en este tamiz. El peso específico de masa es de 2.44 gr/cm³, la densidad saturada sss fue de 2.55 gr/cm³, y la densidad aparente 2.74 gr/cm³, estos resultados representan la masa por unidad de volumen en tres condiciones diferentes: en estado normal (peso específico de masa), saturado en estado superficie seca (densidad saturada) y en estado suelto (densidad aparente).

Tabla 11

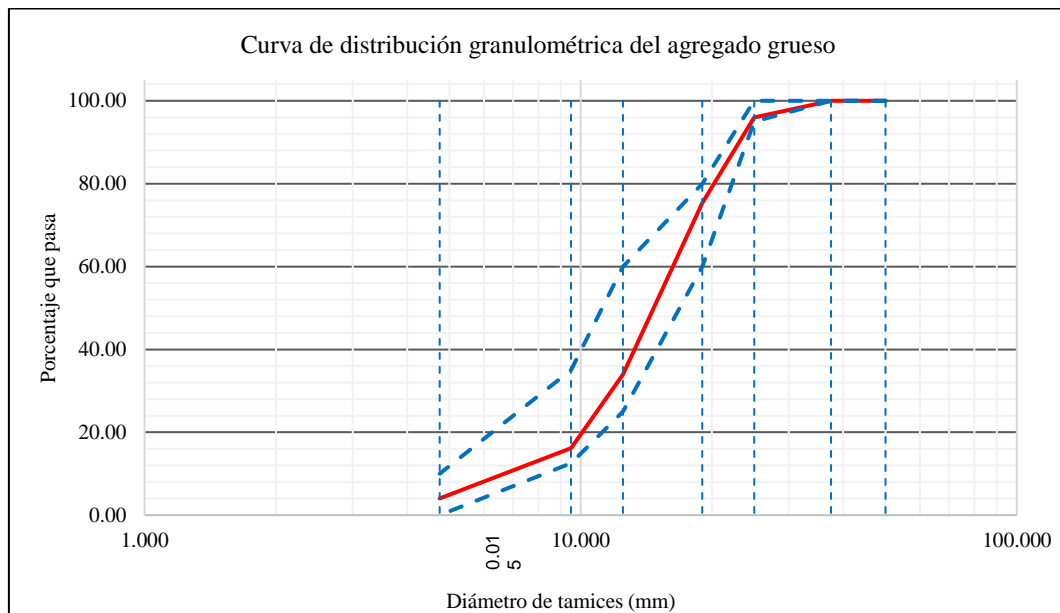
Propiedades del Agregado Grueso

Propiedades de la grava	
Contenido humedad %	0.56
Peso unitario suelto (Kg/m ³)	1435.65
Peso unitario compactado (Kg/m ³)	1523.1
TMN	1"
Peso específico de masa (Pem) (gr/cm ³)	2.65
Densidad saturada superficialmente seca (PeSSS) (gr/cm ³)	2.67
Densidad aparente (Pea) (gr/cm ³)	2.71
Absorción (ab) %	0.83
Abrasión (%)	22.44

Al realizar un análisis granulométrico de las muestras de agregado grueso, se observó que el 100% del material pasaba a través de los tamices de 2" y 1 ½", lo que indica que no había partículas de tamaño superior a estos valores en las muestras. Por otro lado, se encontró que en los tamices de #4 y 3/8" solo pasaba una porción de la muestra, lo que indica que estas muestras contenían partículas de tamaño mayor a los valores especificados por esos tamices. Esto sugiere que el material retenido en estos tamices es más grueso. No obstante, lo realmente importante es que, el agregado grueso cumple con el huso granulométrico #57 de la NTP 400.037 (INACAL, 2021).

Tabla 12*Porcentaje Acumulado del Agregado Grueso*

Tamiz N°	Abertura (mm)	Porcentaje acumulado de agregado grueso que pasa		
		1	2	3
2"	9.5	100.00	100.00	100.00
1 1/2"	4.75	100.00	100.00	100.00
1"	2.36	95.00	95.00	95.96
3/4"	1.18	73.20	73.20	75.35
1/2"	0.6	32.20	33.20	33.94
3/8"	0.3	16.00	14.80	16.16
#4	0.15	0.20	2.00	4.04
Cazuela		0.00	0.00	0.00
TMN		1"	1"	1"

Figura 15*Curva de Gradación del Agregado Grueso***d) Caucho granular**

El caucho granular presenta humedad de 0.01%, concordando con Calderón & Vásquez (2021) quienes argumentan que, el caucho carece de porcentaje de humedad, pero presenta una alta capacidad de absorción con 6.04%. Tiene 495 kg/m³ de peso unitario suelto y 555 kg/m³ de peso unitario

compactado, lo que, hace evidente que pueden ser utilizados como agregado liviano, así mismo, su peso específico es de 1.24 g/cm³ concordando con Calderón & Vásquez (2021). El caucho granular fue adquirido de forma comercial, por lo que, se solicitó tuvieran el mayor diámetro de partícula, obteniendo así caucho granular de ½". Además, cumple parcialmente con el huso granulométrico #6 de la NTP 400.037 (INACAL, 2021), para agregado grueso.

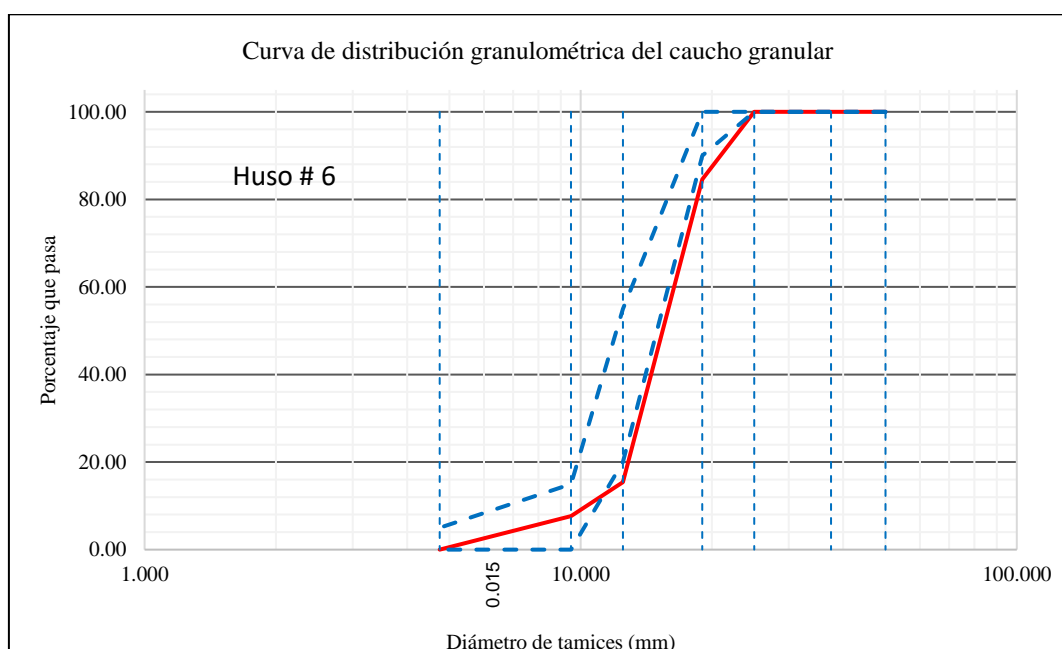
Tabla 13

Propiedades Físico mecánicas del Caucho

Caucho granular	
Contenido humedad %	0.01
Peso unitario suelto (Kg/m ³)	495
Peso unitario compactado (Kg/m ³)	555
Diámetro de partícula	½"
Peso específico (g/cm ³)	1.24
Absorción (ab) %	6.04
Abrasión (%)	0.64

Figura 16

Granulometría del Caucho Granular



e) Procedimiento de diseño de mezclas $f'c$ 175 kg/cm²

El diseño de mezcla siguió las pautas del ACI 211.1 (2022) utilizando para ello una hoja de cálculo en Microsoft Excel. Determinada la mezcla, se verificó que la proporción cumpla el $f'c$ de diseño.

Selección de resistencia media ($f'cr$)

$$F'cr = F'c + 70 \text{ kg/cm}^2 \quad (20)$$

$$245 \text{ kg/cm}^2 = 175 \text{ kg/cm}^2 + 70 \text{ kg/cm}^2 \quad (21)$$

Elección del asentamiento (Slump): 3" a 4"

Selección del tamaño máximo de partícula de los áridos gruesos: 1"

Contenido de aire: 1.5%

Contenido de agua: 193 lts/m³

Relación agua/cemento (A/C): 0.63

$$\begin{array}{l} 250 \quad \dots \quad 0.62 \\ 245 \quad \dots \quad x \quad \rightarrow x = 0.63 \text{ A/C} \\ 200 \quad \dots \quad 0.70 \end{array} \quad (22)$$

Cálculo del consumo de cemento: 7.23 bls

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

$$\frac{193 \text{ lts}}{\text{Factor } C} = 0.63 \quad (24)$$

$$C = 7.23 \text{ bls} \quad (25)$$

Peso del agregado grueso

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

$$\text{Peso A.G.} = 0.69 \times 1523 \text{ kg/m}^3 \quad (27)$$

$$\text{Peso A.G.} = 1045 \text{ kg/m}^3 \quad (28)$$

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

Determinación del volumen absoluto

$$\text{Cemento} = \frac{C}{\text{Densidad}} = \frac{307 \text{ kg}}{3100 \text{ kg/m}^3} = 0.099 \text{ m}^3 \quad (29)$$

$$Agua = \frac{\text{Contenido de agua}}{\text{Peso específico}} = \frac{193 \text{ lt/m}^3}{1000 \text{ kg/m}^3} = 0.193 \text{ m}^3 \quad (30)$$

$$Aire = \text{contenido de aire atrapado} = 0.015 \text{ m}^3 \quad (31)$$

$$AG = \frac{\text{Peso AG}}{\text{Peso específico}} = \frac{1045 \text{ kg}}{2650 \text{ kg/m}^3} = 0.443 \text{ m}^3 \quad (32)$$

$$\text{Volumen AF} = 1 - (\text{Cemento} + \text{agua} + \text{aire} + AG) \quad (33)$$

$$\text{Volumen AF} = 1 - (0.099 + 0.19327 + 0.015 + 0.394) \quad (34)$$

$$\text{Volumen AF} = 0.299 \text{ m}^3 \quad (35)$$

Determinación del peso del agregado fino

$$\text{Peso AF} = \text{Volumen AF} \times \text{Peso específico AF} \quad (36)$$

$$\text{Peso AF} = 0.299 \text{ m}^3 \times 2440 \text{ kg/m}^3 \quad (37)$$

$$\text{Peso AF} = 729 \text{ kg} \quad (38)$$

Ajuste de agregados por humedad

$$\text{Agregado final} = \text{Agregado en kg} \times (\text{Contenido de humedad} + 1) \quad (39)$$

$$AF \text{ final} = 729 \text{ kg} \times (2.15\% + 1) = 744 \text{ kg} \quad (40)$$

$$AG \text{ final} = 1045 \text{ kg} \times (0.56\% + 1) = 1051 \text{ kg} \quad (41)$$

Aporte de agua a la mezcla

$$\text{Aporte de agua} = \sum(\text{humedad} - \text{absorción}) \times \text{agregados final} \quad (42)$$

$$\text{Aporte de agua (AF)} = (2.15\% - 4.60\%) \times 729 \text{ kg} = -17.85 \text{ lts} \quad (43)$$

$$\text{Aporte de agua (AG)} = (0.56\% - 0.83\%) \times 1045 \text{ kg} = -2.82 \text{ lts} \quad (44)$$

Agua efectiva

$$\text{Agua efectiva} = \text{Agua} - \text{aporte de agua} \quad (45)$$

$$\text{Agua efectiva} = 193 - (-17.85 - 2.82) = 214 \text{ lts} \quad (46)$$

Proporción de diseño

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

$$\text{Volumen del agregado grueso} \quad (47)$$

f) Diseño de mezclas base

En el estudio se presenta la proporción de materiales cuando estos están en condición seca y en volumen. El diseño de mezclas base para la producción de concreto se integra en proporción de volumen para un balde por 1.50 baldes de cemento, 3.50 baldes de arena, 5.10 baldes de piedra y 1.50 baldes de agua para $f'c$ 175 kg/cm².

Tabla 14

Diseño de Mezcla de Concreto $F'c$ 175 kg/cm²

	Cemento	Arena	Piedra	Agua
Proporción en volumen para un balde	1.5	3.5	5.1	1.5
Proporción en peso seco	1	2.40	3.40	26.70 lts/bls
Proporción en peso húmedo	1	2.40	3.40	29.50 lts/bls
Cantidades de diseño kg/m ³	307	729	1045	193
Cantidades corregidas por humedad kg/m ³	307	744	1051	214
Volumen de materiales (m ³)	0.099	0.299	0.394	0.193

Figura 17

Proporción de Mezcla en Volumen para 1 m³ de Concreto $F'c$ 175 kg/cm²



g) Proporción modificada con caucho granular

En el estudio se ha trabajado con las proporciones de materiales secos. Para evadir la influencia de la humedad y absorción en estos se ha secado los agregados previo a su combinación en la producción de concreto con caucho granular.

Tabla 15

Volumen de Materiales de Agregado Grueso y Caucho Granular para Concreto

	Volumen de materiales (m3)		
	Caucho granular	Agregado grueso	Volumen total
0%	0	0.394	0.394
10%	0.0394	0.3546	0.394
25%	0.0985	0.2955	0.394
50%	0.197	0.197	0.394

Figura 18

Volumen de Materiales de Agregado Grueso y Caucho Granular

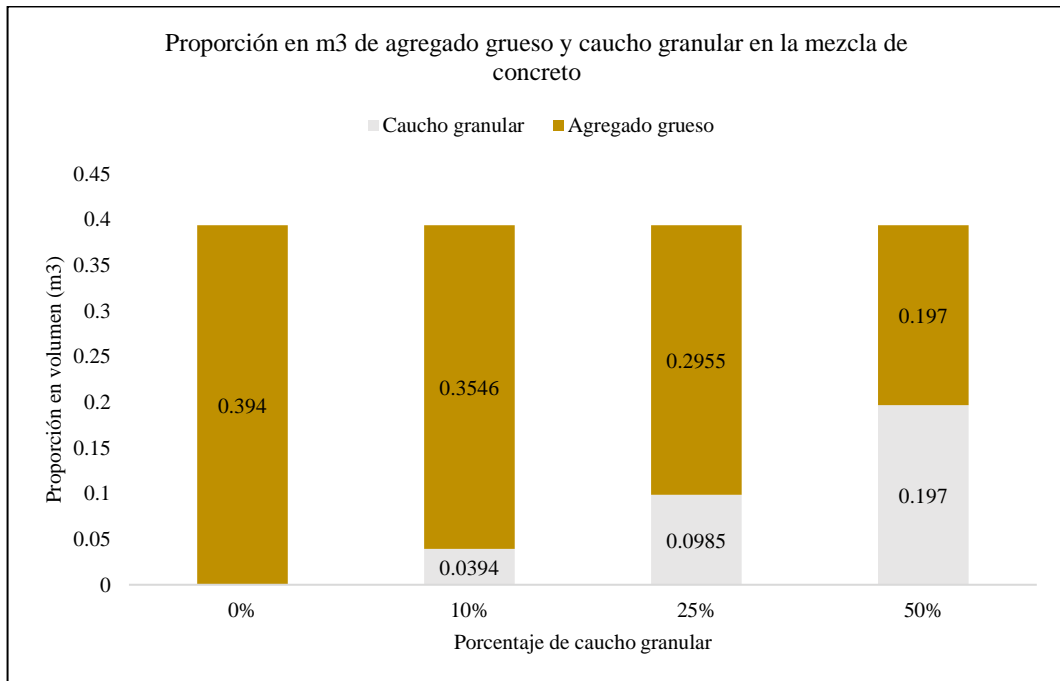


Tabla 16*Peso de Materiales de Agregado Grueso y Caucho Granular para Concreto*

	Peso de los materiales (kg)		
	Caucho granular	Agregado grueso	Peso total
0%	0.00	1045	1045
10%	21.87	940	962
25%	54.67	784	838
50%	109.34	522	632

Nota: Se ha tomado en cuenta el peso específico del agregado grueso que es igual a 2,652 kg/m³, y el peso unitario compactado del caucho granular que es igual a 555 kg/m³.

3.6.1.4. Elaboración y curado de concreto ligero

Para la producción y curado del concreto se utilizaron las proporciones determinadas a partir del diseño de mezclas de concreto y se siguieron los procedimientos de la NTP 339.033 (INACAL, 2021) para elaborar las probetas para los ensayos mecánicos del concreto.

- Los moldes utilizados fueron preparados aplicándoles un recubrimiento de derivado de petróleo en ambas caras, tanto en la interior como en la exterior, con el propósito de evitar que el concreto se adhiriera al molde.
- Se determinaron y pesaron las cantidades de caucho triturado para sustituir el agregado grueso en porcentajes del 0%, 10%, 25% y 50% del volumen total, de acuerdo con el diseño de las mezclas con característica de 175 kg/cm².
- Antes de iniciar la rotación de la mezcladora, se introdujo el agregado liviano junto con una parte del agua de mezclado.
- Todos los materiales se mezclaron durante aproximadamente tres minutos, seguidos de un reposo de 3 min y luego 2 min de mezclado.
- Se procedió a humedecer las varillas, los cucharones y la plancha de enrase.

- Después, se llevó a cabo el llenado de las probetas cilíndricas y prismáticas utilizando un cucharón, asegurándose de que estuviera completamente lleno en todo momento para evitar la segregación del material. Este llenado se realizó en tres capas, cada una ocupando un tercio de la altura del molde, y después de cada capa se aplicaron 25 golpes uniformemente distribuidos con una varilla, seguidos de 15 golpes en la cara exterior del molde con un martillo de goma.
- Se niveló la superficie de las probetas con una plancha, procurando no manipularlas en exceso y eliminando cualquier depresión o proyección.
- Para el almacenamiento inicial de las muestras recién preparadas, se emplearon bolsas de plástico, tanto en las muestras con 0%, 10%, 25% y 50% de caucho granular, en su estado fresco.
- El desmolde de las probetas se llevó a cabo 24 horas después del vaciado, con un margen de 4 horas, evitando movimientos bruscos que pudieran alterar su fraguado. Posteriormente, se retiraron las probetas verticalmente al destornillar los moldes.
- Seguidamente, se registraron los datos pertinentes en la parte superior de cada probeta, incluyendo porcentaje de caucho granular utilizado.
- Finalmente, las probetas fueron trasladadas de inmediato al área de curado de la EPIC – UNACH, con agua potable.
- El curado se realizó por 28 días según la NTP 339.033 (INACAL, 2021).

Figura 19

Probetas Luego del Lapso de Curado



3.6.1.5. Ensayos al concreto con caucho granular en su estado fresco

NTP 339.035 Asentamiento (INACAL, 2020)

- Se procedió a llenar un tercio del cono de Abrams y compactarlo mediante 25 golpes, repitiendo este proceso hasta completar el molde por completo.
- Una vez completada la compactación, se retiró el molde.
- Posteriormente, se registró la diferencia entre la altura del molde y la altura medida en el centro original de la base superior del espécimen.

Figura 20

Realización del Ensayo de Asentamiento del Concreto con Caucho Granular



NTP 339.184 Temperatura (INACAL, 2021)

- Se colocó el termómetro de manera que estuviera rodeado por al menos 3” en todas las direcciones.
- Luego, se ejerció una leve presión sobre la superficie de concreto alrededor del termómetro.
- El termómetro se dejó en su lugar durante un período de 2 minutos, y una vez que la temperatura se estabilizó, se registró el dato obtenido.

Figura 21

Realización del Ensayo de Temperatura del Concreto con Caucho Granular



NTP 339.046 Densidad (INACAL, 2019)

- Se determinó el peso del molde seleccionado y se calculó su volumen.
- El concreto se colocó en el molde en 3 capas, cada una llenando aproximadamente 1/3 de la altura total del molde, asegurándose de distribuirlo uniformemente moviendo el cucharón.
- Después de compactar cada capa con 25 golpes, se aplicaron 15 golpes con el mazo de goma sobre cada capa para eliminar posibles burbujas de aire.

- Una vez completada la tercera capa, se niveló cuidadosamente el borde superior del concreto para asegurarse de que estuviera completamente lleno y uniforme.
- Después de alisar la superficie, se limpiaron las paredes del molde y se registró su peso.

Figura 22

Realización del Ensayo de Densidad in Situ (Peso Unitario) del Concreto con Caucho Granular



NTP 339.081 Contenido de aire (INACAL, 2018)

- Las paredes interiores y el fondo del recipiente se mojaron ligeramente.
- El concreto se dispuso en el molde en tres capas, cada una llenando aproximadamente un tercio de la altura total, asegurando una distribución uniforme al mover el cucharón. Después de cada capa, se compactó con 25 golpes y se alizó con 15 golpes del mazo de goma.

- La parte inferior de la cubierta se humedeció y se colocó sobre el recipiente, ajustando las mordazas en forma cruzada. Se abrieron ambas llaves de purga.
- Se cerró la válvula principal entre la cámara y el recipiente, y se abrieron ambas llaves de purga a través de la cubierta.
- Se inyectó agua a través de una de las llaves de purga hasta que salió por la otra.
- Se cerró la válvula de escape de aire y se bombeó aire dentro de la cámara hasta que el manómetro indicó la presión inicial.
- Se esperó unos segundos para que el aire comprimido alcanzara la temperatura ambiente y se estabilizara la lectura de presión.
- Se abrió la válvula principal entre la cámara de aire y el recipiente.
- Se registró el porcentaje de aire una vez que la presión se estabilizó.

Figura 23

Prueba de Contenido de Aire del Concreto con Caucho Granular



3.6.1.6. Ensayos físicos al concreto con caucho granular

a) NTP 399.602 Ensayo de absorción (INACAL, 2018)

Equipos, materiales e instrumentos:

- Tres probetas de concreto preparadas y curadas por cada dosificación con más de 3 días de curado.
- Balanza de precisión.
- Horno de secado.
- Recipientes de agua.
- Paño o toalla absorbente.
- Cronómetro o reloj.
- Recipiente para pesar las probetas sumergidas.

Procedimiento:

- Extraer las probetas de concreto del tanque de curado y secar suavemente la superficie con un paño o toalla absorbente para eliminar el exceso de humedad superficial.
- Pesar cada probeta de concreto individualmente en una balanza de precisión y registrar el peso inicial.
- Llenar un recipiente con agua y sumergir las probetas completamente en él, asegurándose de que no queden burbujas de aire atrapadas.
- Dejar las probetas sumergidas durante 24 horas para determinar la absorción.
- Pasado el tiempo especificado, retirar las probetas del agua y secar suavemente la superficie con un paño o toalla absorbente para eliminar el exceso de agua superficial.
- Inmediatamente después del secado, pesar cada probeta de concreto en la balanza de precisión y registrar el peso final.

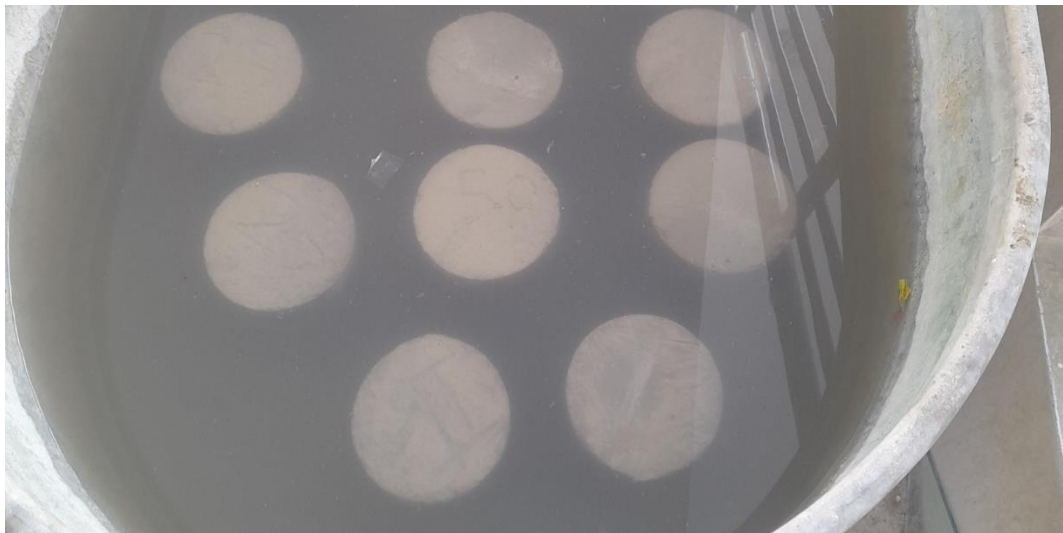
- Calcular la diferencia entre el peso final y el peso inicial de cada probeta para obtener la absorción de agua expresada en porcentaje.

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100 \quad (48)$$

- Repetir el procedimiento con tres probetas para obtener resultados más precisos y representativos.
- Luego de realizar este ensayo, las probetas fueron devueltas al tanque de curado para continuar su proceso de curado.

Figura 24

Realización del Ensayo de Absorción del Concreto con Caucho Granular



b) NTP 339.034 Peso en muestras endurecidas (INACAL, 2021)

- Se pesó la muestra

Absorción y retención de agua

- Se pesó la muestra seca
- Se sometió a contacto con el agua
- Se pesó la muestra húmeda
- Se midió el tiempo que pasa para que la probeta vuelva a su peso normal

3.6.1.7. Ensayos mecánicos al concreto con caucho granular

NTP 339.034 Resistencia a compresión en probetas cilíndricas (INACAL, 2021)

Está determinada por la relación entre la carga máxima alcanzada y el área de la parte lisa de la probeta. Las dimensiones de las muestras de ensayo fueron de 6"x12".

$$F'c = P/A \quad (49)$$

Donde, F'c resistencia a la compresión, P carga máxima total, A área superficial.

a. Equipos, materiales e instrumentos

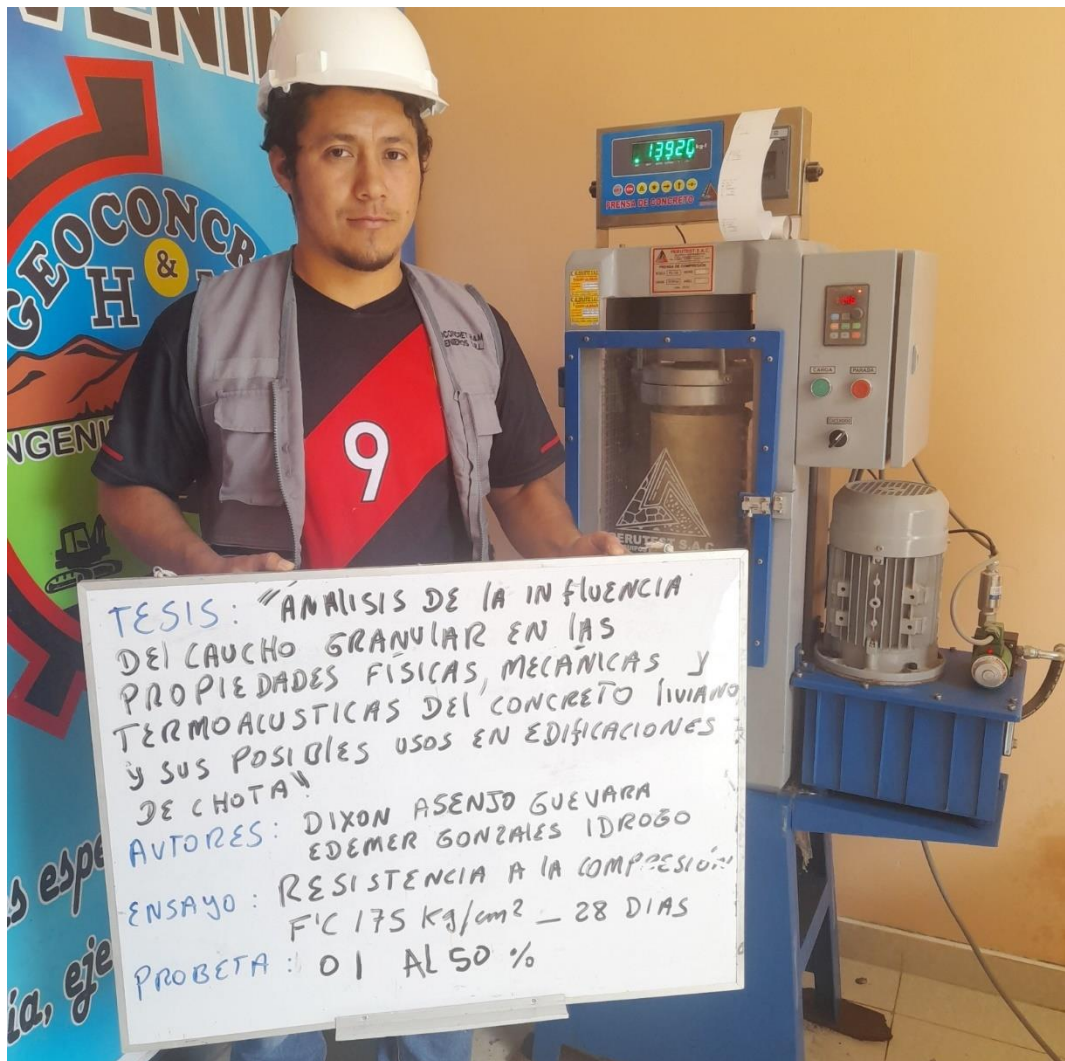
- Máquina universal.
- Probetas de concreto producidas caucho granular.
- Balanza

b. Proceso

- Pasado el tiempo de curado se extraen las probetas del depósito y se colocan sobre papel filtro para eliminar la humedad. Cada cilindro de prueba, teniendo en cuenta su edad, se rompe dentro de la tolerancia permitida (probetas de 7 días \pm 6h, probetas de 28 días \pm 20 h).
- Se limpian las caras de contacto de la máquina de compresión con las probetas, y luego se ubica correctamente la probeta en la máquina de compresión. Finalmente se inserta el cilindro y se aplica carga hasta que presente rotura, registrando la carga máxima que ha generado el quiebre de la probeta.
- Se repite el proceso con al menos tres probetas de concreto de cada dosificación de cal como sustituto del cemento, para calcular la resistencia a compresión como el promedio de la capacidad mecánica de tres probetas de concreto.

Figura 25

Realización del Ensayo de Compresión al Concreto con Caucho Granular



NTP 339.078 Resistencia a flexión (INACAL, 2022)

- Las muestras se mantuvieron humedecidas desde que se retiraron del proceso de curado hasta que se llevaron al lugar del ensayo.
- La muestra se posicionó sobre la plataforma de la máquina de ensayo.
- La carga se aplicó de manera continua y uniforme, evitando golpes repentinos.
- Se aplicó la carga hasta que el indicador mostró un descenso constante y el cilindro exhibió un patrón de falla evidente.

3.6.1.8. Construcción del modelo a escala para ensayos termoacústicos

Para la construcción del modelo a escala se siguió el “Manual de construcción” (UNACEM, 2020) y la investigación de Bustamante (2021). El concreto convencional para la estructura se elaboró con arena de Conchán, y grava de Chuyabamba, previo diseño de mezclas para un $f'c$ 175 kg/cm², que fue verificado, mediante ensayo de resistencia a compresión en probetas cilíndricas.

Se preparó la superficie donde se construirían los modelos a escala, los cuales tenían dimensiones interiores de 1.00 m de largo, 0.50 m de ancho y 0.50 m de altura, divididos por un muro central. Todos los muros, tanto internos como externos, tenían un espesor de 10 cm.

Se procedió a construir los moldes utilizando tablonces de eucalipto tratados con el aditivo Chemalac Extra 1, con el propósito de evitar adherencias no deseadas entre la madera y el concreto, así como para prevenir posibles alteraciones en la mezcla.

Se preparó una mezcla utilizando cemento Tipo I de Pacasmayo, agregado fino, agregado grueso y diferentes porcentajes de caucho triturado (0%, 10%, 25% y 50% en relación al agregado grueso), junto con agua potable. Para facilitar este proceso, se empleó un trompo mezclador de 2.14 HP y 210 litros.

Una vez lista la mezcla, se vertió en los moldes de cada modelo de acuerdo al tipo de concreto deseado. Para garantizar la uniformidad de la mezcla, se llevó a cabo un proceso de compactación utilizando una manguera vibradora SKU de 38 mm x 6 m.

Tras completar el vaciado del concreto, se permitió que la mezcla se secase y se mantuvo en los moldes durante 3 días. Posteriormente, se retiraron los moldes y se procedió a realizar el curado utilizando agua potable, la cual se aplicó

mediante una manguera. El período de curado se extendió por 11 días después de retirar los moldes, antes de que los modelos estuvieran listos para someterse a ensayos de sonometría y temperatura.

Figura 26

Proceso de Elaboración de Estructuras a Escala para Ensayos Termoacústicos



3.6.1.9. Ensayos termoacústicos al concreto ligero

Para realizar los ensayos termoacústicos de percepción de la temperatura y percepción del sonido, se siguió el proceso descrito en el estudio de Bustamante (2021) realizado en la UNACH, que consistió en:

a) Ensayo de aislamiento térmico

Se construyeron estructuras a escala para simular dos ambientes con condiciones similares a las de dos habitaciones reales. En el primer ambiente, denominado ambiente 1, se instaló un equipo de regulación de temperatura, la bomba de calor DZ13SC, capaz de emitir calor o frío según la configuración

programada. Este dispositivo permitió controlar la temperatura dentro del ambiente 1. Además, se colocó un termómetro para monitorear con precisión los cambios de temperatura en este espacio.

El protocolo de ensayo consistió en aumentar la temperatura en el ambiente 1 en incrementos de 2 °C cada 10 minutos, comenzando desde una temperatura inicial de 19 °C y alcanzando un máximo de 51 °C.

En el segundo ambiente, solo se instaló un termómetro ambiental (modelo HUALIX 1522) para medir la variación de temperatura sin la intervención de dispositivos de climatización.

En la parte superior de ambos ambientes, se colocó una cámara web inalámbrica para observar las variaciones de temperatura registradas por el termómetro ambiental sin necesidad de abrir la caja de ensayo.

Este procedimiento se llevó a cabo para modelos a escala elaborados con concreto natural y concreto con porcentajes de 10%, 25%, y 50% de caucho granular.

Figura 27

Realización del Ensayo de Percepción de la Temperatura



b) Ensayo de aislamiento acústico

En uno de los entornos de la estructura a escala, se instaló un equipo emisor de ruido, específicamente un parlante inalámbrico Sony SRS XB33, junto con un sonómetro para medir la intensidad del ruido generado. El proceso de medición se realizó durante un período de 5 minutos, comenzando con un nivel de sonido inicial de 20 dB y aumentando gradualmente en incrementos de 5 dB hasta alcanzar un nivel de 130 dB en el ambiente 1.

En el otro entorno, se colocó un sonómetro Extech 407764 Datalogger para medir la intensidad del ruido transmitido a través del muro divisorio de la estructura.

En la parte superior de ambos ambientes, se colocó una cámara web inalámbrica para observar las variaciones de sonido registradas por el sonómetro sin necesidad de abrir la caja de ensayo.

Este procedimiento se llevó a cabo en modelos a escala elaborados con concreto natural y concreto con porcentajes de 10%, 25%, y 50% de caucho granular.

Figura 28

Vista de Modelo para Ensayos termoacústicos



3.6.2. *Procesamiento de datos*

El procesamiento de información de la tesis se llevó a cabo usando técnicas computacionales, en el programa Microsoft Excel 2022.

En esta etapa del estudio, se ingresaron los datos experimentales obtenidos a partir de la realización de pruebas físicas, mecánicas y termoacústicas del concreto liviano con la adición de caucho granular en diferentes proporciones. Estos datos fueron organizados y analizados en Excel para calcular y presentar los resultados de manera clara y concisa mediante tablas y gráficos descriptivos.

3.6.3. *Análisis de datos*

La información se analizó en el programa Minitab 22. Este programa se utilizó para realizar un análisis estadístico para aceptar o rechazar la hipótesis nula (H_0) o alternativa (H_1) planteada en la investigación.

La hipótesis nula (H_0) se rechaza si el valor de probabilidad p es menor que 0.05, que es el nivel de significancia establecido para el estudio con un nivel de confianza del 95%. Esto significa que si el valor p es menor que 0.05, se considera que hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa.

De esta manera, el análisis de la información se basó en la aplicación de pruebas estadísticas para comparar las propiedades físicas, mecánicas y termoacústicas del concreto liviano con y sin caucho granular. Se llevaron a cabo pruebas de significancia estadística para determinar si la adición de caucho granular tenía un efecto significativo en estas propiedades y, en caso afirmativo, en qué medida.

3.7. Aspectos éticos

Según Noreña et al. (2012) se establecieron los criterios éticos y de rigor científico a tomar en cuenta y las acciones o estrategias que se aplicaron para el cumplimiento de las mismas:

Criterio de credibilidad: Aproxima los resultados de una investigación frente al fenómeno observado.

Criterio de transferibilidad y aplicabilidad: Se basó en que los resultados derivados de la investigación son transferibles, no generalizables. Los resultados han sido de la población estudiada lo que no se puede generalizar, pero sí comparar con otros estudios.

Criterio Consistencia Dependencia/ Replicabilidad: Brinda la descripción detallada del proceso de recogida, análisis e interpretación de los datos. Reflexividad del investigador: Discusión, conclusiones y recomendaciones.

Criterio de Conformabilidad o Reflexividad (Neutralidad/ Objetividad): Sirvió para contrastación de los resultados con la literatura existente. Revisión de hallazgos por otros investigadores.

Criterio de relevancia: Sirvió para la contratación de los resultados con la literatura existente: Revisión de hallazgos por otros investigadores.

Criterio Epistemológico: Sirvió para la contratación de los resultados con la literatura existente. Identificación y descripción de limitaciones y alcances del investigador descritos en la muestra.

CAPÍTULO IV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción de resultados

4.1.1. *Propiedades en estado fresco del concreto con caucho granular*

4.1.1.1. Contenido de aire

La porosidad es un indicador del total de poros presentes en el interior del concreto una vez que se ha endurecido. Este valor se ve influenciado por factores como la proporción de agua y cemento, el nivel de hidratación del cemento, la presencia de aire atrapado y la relación entre los agregados de diferentes tamaños (Solís-Carcaño & Alcocer-Fraga, 2019). En el caso del estudio se ha considerado como medida de la porosidad al contenido de aire de la mezcla de concreto.

El contenido de aire se incrementa al aumentar el caucho granular en la mezcla de concreto. Esta variación se traduce en un contenido de aire del 1.43% para el concreto base, que incrementa hasta un 1.72% cuando se utiliza un 50% de caucho granular en la mezcla, lo que representa un aumento del 20.28%. Por tanto, se evidencia una relación directa y significativa entre el porcentaje de caucho granular en la mezcla y el contenido de aire alcanzado, lo que se refleja en un valor de regresión R de 0.977. No obstante, a pesar de ello, es importante considerar que el valor no pasa de 2%, siendo así, no dista tanto del porcentaje de aire electo en el diseño de mezclas (1.5%).

La razón de este incremento radica en la naturaleza porosa y liviana del caucho granular, que favorece la formación de vacíos en la mezcla de concreto. Estos vacíos, a su vez, son ocupados por aire, lo que resulta en un mayor contenido de aire en la mezcla, según lo respalda Rashad (2016), quien determinó que la estructura interna del caucho granular favorece la retención de aire en la mezcla.

Otro aspecto relevante es la capacidad de deformación del caucho. Según Medina et al. (2018) debido a su naturaleza elastomérica, el caucho granular tiene la capacidad de ceder bajo cargas y deformarse en cierta medida. Esta propiedad facilita la formación de cavidades en la mezcla de concreto cuando se somete a vibrado, contribuyendo así a un mayor contenido de aire en la mezcla.

Además, la interacción entre el caucho granular y el sistema de mezcla de concreto juega un papel determinante en el contenido de aire final. Según Li et al. (2019) es posible que la rugosidad superficial del caucho granular genere puntos de anclaje de las burbujas de aire, impidiendo su liberación durante el proceso de mezclado y compactación, lo que resulta en una mayor retención de aire en la mezcla y, por ende, en un aumento del contenido de aire.

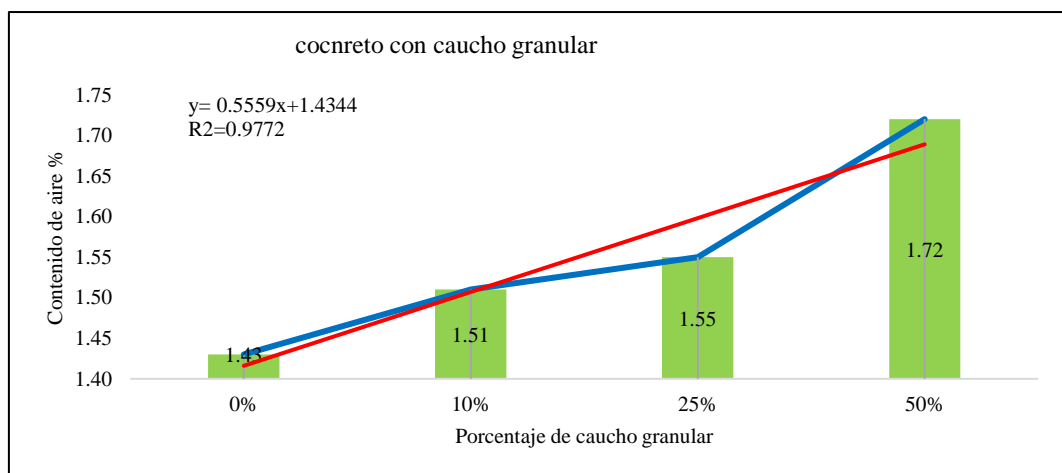
Tabla 17

Contenido de Aire del Concreto con Caucho Granular

Porcentaje de caucho granular	Contenido de aire (%)	Porcentaje de incremento del contenido de aire
0%	1.43	0.00%
10%	1.51	5.59%
25%	1.55	8.39%
50%	1.72	20.28%

Figura 29

Influencia del Caucho en el Contenido de Aire del Concreto



4.1.1.2. Densidad in situ (Peso unitario) del concreto fresco

El concreto normal presenta peso unitario de 2240 a 2400 kg/m³, mientras que, el concreto liviano posee una densidad in situ de 1440 a 1880 kg/m³ de acuerdo al National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA, 2010). Siendo así, el concreto con 50% de porcentaje de caucho granular con un peso unitario de 1863.02 kg/m³, se puede considerar concreto liviano, mientras que, los otros concretos tienen el peso unitario de un concreto normal. El concreto con 0%, y 10% de caucho granular alcanzan respectivamente 2459.71 kg/m³ y 2320.75 kg/m³, por tanto, son concretos de peso normal. Mientras que, el concreto con 25% de caucho granular alcanza 2053.45 kg/m³, por lo que, no se clasifica como concreto con peso normal, pero tampoco como concreto liviano, sino que, se encuentra entre ambos, acercándose más a un concreto de peso liviano.

El hecho de que el concreto con caucho granular tenga una densidad menor que el concreto base se debe a la baja densidad del caucho en comparación con los materiales tradicionalmente utilizados en la mezcla de concreto. Según Gravina & Xie (2022), el caucho granulado utilizado en la fabricación de concreto tiene una densidad promedio de 500 kg/m³, lo que contribuye a la reducción del peso unitario total de la mezcla, similar al peso unitario del caucho granular utilizado en el estudio (495 kg/m³).

El concreto reduce su peso unitario en 5.65%, 16.52% y 24.26% cuando se utiliza 10%, 25% y 50% de caucho granular en Chota. La disminución del peso unitario del concreto al aumentar el porcentaje de caucho granular se debe a que este material es más ligero que los agregados convencionales, como la grava y la arena. Al reemplazar parte de estos agregados por caucho granular, se reduce la densidad de la mezcla en general, según argumenta Calderón & Vásquez (2021).

Además, la relación directa y significativa entre el porcentaje de caucho granular en la mezcla y el peso unitario del concreto fresco indica que, a mayor cantidad de caucho, menor será la densidad del concreto resultante. Esto se debe a que el caucho granular ocupa un volumen en la mezcla, pero contribuye con menos peso en comparación con los agregados convencionales. El porcentaje de caucho granular en la mezcla y el peso unitario del concreto fresco de Chota presentan un valor de regresión R de 0.963.

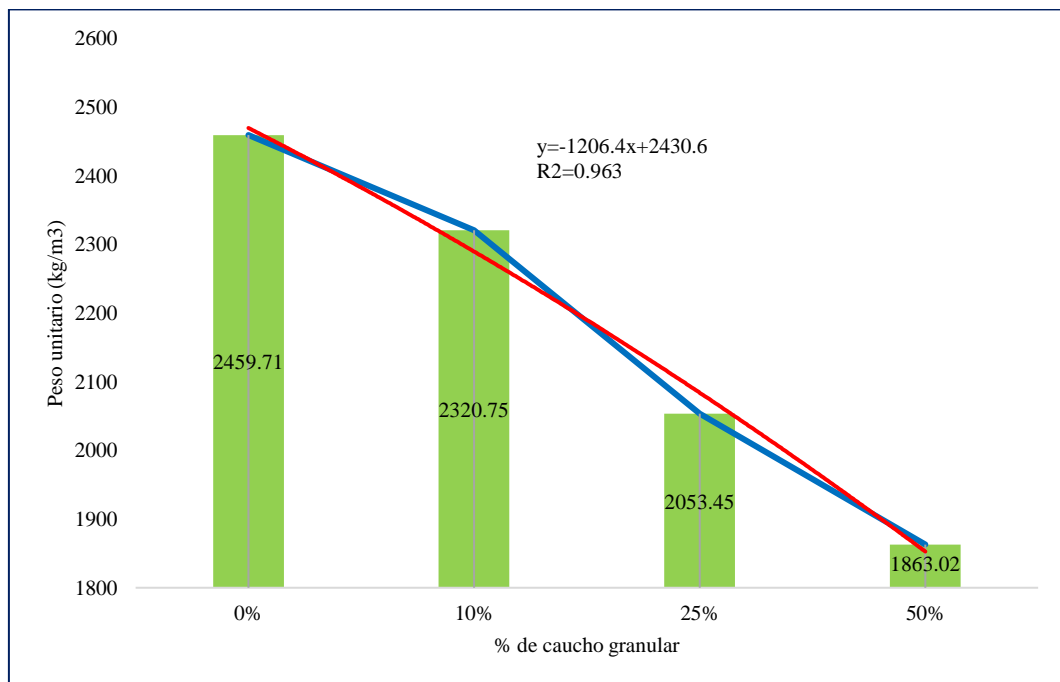
Tabla 18

Peso Unitario del Concreto con Caucho en la Densidad del Concreto

Porcentaje de caucho granular	Peso unitario del concreto fresco (kg/m ³)	Porcentaje de reducción del peso unitario
0%	2459.71	0.00%
10%	2320.75	-5.65%
25%	2053.45	-16.52%
50%	1863.02	-24.26%

Figura 30

Influencia del Caucho Granular en el Peso Unitario del Concreto Fresco



4.1.1.3. Temperatura

La temperatura aumenta ligeramente al incrementar caucho granular en la mezcla. El concreto base tiene 21.67 °C, mientras que, el concreto con 50% de caucho granular alcanza 28 °C, por tanto, la temperatura incrementa en 29.21%. Asenjo (2023) obtuvo temperaturas más elevadas con menor contenido de caucho granular en el concreto, no obstante, esta diferencia se debe a que, la temperatura ambiental (19 °C) en la que, se elaboró la mezcla de concreto, fue mucho menor a la temperatura ambiental (25 °C) en la que elaboró la mezcla de concreto Asenjo (2023).

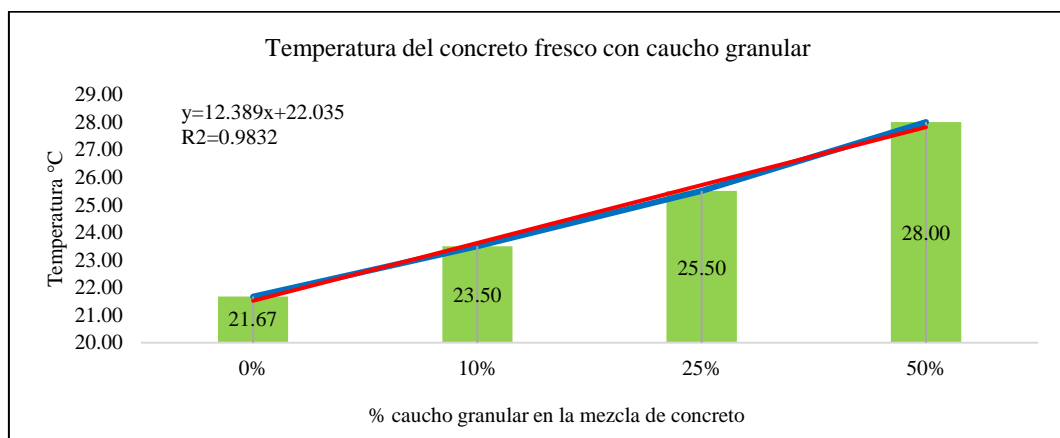
Tabla 19

Temperatura del Concreto Fresco con Caucho Granular

Porcentaje de caucho granular	Temperatura (°C)	Porcentaje de incremento de la temperatura (°C)
0%	21.67	0.00%
10%	23.50	8.44%
25%	25.50	17.67%
50%	28.00	29.21%

Figura 22

Influencia del Caucho Granular en la Temperatura del Concreto



Nota: La relación entre la temperatura del concreto a diferente concentración de caucho es ascendente con una regresión lineal positiva de $R = 0.983$.

4.1.1.4. Asentamiento (slump) – trabajabilidad

En este caso, se encontró que al aumentar el porcentaje de caucho granular en el concreto, el slump del concreto disminuye, lo que indica que la mezcla se vuelve menos fluida y más difícil de trabajar. Los valores de slump del concreto base fueron en promedio 3.51 pulg, y el concreto con 10%, 25% y 50% de caucho granular obtuvo respectivamente en promedio 3.14, 2.79 y 2.58 pulg de asentamiento. Esto muestra una clara disminución en la fluidez de la mezcla.

Además, se determinó que la consistencia del concreto varía según el porcentaje de caucho granular. Con un 0%, 10% y 25% de caucho granular, la consistencia fue plástica, con un asentamiento de 7 a 10 cm. Sin embargo, con un 50% de caucho granular, la consistencia fue semi plástica, lo que indica que la mezcla se vuelve más rígida y menos maleable con una mayor cantidad de caucho.

Estos resultados son avalados por Sánchez (2019) quien encontró una reducción en la consistencia y trabajabilidad de la mezcla de concreto al aumentar el porcentaje de caucho granular, esto se debe a que, al agregar caucho granular al concreto, se crean mayores espacios vacíos dentro de la mezcla, lo que reduce la cantidad de agua disponible para la hidratación de los materiales cementantes. Esto provoca una pérdida de trabajabilidad en el concreto, ya que se vuelve más difícil de mezclar y colocar. Además, el caucho granular es más liviano y menos compacto que el agregado convencional, lo que disminuye la capacidad de compactación de la mezcla y afecta el asentamiento (slump) del concreto. Esto se traduce en una menor fluidez y capacidad de auto nivelado del concreto, lo que puede dificultar su colocación en obra según Aslani et al. (2018).

Por último, la relación entre el porcentaje de caucho granular en la mezcla de concreto y el asentamiento alcanzado por el concreto es positiva, pero tiene

una regresión polinómica negativa con R de 0.999. Esto significa que a medida que se aumenta el porcentaje de caucho granular, el asentamiento del concreto disminuye de forma gradual. En otras palabras, el caucho granular influye directamente en la fluidez y trabajabilidad del concreto, pero esta influencia lleva a una disminución en el asentamiento, consistencia y trabajabilidad de la mezcla a medida que se incrementa la cantidad de caucho en la mezcla.

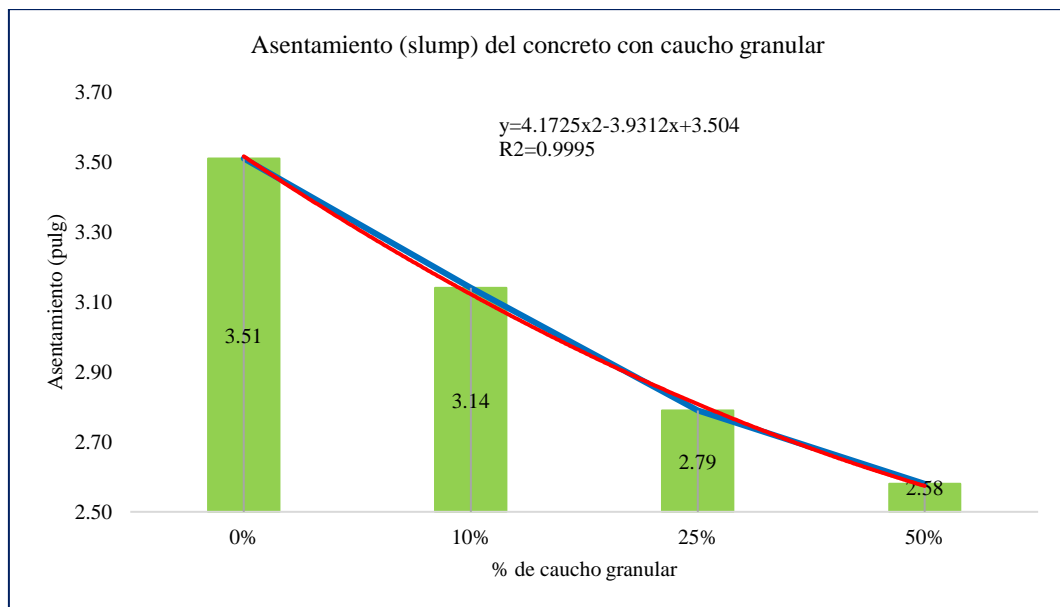
Tabla 20

Asentamiento (Slump) del Concreto con Caucho Granular

Porcentaje de caucho granular	Slump		Consistencia
	(Pulg)	(cm)	
0%	3.51	8.92	Plástica
10%	3.14	7.98	Plástica
25%	2.79	7.09	Plástica
50%	2.58	6.55	Semi plástica

Figura 31

Influencia del Caucho Granular en el Asentamiento (Slump) del Concreto



4.1.2. Propiedades físicas del concreto con caucho granular

4.1.2.1. Peso y peso unitario del concreto endurecido

Al igual que, el peso unitario de concreto fresco se reduce considerablemente al aumentar el porcentaje de caucho granular, alcanzando valores de 2485.49, 2314.47, 2227.93 y 2040.96 kg/m³ para el concreto con 0%, 10%, 25% y 50% de caucho granular, respectivamente; no obstante, tomando en cuenta la aseveración del National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA, 2010), quien argumenta que, el peso unitario del concreto normal varía entre 2240 a 2400 kg/m³, mientras que, el concreto liviano posee una densidad in situ de 1440 a 1880 kg/m³, se puede inferir que, todos los concretos presentan peso normal, a excepción del concreto con 50% de caucho granular cuyo peso unitario, lleva a que se acerque a la clasificación de concreto liviano de acuerdo a su densidad. Esto, como ya se ha mencionado se debe a que, según Gravina & Xie (2022), el caucho granulado utilizado en concreto tiene una densidad promedio inferior a la de los agregados naturales usados convencionalmente en la elaboración de concreto.

Así mismo, Pacheco (2017) argumenta que, el peso unitario del concreto fresco es menor que el peso unitario del concreto endurecido debido a la presencia de aire atrapado en la mezcla cuando está fresca. Durante el proceso de fraguado y endurecimiento, este aire atrapado se elimina a medida que el concreto se compacta y se asienta, lo que aumenta la densidad y, por lo tanto, el peso unitario del concreto endurecido. Además, el proceso de hidratación del cemento y la formación de enlaces químicos entre los agregados y el cemento también contribuyen a que el concreto endurecido sea más denso y, por lo tanto, más pesado que el concreto fresco.

También, al incorporar caucho granular en el concreto, se logra reducir el peso del material. Esto resulta beneficioso en la construcción de edificaciones, ya que un concreto más ligero implica un menor esfuerzo por cargas muertas. Los datos específicos de peso del concreto con diferentes porcentajes de caucho granular (0%, 10%, 25% y 50%) en Chota son proporcionados (13.18, 12.27, 11.81 y 10.82 kg respectivamente). Esta información destaca una disminución progresiva en el peso del concreto al aumentar el porcentaje de caucho granular, demostrando la efectividad de este material en la reducción de peso del concreto.

Por otro lado, en Chota se experimentó una reducción del peso del concreto del 6.88%, 10.36% y 17.89% al utilizar 10%, 25% y 50% de caucho granular respectivamente. Esta disminución en el peso del concreto al incrementar el porcentaje de caucho granular se explica por la ligereza de este material en comparación con los agregados tradicionales. Al sustituir parte de estos agregados convencionales por caucho granular, se obtiene como resultado un concreto endurecido con menor peso. El estudio realizado por Calderón & Vásquez (2021) respalda esta afirmación, proporcionando evidencia sólida de la reducción de peso del concreto al incluir caucho granular en la mezcla.

Además, se destaca la relación directa y significativa entre el porcentaje de caucho granular en la mezcla y el peso final del concreto. A medida que se aumenta la cantidad de caucho en la mezcla, se observa una reducción proporcional en el peso del concreto resultante. Esto se debe a que el caucho granular tiene un menor peso específico que los agregados convencionales, ocupando un volumen en la mezcla, pero contribuyendo con menos peso. La relación entre el porcentaje de caucho granular en la mezcla y el peso del concreto en Chota es cuantificada mediante un valor de regresión R de 0.96, indicando una

alta correlación entre estas variables y respaldando la tendencia observada de disminución de peso del concreto con la presencia de caucho granular.

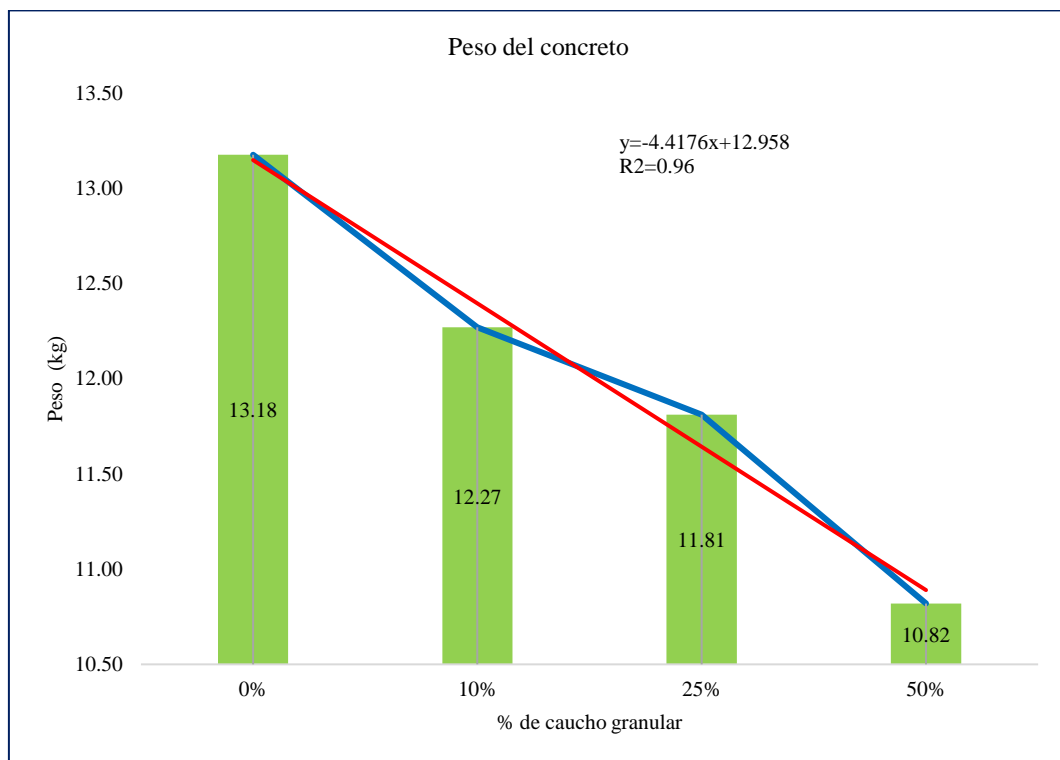
Tabla 21

Peso y Peso Unitario del Concreto con Caucho Granular

Porcentaje de caucho granular	Peso unitario del concreto fresco (kg/m3)	Peso unitario del concreto endurecido (kg/m3)	Peso (kg)	Porcentaje de reducción del peso
0%	2459.71	2485.49	13.18	0.00%
10%	2320.75	2314.47	12.27	-6.88%
25%	2053.45	2227.93	11.81	-10.36%
50%	1863.02	2040.96	10.82	-17.89%

Figura 32

Influencia del Caucho Granular en el Peso del Concreto



Nota: El valor R es 0.960, por tanto, la correlación es alta y se puede obtener datos acerca del peso de otras proporciones utilizando la ecuación de regresión lineal.

4.1.2.2. Absorción del concreto con caucho granular

La absorción del concreto aumenta al aumentar el caucho. La absorción del concreto con 0%, 10%, 25% y 50% de caucho en promedio ascendió a 6.72%, 9.39%, 11.33% y 13.34%, respectivamente. Esto se debe a que, el caucho granulado según argumenta Calderón y Vásquez (2021) es un agregado más poroso y liviano, lo que lleva a que al ser utilizado en el concreto este vea incrementado su capacidad para retener agua al estar en contacto con esta.

Así mismo, tomando de referencia los argumentos de Estela & Vásquez (2020) se puede aseverar que, el concreto con mayor porcentaje de caucho granular, no solo adquiere mayor absorción, sino que, también alcanza mayor permeabilidad, por tanto, el concreto permite la escorrentía lo que, hace que sea favorable su uso en pavimentos permeables, no obstante, para ello, se requiere mayor cantidad de estudios avanzados.

En cuanto, a la absorción máxima está es relativamente superior a la absorción promedio, y también tiende a acrecentarse a medida que el porcentaje de caucho granular es mayor en la mezcla de concreto, pero este incremento es similar al de la absorción promedio.

La absorción del concreto base aumenta en 39.73%, 68.60% y 98.51%, mientras que, la absorción máxima aumenta en 37.92%, 61.53% y 89.03%, respectivamente, cuando el concreto tiene 10%, 25% y 50% de caucho granular.

Por tanto, la variación de la absorción y absorción máxima del concreto a diferente concentración de caucho se da de manera ascendente con una regresión lineal positiva de $R = 0.923$ y 0.929 . Es decir, a medida que se incrementa el porcentaje de caucho se incrementa también el porcentaje de absorción promedio y absorción máxima del concreto en Chota.

Tabla 22

Absorción del Concreto con Caucho Granular

Porcentaje de caucho granular	Absorción (%)	Absorción máxima (%)	% de incremento de la absorción	Porcentaje de incremento de la absorción máxima
0%	6.72	7.2	0.00%	0.00%
10%	9.39	9.93	39.73%	37.92%
25%	11.33	11.63	68.60%	61.53%
50%	13.34	13.61	98.51%	89.03%

Figura 33

Influencia del Caucho Granular en la Absorción del Concreto

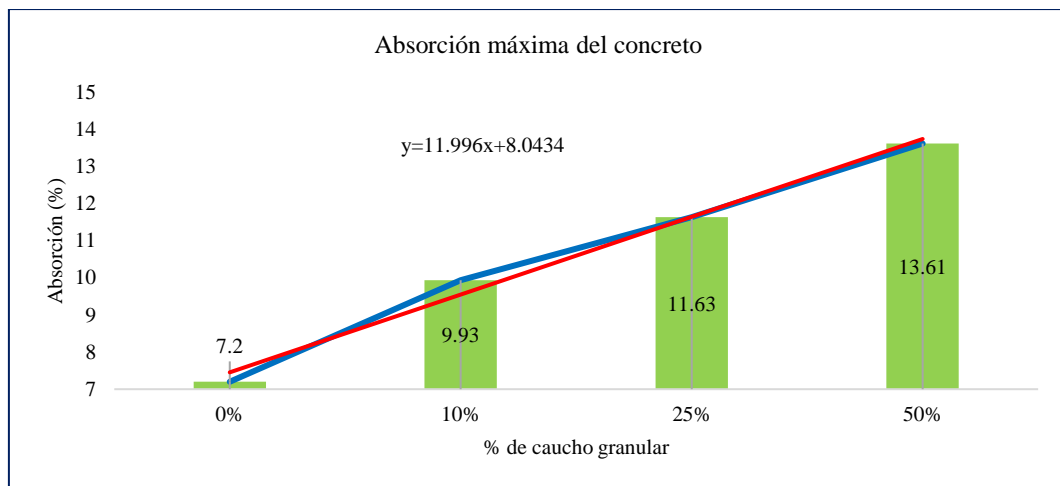
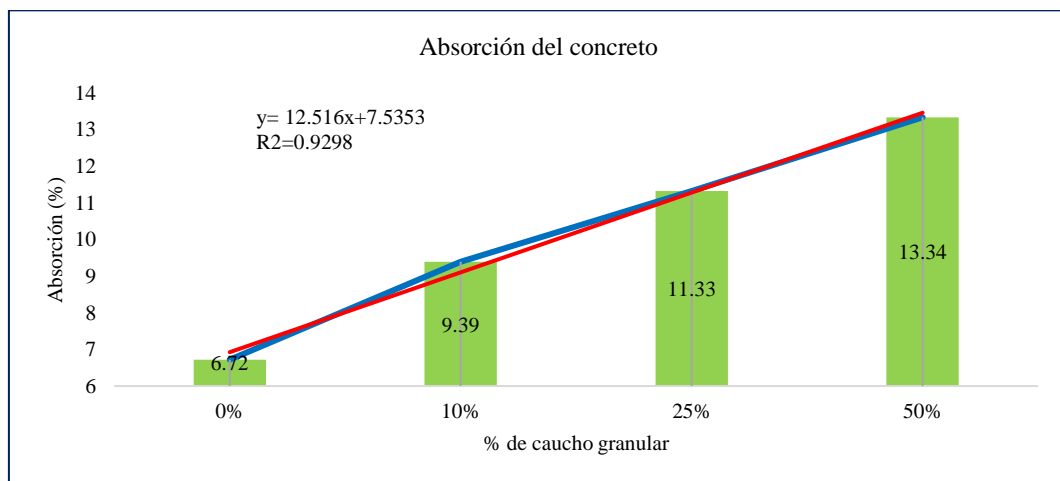


Figura 34

Influencia del Caucho en la Absorción Máxima del Concreto



4.1.3. *Propiedades mecánicas del concreto con caucho granular*

4.1.3.1. Resistencia a la compresión del concreto con caucho granular

La resistencia a compresión del concreto se ve afectada significativamente por el porcentaje de caucho granular presente en la mezcla. Al comparar la resistencia a compresión de la mezcla base con aquella que contiene 10%, 25% y 50% de caucho granular, observamos una disminución progresiva en los valores. Mientras que la mezcla base alcanza una resistencia a compresión de 261.29 kg/cm², las mezclas con 10%, 25% y 50% de caucho granular alcanzan valores de 257.23 kg/cm², 171.80 kg/cm² y 73.76 kg/cm² respectivamente. Estos resultados representan una reducción del 1.55%, 34.25% y 71.77% en la resistencia a compresión en comparación con la muestra base.

Siendo así, se observó una disminución progresiva en la resistencia a compresión a medida que aumentaba el porcentaje de caucho granular en la mezcla. Esto significa que la presencia de caucho granular en el concreto reduce su capacidad de resistir fuerzas de compresión.

Esta disminución en la resistencia a compresión, según Xie et al. (2015) se debe a que, el caucho granular tiene propiedades físicas y de deformación diferentes al agregado común utilizado en la elaboración de concreto. Cuando se sustituye parte del agregado por caucho granular, se introduce una interfaz en la mezcla que afecta la resistencia a compresión del concreto. Así mismo, de acuerdo a Rashad (2016) el caucho granular es más flexible y elástico que el agregado común, lo que resulta en una menor resistencia a compresión del concreto. Además, la presencia de caucho granular dificulta la adherencia entre las partículas de cemento y afectar la distribución homogénea de las fuerzas en la mezcla (Medina et al., 2018).

A pesar de estas reducciones significativas en la resistencia a compresión, las mezclas con 10% y 25% de caucho granular siguen estando cerca del límite de diseño requerido ($f'c$ 175 kg/cm²), lo que indica que aún mantienen una buena resistencia mecánica. En este sentido, el concreto con 10% de caucho granular podría ser considerado para uso estructural, ya que supera el $f'c$ 210 kg/cm², que es un valor comúnmente utilizado en edificaciones para la construcción de columnas, vigas y losas. Por otra parte, el concreto con 25% de caucho granular podría ser utilizado para aplicaciones que requieran como máximo $f'c$ 17 MPa. El concreto con caucho granular podría ser utilizado con propósitos prácticos en la construcción, a pesar de ver reducida su capacidad mecánica.

Es importante destacar que, el análisis de los datos mostró un patrón de regresión polinómica, lo que indica que la relación entre el porcentaje de caucho granular y la resistencia a compresión del concreto puede describirse mediante un modelo matemático. El factor R de 0.976 sugiere que el modelo ajustado explica aproximadamente el 97.6% de la variabilidad en los datos, lo que refuerza la relación entre estos dos factores. Esto indica que el caucho granular afecta negativamente a la resistencia a compresión del concreto.

Tabla 23

Resistencia a Compresión del Concreto con Caucho Granular

(kg/cm ²)	Porcentaje de caucho granular			
	0%	10%	25%	50%
M1	236.86	265.88	170.33	78.77
M2	235.41	248.2	177.12	71.32
M3	311.59	257.61	167.94	71.18
Promedio	261.29	257.23	171.80	73.76
Porcentaje de disminución de la resistencia	0.00%	-1.55%	-34.25%	-71.77%

Figura 35

Resistencia a Compresión del Concreto con Caucho Granular

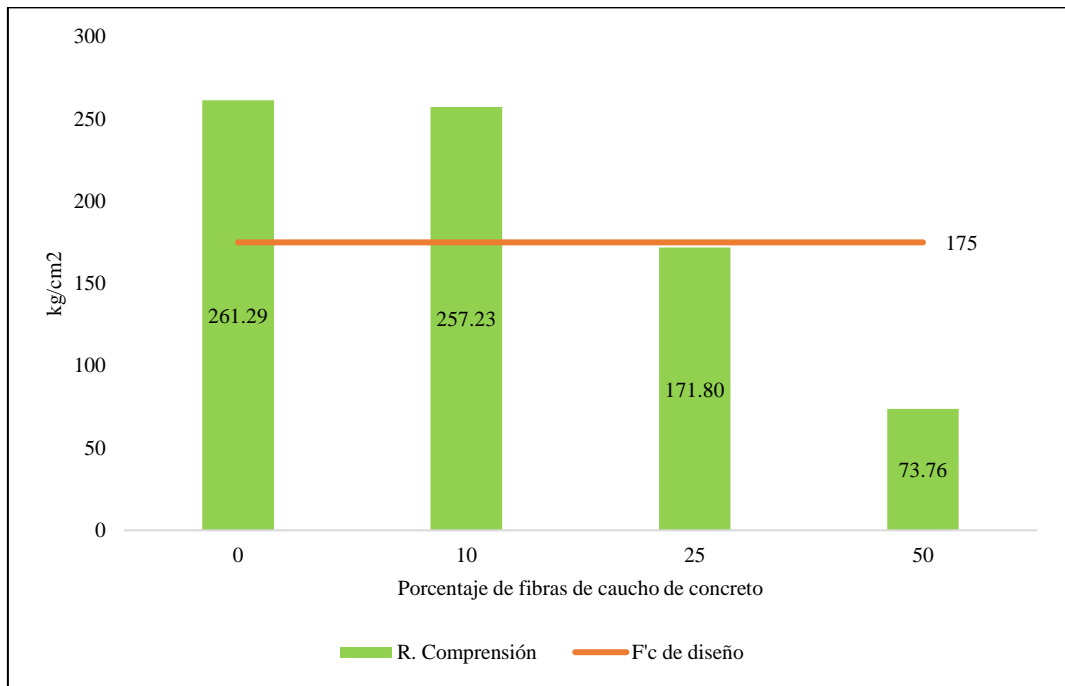
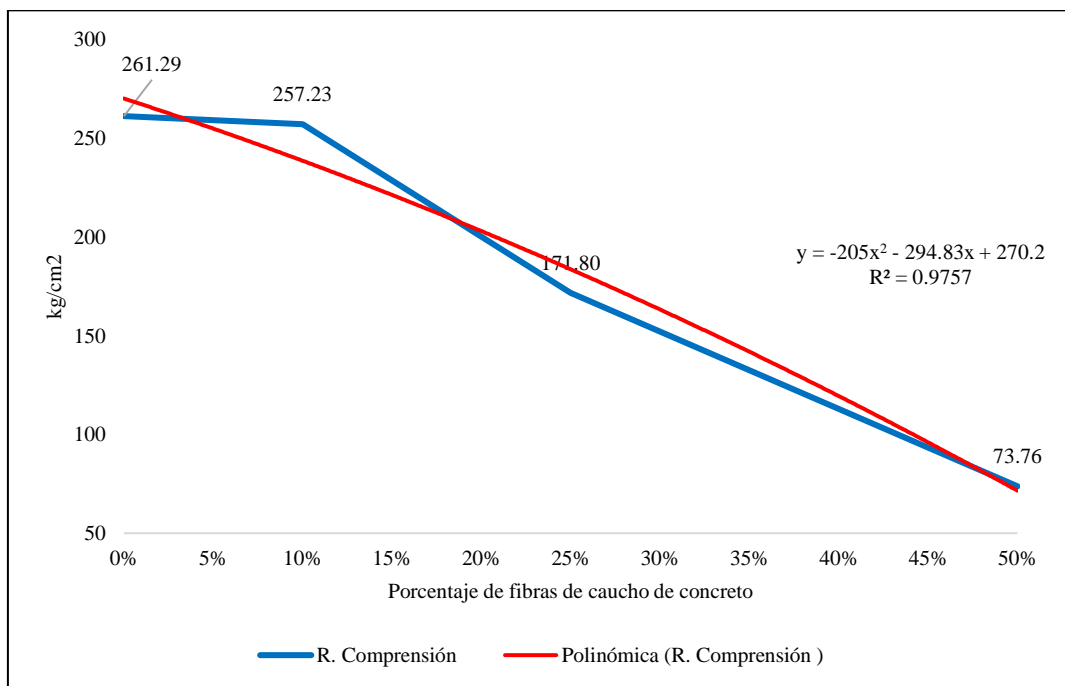


Figura 36

Influencia del Caucho Granular en la Resistencia a Compresión del Concreto



4.1.3.2. Resistencia a la flexión del concreto con caucho granular

A medida que se aumenta el porcentaje de caucho granular en la mezcla, la resistencia a flexión del concreto se reduce de manera considerable.

El concreto base sin caucho granular presenta resistencia a flexión de 6.16 kg/cm². Sin embargo, al incorporar 10% de caucho granular, la resistencia a flexión disminuyó a 5.25 kg/cm², lo que representa una reducción del 14.77% en comparación con el concreto base. Al aumentar el porcentaje de caucho granular al 25% y 50%, la resistencia a flexión disminuyó aún más, alcanzando 4.38 y 3.19 kg/cm² respectivamente. Estas reducciones representan una disminución del 28.90% y 48.21% en la resistencia a flexión en cotejo con el concreto base.

Además, los datos recopilados mostraron que el factor de correlación para la regresión polinómica decreciente de la resistencia a flexión del concreto con caucho granular es de 0.998. Este alto nivel de correlación indica que el contenido de caucho granular tiene una influencia significativa en la reducción de la resistencia a flexión del concreto.

Siendo así, los resultados de Xie et al. (2015) respaldan la conclusión de que la inclusión de caucho granular en la mezcla de concreto conduce a una disminución considerable en su capacidad para resistir fuerzas de flexión.

Tabla 24

Resistencia a Flexión del Concreto con Caucho Granular

Porcentaje de caucho granular	Resistencia a flexión (kg/cm ²)	Porcentaje de disminución de la resistencia
0%	6.16	0.00%
10%	5.25	-14.77%
25%	4.38	-28.90%
50%	3.19	-48.21%

Figura 37

Resistencia a Flexión del Concreto con Caucho Granular

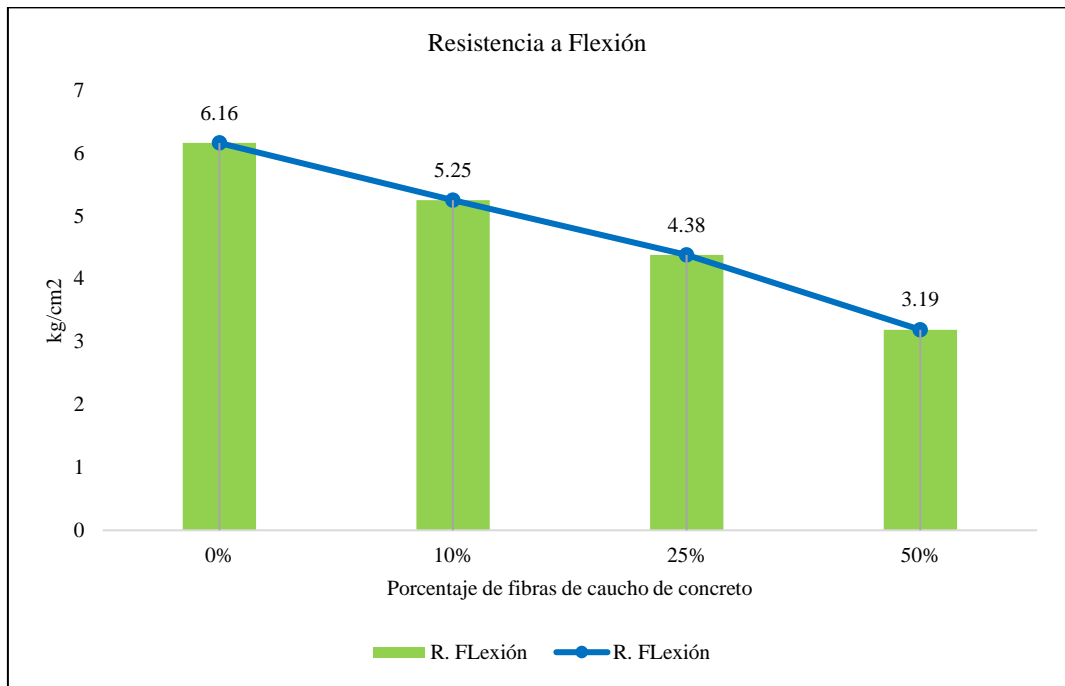
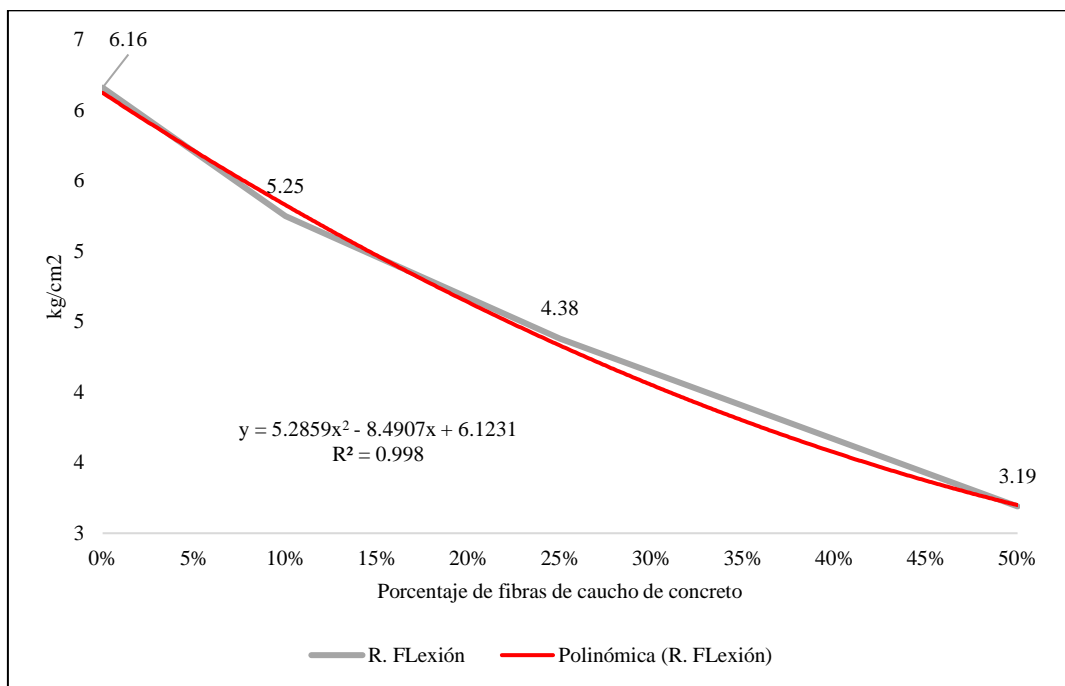


Figura 38

Influencia del Caucho Granular en la Resistencia a Flexión del Concreto



4.1.4. Propiedades termoacústicas del concreto con caucho granular

4.1.4.1. Propiedades térmicas del concreto con caucho granular

La temperatura de un ambiente con paredes construidas con concreto con caucho granular es mucho menor que la temperatura de un ambiente con paredes construidas con concreto convencional debido a las propiedades de aislamiento térmico del caucho granular. El caucho granular actúa como un material aislante que reduce la transferencia de calor a través de las paredes, lo que ayuda a mantener la temperatura interior más estable y a prevenir la ganancia de calor en días calurosos según explica Muñoz et al. (2021).

En el modelo construido con concreto base sin caucho granular inicialmente la temperatura en el ambiente 1 (donde se ha aplicado el calor) es de 19 °C, pero en el ambiente 2 la percepción del calor es de tan solo 14.05 °C, debido a que, las paredes de concreto reducen la conductividad térmica, no obstante, esta reducción es mayor al acrecentar el porcentaje de caucho granular en el concreto debido a que, según explica Muñoz et al. (2021) la conductividad térmica en el concreto con caucho granular se reduce, lo que resulta en una mejora del aislamiento térmico, en otras palabras al usar paredes de concreto con caucho granular la percepción del calor es menor, que al utilizar concreto base sin caucho granular.

Esto concuerda, con Muñoz et al. (2021) quienes determinaron que el concreto con 10% de caucho granular presentaba una reducción de la temperatura de 23%, mientras que, en el estudio la temperatura del ambiente con concreto con 10% de caucho granular se ha reducido en 27.92%, siendo relativamente similar.

Según Paine et al. (2004), el uso de caucho granular en la construcción de paredes de concreto puede mejorar significativamente las propiedades de

aislamiento térmico del material, ya que el caucho tiene una baja conductividad térmica. Esto significa que el calor se transfiere con mayor dificultad a través del caucho granular, lo que ayuda a mantener la temperatura interior del ambiente más estable y a reducir la necesidad de utilizar sistemas de calefacción o refrigeración. Además, estudios como el de Guo et al. (2019) han demostrado que el caucho granular también puede contribuir a mejorar la eficiencia energética de los edificios al reducir la ganancia de calor en verano, lo que puede resultar en un ahorro significativo en los costos de energía relacionados con refrigeración.

La mayor reducción de la temperatura se alcanza cuando se utiliza en la estructura concreto con 50% de caucho granular, reduciendo la percepción del calor hasta en 45.82%. Sin embargo, también se ha observado que, mientras más alta sea la temperatura más bajo es el porcentaje de reducción de la calor, pero esto no implica que la reducción de la percepción del calor no sea alta, por ejemplo, en un día caluroso donde la temperatura ambiental sea de al menos 31 °C (temperatura que se alcanza en tiempos de verano), la temperatura percibida en los ambientes con concreto con 0%, 10%, 25% y 50% de caucho granular es de 25.98, 22, 20.10 y 15.28 °C, respectivamente, lo que representa una reducción de la temperatura de 16.19%, 29.03%, 35.16% y 50.71%. Siendo así, esto es favorable para la construcción de edificaciones a climatizadas en lugares con temperaturas de extremo calor en verano o también se puede utilizar en la construcción de pavimentos, ya que evita que estos se calienten por el rozamiento del tránsito vehicular y, por ende, reduce la probabilidad de agrietamiento según argumenta Gamalth et al. (2017).

Figura 39

Temperatura en el Ambiente 2 de Cada Tipo de Estructura Construida con Concreto con Caucho Granular

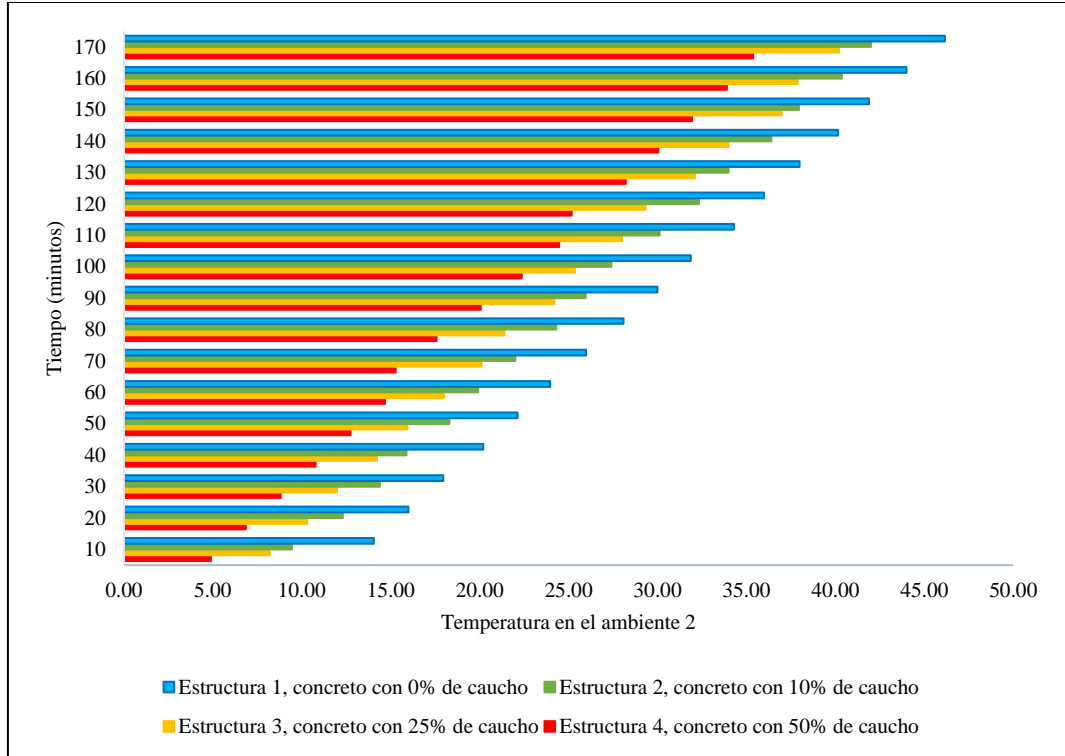


Figura 40

Temperaturas en Cada Tipo de Estructura Construida con Concreto con Caucho Granular

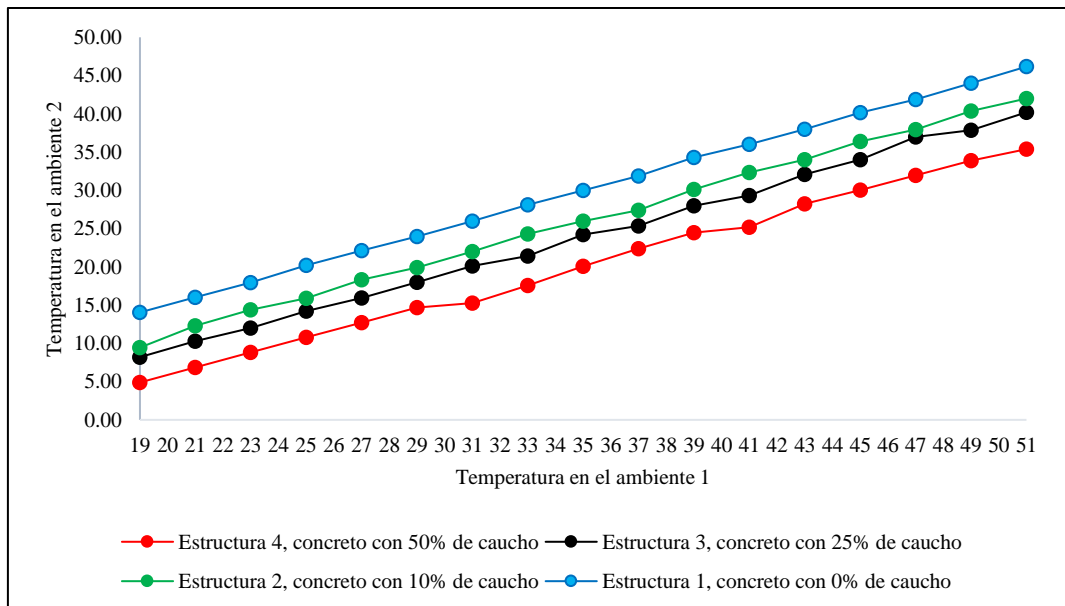


Figura 41

Temperaturas en la Estructura con Concreto con 0% de Caucho Granular

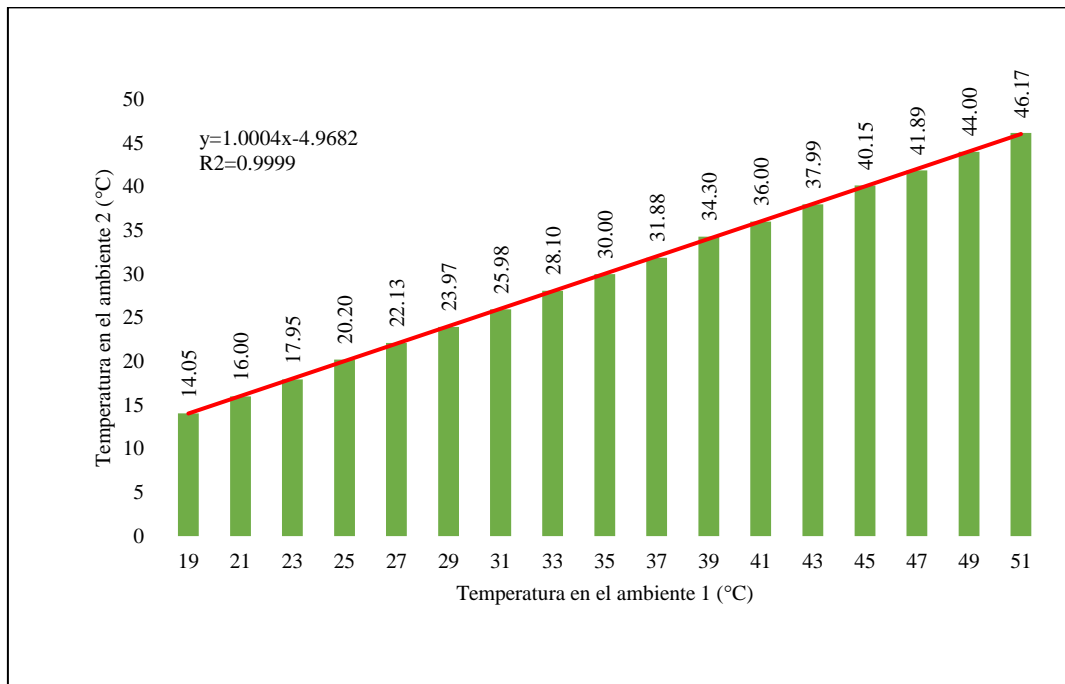


Figura 42

Temperaturas en la Estructura con Concreto con 10% de Caucho Granular

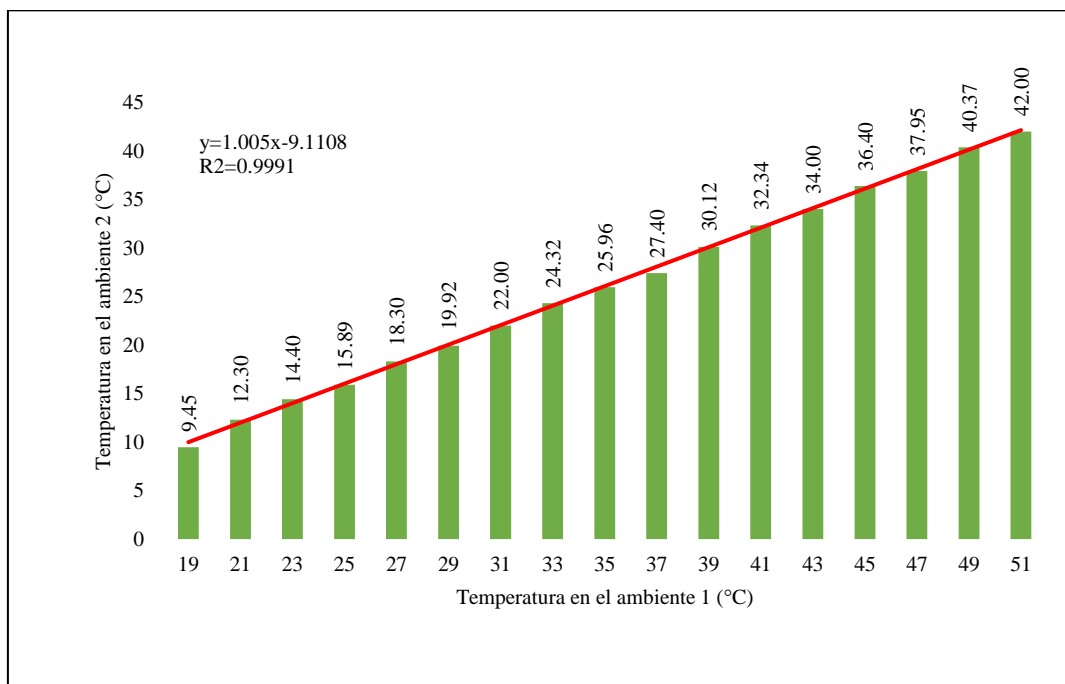


Figura 43

Temperaturas en la Estructura con Concreto con 25% de Caucho Granular

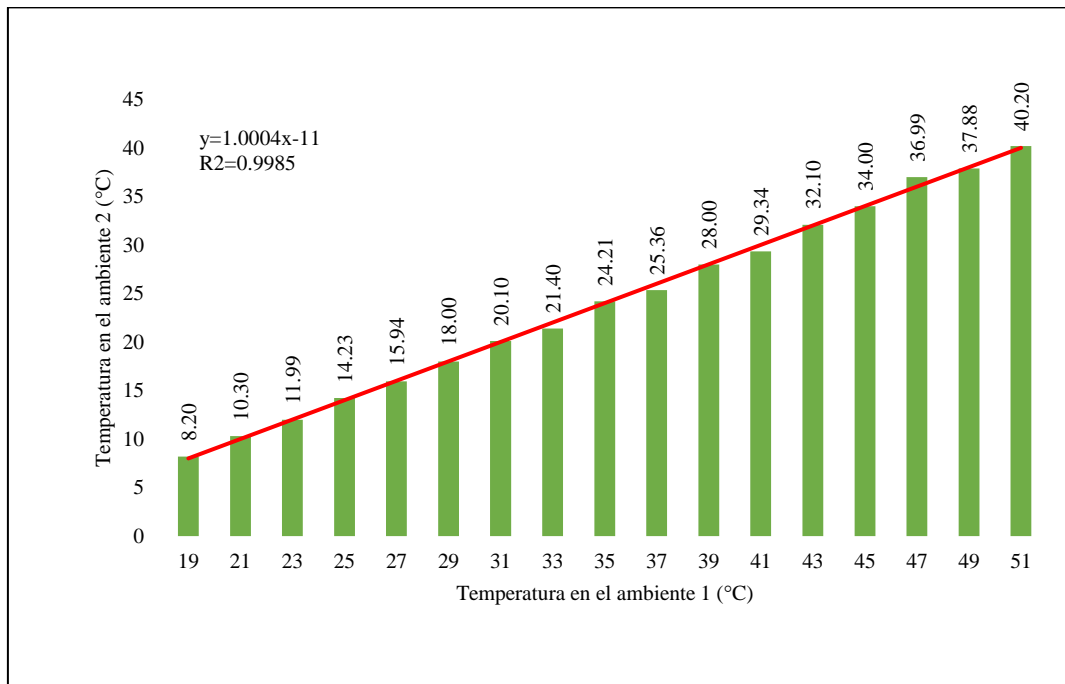


Figura 44

Temperatura en la Estructura con Concreto con 50% de Caucho Granular

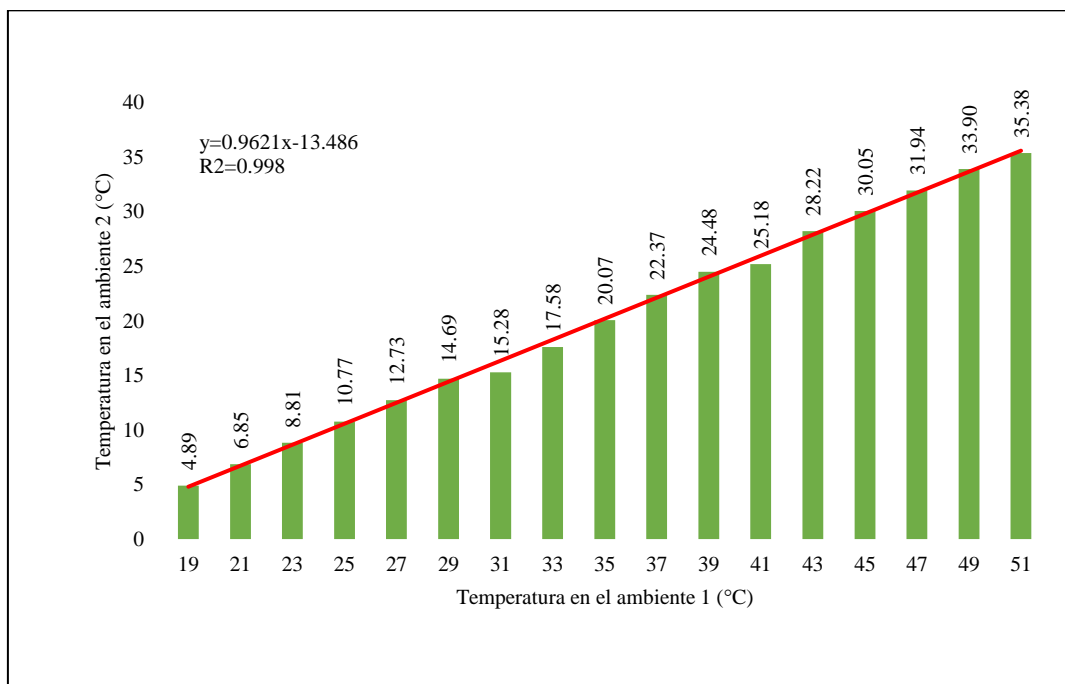


Tabla 25

Variación de la Temperatura del Ambiente 1 al Ambiente 2 de las Estructuras Construidas con Concreto con Caucho Granular

Temperatura (°C), ambiente 1	Temperatura (°C) en el ambiente 2, de las estructuras				Diferencia de temperatura entre el ambiente 1 y ambiente 2			
	Estructura 1, concreto con 0% de caucho	Estructura 2, concreto con 10% de caucho	Estructura 3, concreto con 25% de caucho	Estructura 4, concreto con 50% de caucho	Estructura 1, concreto con 0% de caucho	Estructura 2, concreto con 10% de caucho	Estructura 3, concreto con 25% de caucho	Estructura 4, concreto con 50% de caucho
19	14.05	9.45	8.20	4.89	26.05%	50.26%	56.84%	74.26%
21	16.00	12.30	10.30	6.85	23.81%	41.43%	50.95%	67.38%
23	17.95	14.40	11.99	8.81	21.96%	37.39%	47.87%	61.70%
25	20.20	15.89	14.23	10.77	19.20%	36.44%	43.08%	56.92%
27	22.13	18.30	15.94	12.73	18.04%	32.22%	40.96%	52.85%
29	23.97	19.92	18.00	14.69	17.34%	31.31%	37.93%	49.34%
31	25.98	22.00	20.10	15.28	16.19%	29.03%	35.16%	50.71%
33	28.10	24.32	21.40	17.58	14.85%	26.30%	35.15%	46.73%
35	30.00	25.96	24.21	20.07	14.29%	25.83%	30.83%	42.66%
37	31.88	27.40	25.36	22.37	13.84%	25.95%	31.46%	39.54%
39	34.30	30.12	28.00	24.48	12.05%	22.77%	28.21%	37.23%
41	36.00	32.34	29.34	25.18	12.20%	21.12%	28.44%	38.59%
43	37.99	34.00	32.10	28.22	11.65%	20.93%	25.35%	34.37%
45	40.15	36.40	34.00	30.05	10.78%	19.11%	24.44%	33.22%
47	41.89	37.95	36.99	31.94	10.87%	19.26%	21.30%	32.04%
49	44.00	40.37	37.88	33.90	10.20%	17.61%	22.69%	30.82%
51	46.17	42.00	40.20	35.38	9.47%	17.65%	21.18%	30.63%
Promedio					15.46%	27.92%	34.23%	45.82%

4.1.4.2. Propiedades acústicas del concreto ligero con caucho granular

El sonido aplicado en el ambiente 1 incrementa de manera proporcional al aumento de decibeles (Db), mientras que en el ambiente 2 la percepción del sonido es mucho menor debido a las paredes de concreto, aunque esta disminuye aún más en las estructuras con concreto con caucho granular.

El sonido en un ambiente cuyas paredes están construidas con concreto con caucho granular es mucho menor debido a las propiedades absorbentes del caucho en cotejo con el concreto base. El caucho granular actúa como un material absorbente de sonido, disipando la energía de las ondas sonoras y reduciendo la reverberación en el ambiente. Las estructuras de concreto con 0%, 10%, 25% y 50% de caucho granular reducen el sonido en el ambiente 2 en promedio en 7.09%, 11.49%, 17.08% y 34.08%, respectivamente. Esto indica que a medida que se aumenta la proporción de caucho granular en el concreto, se logra una mayor reducción del sonido.

Según Muñoz (2021), el caucho granular presenta una alta capacidad de absorción acústica, lo que lo hace ideal para la construcción de paredes en ambientes donde se busca reducir el nivel de ruido. Por otro lado, el concreto convencional tiene una mayor capacidad de transmisión de sonido, ya que es un material más denso y rígido que refleja más fácilmente las ondas sonoras.

El estudio de Mushunje et al. (2018) sugiere que la absorción acústica mejorada en el concreto con caucho granular se debe principalmente al aumento de los vacíos de aire en la mezcla. El caucho granular actúa como un material poroso que permite que el sonido se disperse y se absorba más fácilmente en comparación con el concreto convencional.

Por otro lado, Wang & Du (2020) resaltan que factores como el tamaño de partícula del caucho granular, su composición química y la tasa de sustitución del agregado natural por caucho granular son fundamentales para el rendimiento acústico del concreto modificado. Un mayor tamaño de partícula puede contribuir a una mayor absorción acústica, mientras que una composición adecuada del caucho granular puede mejorar las propiedades de absorción del sonido. Además, la tasa de sustitución juega un papel importante en la eficacia del concreto modificado, ya que a mayor porcentaje de caucho granular en la mezcla la absorción acústica del concreto mejora significativamente.

Además, el caucho granular tiene la ventaja de ser más flexible que el concreto convencional, lo que ayuda a amortiguar las vibraciones y reducir la transmisión de ruido a través de las paredes. En cambio, el concreto convencional es más rígido y transmite con mayor facilidad el sonido a través de su estructura.

En este sentido, el uso de concreto con caucho granular en la construcción de paredes proporciona una mayor capacidad de aislamiento acústico en comparación con el concreto convencional, lo que resulta en un ambiente con un menor nivel de ruido. Esta diferencia se debe a las propiedades absorbentes y flexibles del caucho granular, que ayudan a reducir la transmisión de sonido a través de las paredes.

Por tanto, el concreto con caucho granular se presenta como una solución efectiva para absorber la energía del sonido, impacto y vibraciones, siendo utilizado actualmente en la construcción de carreteras, muros, rompe muelles, pistas, entre otros, con el objetivo de reducir la contaminación sonora producida por el tráfico vehicular. Por lo tanto, estos resultados respaldan la utilidad y eficacia del concreto con caucho granular en la mitigación del ruido ambiental.

Figura 45

Sonido en el Ambiente 2 de Cada Tipo de Estructura Construida con Concreto con Caucho Granular

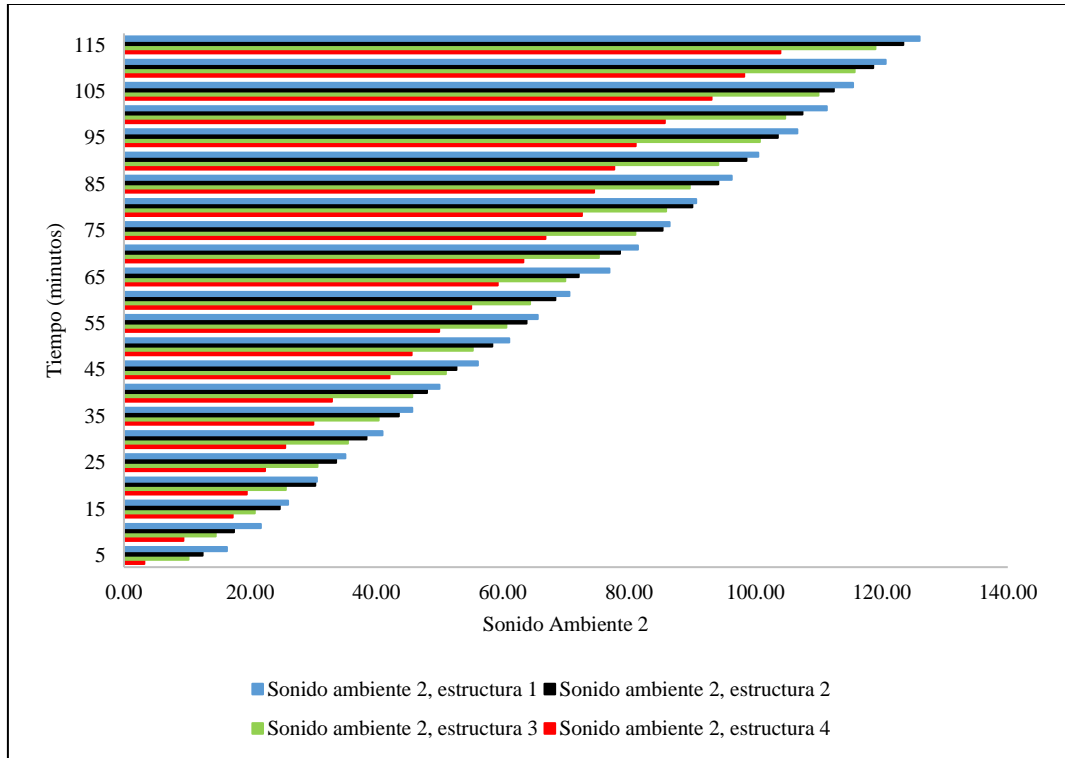


Figura 46

Sonido en Cada Tipo de Estructura Construida con Concreto con Caucho Granular

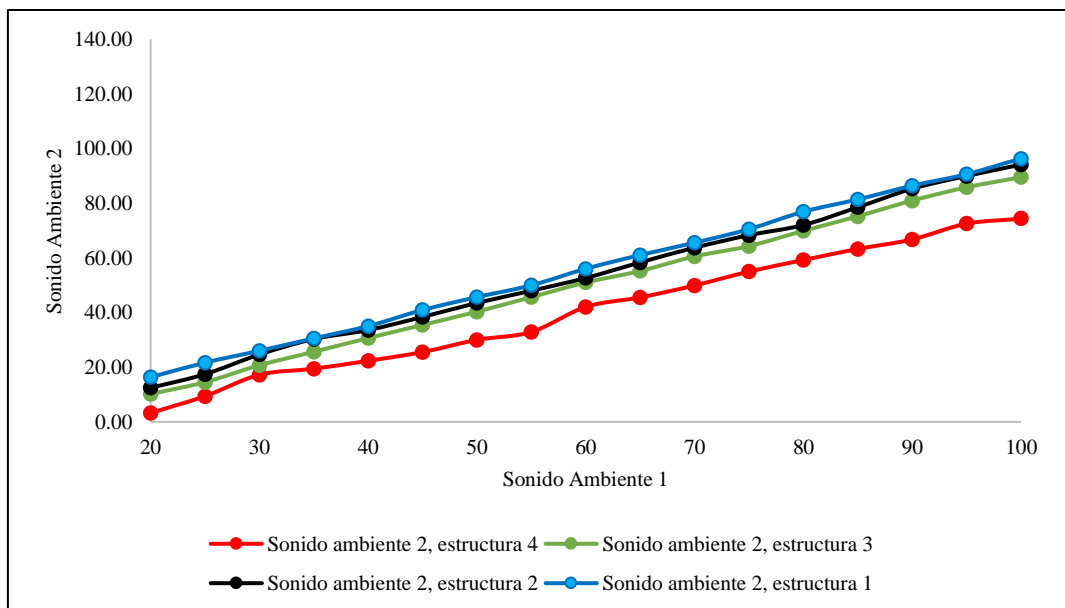


Figura 47

Sonido en la Estructura con Concreto con 0% de Caucho Granular

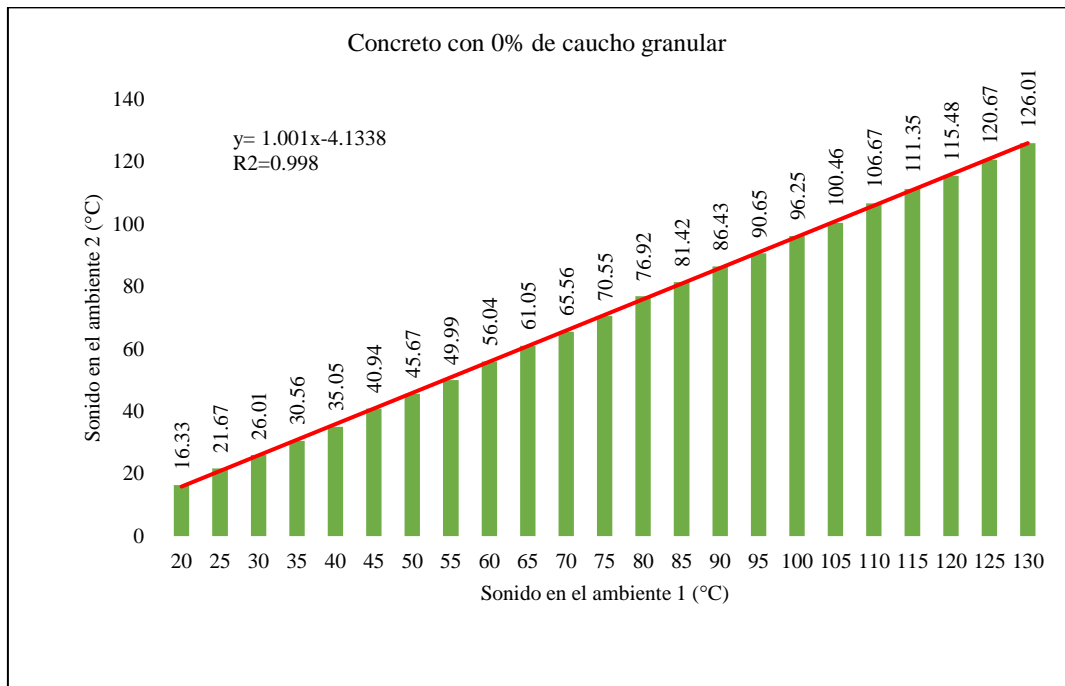


Figura 48

Sonido en la Estructura con Concreto con 10% de Caucho Granular

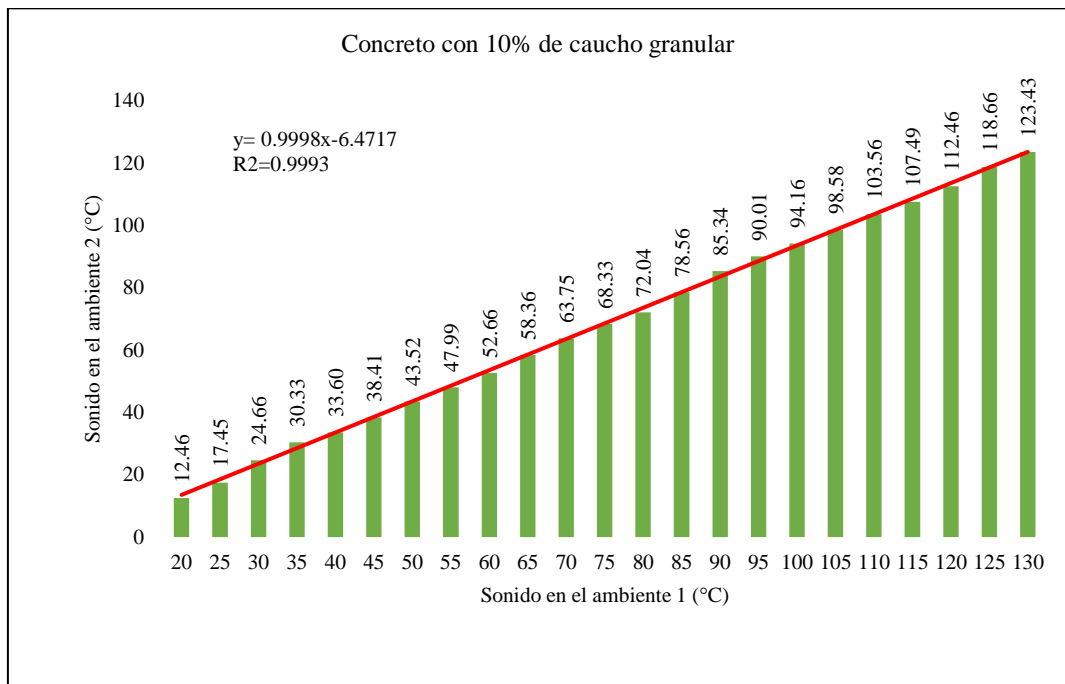


Figura 49

Sonido en la Estructura con Concreto con 25% de Caucho Granular

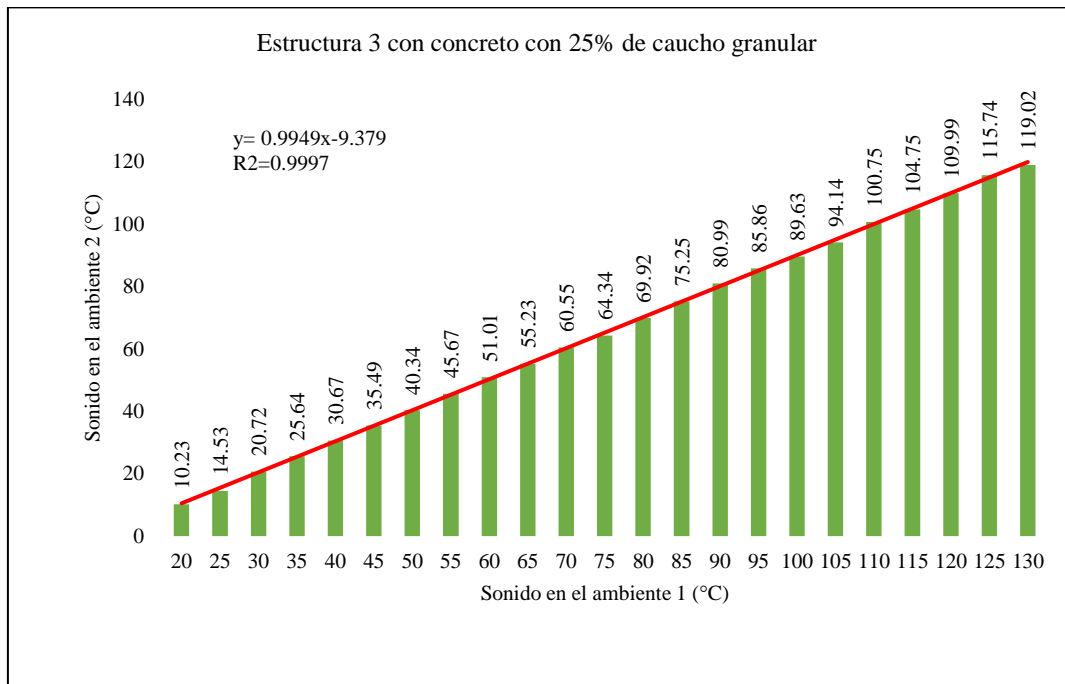


Figura 50

Sonido en la Estructura con Concreto con 50% de Caucho Granular

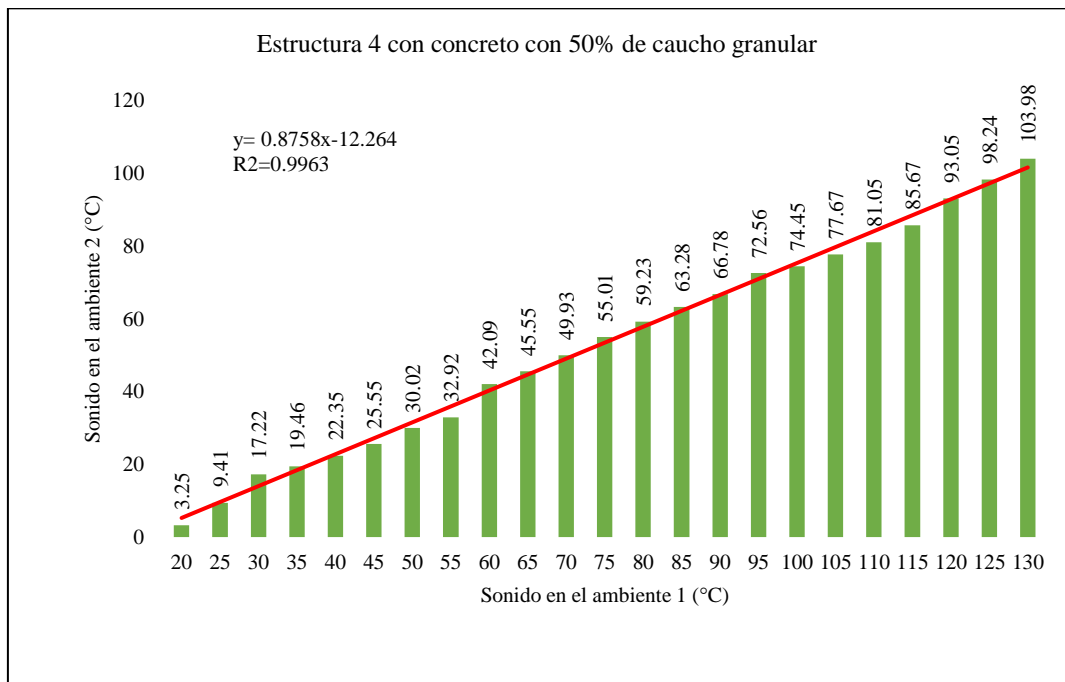


Tabla 26*Variación de Sonido del Ambiente 1 al Ambiente 2 de las Estructuras Construidas con Concreto con Caucho Granular*

Sonido (Db), ambiente 1	Sonido (Db) en el ambiente 2, de las estructuras				Diferencia de sonido (Db) entre el ambiente 1 y ambiente 2			
	Concreto con 0% de caucho	Concreto con 10% de caucho	Concreto con 25% de caucho	Concreto con 50% de caucho	Concreto con 0% de caucho	Concreto con 10% de caucho	Concreto con 25% de caucho	Concreto con 50% de caucho
20	16.33	12.46	10.23	3.25	18.35%	37.70%	48.85%	83.75%
25	21.67	17.45	14.53	9.41	13.32%	30.20%	41.88%	62.36%
30	26.01	24.66	20.72	17.22	13.30%	17.80%	30.93%	42.60%
35	30.56	30.33	25.64	19.46	12.69%	13.34%	26.74%	44.40%
40	35.05	33.60	30.67	22.35	12.38%	16.00%	23.33%	44.13%
45	40.94	38.41	35.49	25.55	9.02%	14.64%	21.13%	43.22%
50	45.67	43.52	40.34	30.02	8.66%	12.96%	19.32%	39.96%
55	49.99	47.99	45.67	32.92	9.11%	12.75%	16.96%	40.15%
60	56.04	52.66	51.01	42.09	6.60%	12.23%	14.98%	29.85%
65	61.05	58.36	55.23	45.55	6.08%	10.22%	15.03%	29.92%
70	65.56	63.75	60.55	49.93	6.34%	8.93%	13.50%	28.67%
75	70.55	68.33	64.34	55.01	5.93%	8.89%	14.21%	26.65%
80	76.92	72.04	69.92	59.23	3.85%	9.95%	12.60%	25.96%
85	81.42	78.56	75.25	63.28	4.21%	7.58%	11.47%	25.55%
90	86.43	85.34	80.99	66.78	3.97%	5.18%	10.01%	25.80%
95	90.65	90.01	85.86	72.56	4.58%	5.25%	9.62%	23.62%
100	96.25	94.16	89.63	74.45	3.75%	5.84%	10.37%	25.55%
105	100.46	98.58	94.14	77.67	4.32%	6.11%	10.34%	26.03%
110	106.67	103.56	100.75	81.05	3.03%	5.85%	8.41%	26.32%
115	111.35	107.49	104.75	85.67	3.17%	6.53%	8.91%	25.50%
120	115.48	112.46	109.99	93.05	3.77%	6.28%	8.34%	22.46%
125	120.67	118.66	115.74	98.24	3.46%	5.07%	7.41%	21.41%
130	126.01	123.43	119.02	103.98	3.07%	5.05%	8.45%	20.02%
Promedio					7.09%	11.49%	17.08%	34.08%

4.1.5. Comparación de las propiedades del concreto con caucho granular

El concreto tiene propiedades únicas que varían de acuerdo a los componentes que se utilizan para su producción (agregado fino, agregado grueso y caucho granular), siendo así, en la Tabla 26, se detallan las propiedades de la mezcla de concreto con caucho granular, previo a su endurecimiento, donde las características determinantes son la trabajabilidad y el peso unitario de la mezcla. También se presentan las propiedades físicas del concreto, tales como absorción y peso. Las propiedades mecánicas del concreto para asegurar que este cumpla con la resistencia a compresión de diseño ($f'c$). Y finalmente, se analizan las propiedades termoacústicas del concreto con caucho granular, en contraste con el concreto base sin caucho granular.

Tabla 27

Propiedades del Concreto con Caucho Granular

Propiedades del concreto		Dosificación de caucho granular			
		0%	10%	25%	50%
	Contenido de aire	1.43	1.51	1.55	1.72
Propiedades de la mezcla de concreto	Peso unitario del concreto fresco (kg/m ³)	2459.71	2320.75	2053.45	1863.02
	Temperatura (°C)	21.67	23.50	25.50	28.00
	Asentamiento (pulg)	3.51	3.14	2.79	2.58
	Absorción (%)	6.72	9.39	11.33	13.34
Propiedades físicas del concreto	Absorción máxima (%)	7.2	9.93	11.63	13.61
	Peso unitario del concreto endurecido (kg/m ³)	2485.49	2314.47	2227.93	2040.96
	Peso (kg)	13.18	12.27	11.81	10.82
Propiedades mecánicas	Resistencia a compresión (kg/cm ²)	261.29	257.23	171.80	73.76
	Resistencia a flexión (kg/cm ²)	6.16	5.25	4.38	3.19
Propiedades termoacústicas	Disminución de la temperatura en el ambiente 2 (%)	15.46%	27.92%	34.23%	45.82%
	Disminución del sonido en el ambiente 2 (%)	7.09%	11.49%	17.08%	34.08%

La trabajabilidad es una propiedad importante del concreto que se refiere a su facilidad para ser colocado y compactado. La presencia de caucho granular en la mezcla afecta negativamente la trabajabilidad debido a su capacidad de absorber agua, lo que reduce la plasticidad de la mezcla. A pesar de esto, la mezcla de concreto con caucho granular continúa estando dentro del rango plástico hasta un máximo de 25% de caucho granular.

La absorción del concreto se incrementa conforme se aumenta el porcentaje de caucho granular en la mezcla, esto se debe a que, el caucho granular es un agregado más poroso y, por ende, tiene mayor capacidad de absorción de agua que, los agregados convencionales, no obstante, la diferencia entre estos resultados no dista del concreto base (sin caucho granular). Así mismo, Estela & Vásquez (2020) resaltan que, el concreto con caucho granular no solo tiene mayor capacidad de retención del agua que, el concreto base, sino que también presenta mayor permeabilidad lo que facilita su aplicación en pavimentos.

El peso unitario del concreto se ve afectado por la densidad de sus componentes. El caucho granular, al ser menos denso que otros materiales utilizados en el concreto, como la grava o la arena, contribuye a una disminución en el peso unitario de la mezcla. Esto es beneficioso en aplicaciones donde se requiere concreto más ligero. Sin embargo, la única dosificación que presenta densidad in situ de concreto ligero, es la mezcla con 50% de caucho granular, mientras que las otras mezclas si bien presentan menor peso unitario que el concreto base, no alcanzan la categoría de concreto ligero de acuerdo al Instituto Americano del Concreto (ACI) 213R (ACI 213R, 2014).

La resistencia a compresión del concreto determina su capacidad para soportar cargas. Pero el caucho granular es menos resistente que otros agregados

utilizados en el concreto, lo que conlleva a una disminución en la resistencia a compresión a medida que se incrementa el porcentaje de caucho en la mezcla. Considerando el $f'c$ 175 kg/cm², solamente se puede utilizar hasta 25% de caucho granular en el concreto, y esto significa que su uso se limita a elementos no estructurales, aunque si solo se utiliza hasta 10% de caucho granular el concreto tienen un $f'c$ superior a 210 kg/cm², por lo que en ese caso se puede usar con fines estructurales, para columnas, vigas o losas de edificaciones. Siendo así, es importante evaluar las necesidades de resistencia de la estructura y considerar cómo el uso de caucho granular puede afectar esta propiedad.

El caucho es un material con propiedades aislantes tanto térmicas como acústicas. La presencia de caucho granular en el concreto mejora el aislamiento térmico y acústico de la estructura. Por lo tanto, a medida que aumenta el porcentaje de caucho en la mezcla, se observa una mayor reducción en la transmisión de calor y sonido a través del concreto. La temperatura se reduce casi a la mitad cuando se utilizan paredes con 50% de caucho granular, mientras que, el sonido se reduce en un 34.08%. Esto es beneficioso en aplicaciones donde se requiere un mayor aislamiento térmico y acústico.

En definitiva, la dosificación óptima de caucho granular en el concreto dependerá de las necesidades específicas de cada proyecto, considerando tanto las propiedades mecánicas como las propiedades termoacústicas requeridas. Pero en el caso del estudio se considera, la mezcla adecuada que maximiza los beneficios del caucho granular sin comprometer las propiedades fundamentales del concreto y logrando el uso del mayor porcentaje de caucho granular en la mezcla, al uso del 25% de caucho granular en el concreto.

Figura 51

Resistencia a Compresión del Concreto con Caucho Granular en Relación al $F'c$ de Diseño 175 kg/cm²

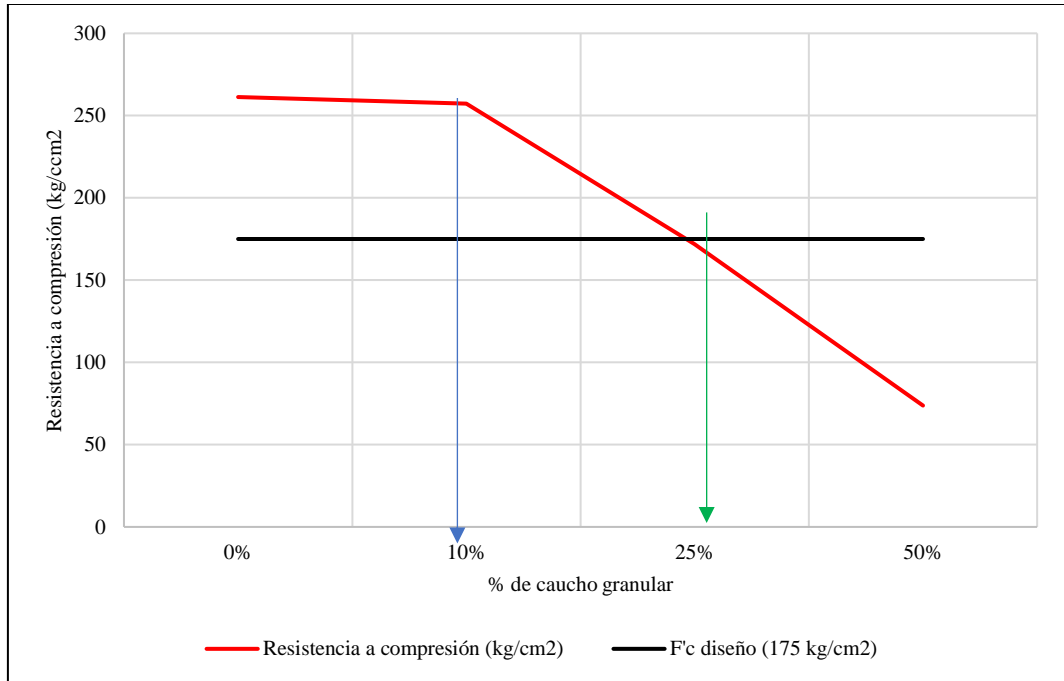


Figura 52

Peso Unitario del Concreto con Caucho Granular

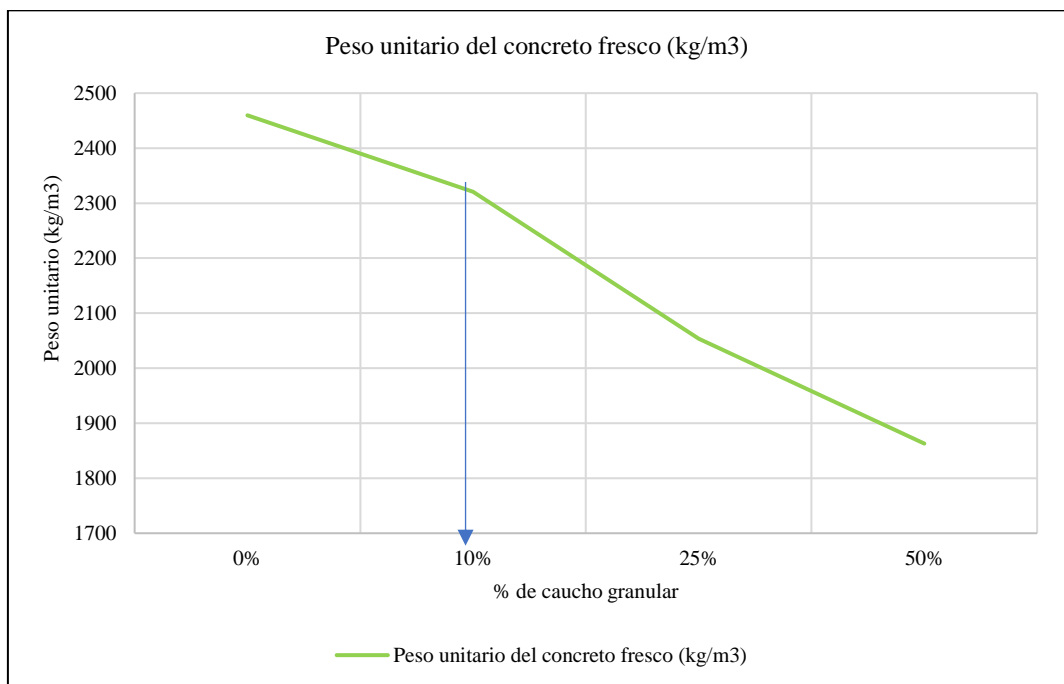


Figura 53

Absorción del Concreto con Caucho Granular

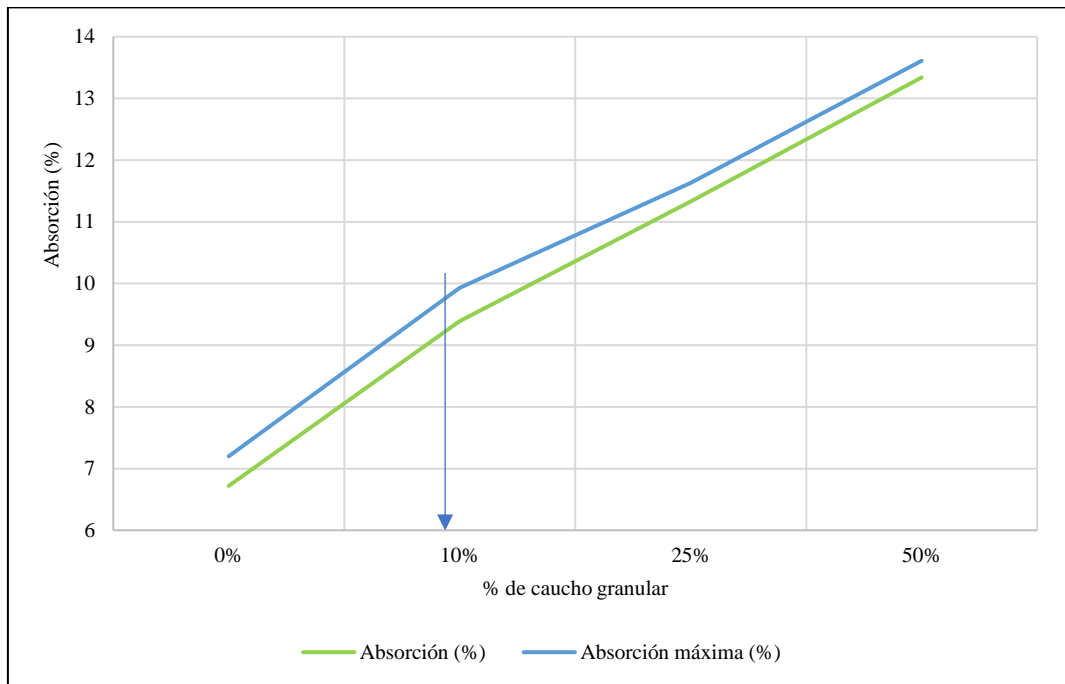


Figura 54

Asentamiento del Concreto con Caucho Granular

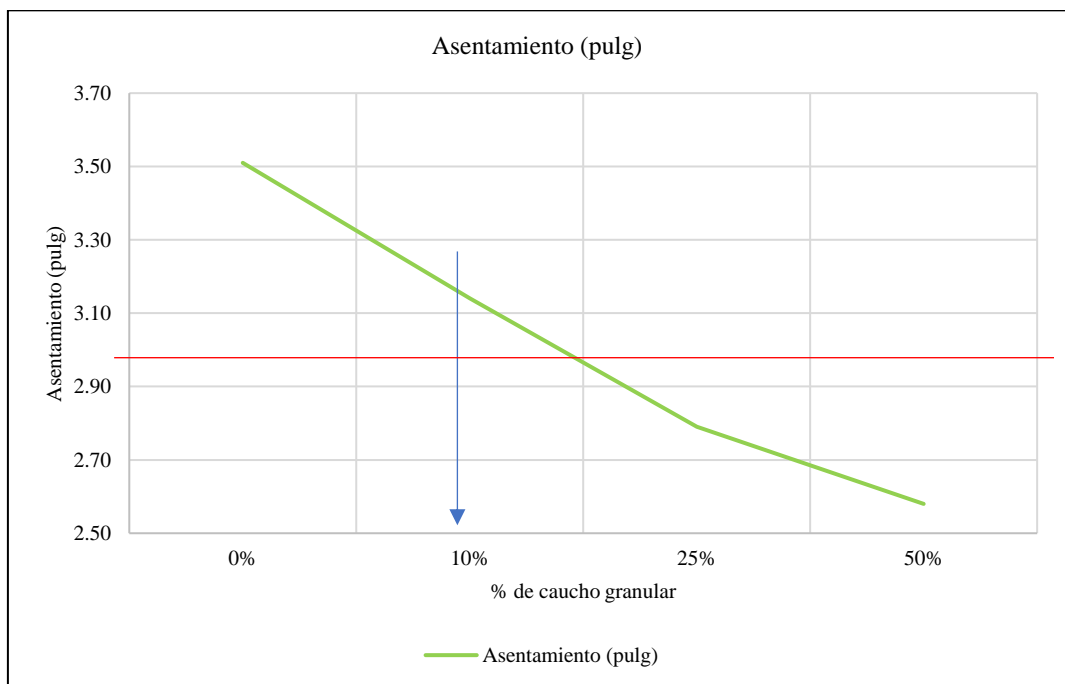


Figura 55

Capacidad de Aislamiento Térmico del Concreto con Caucho Granular

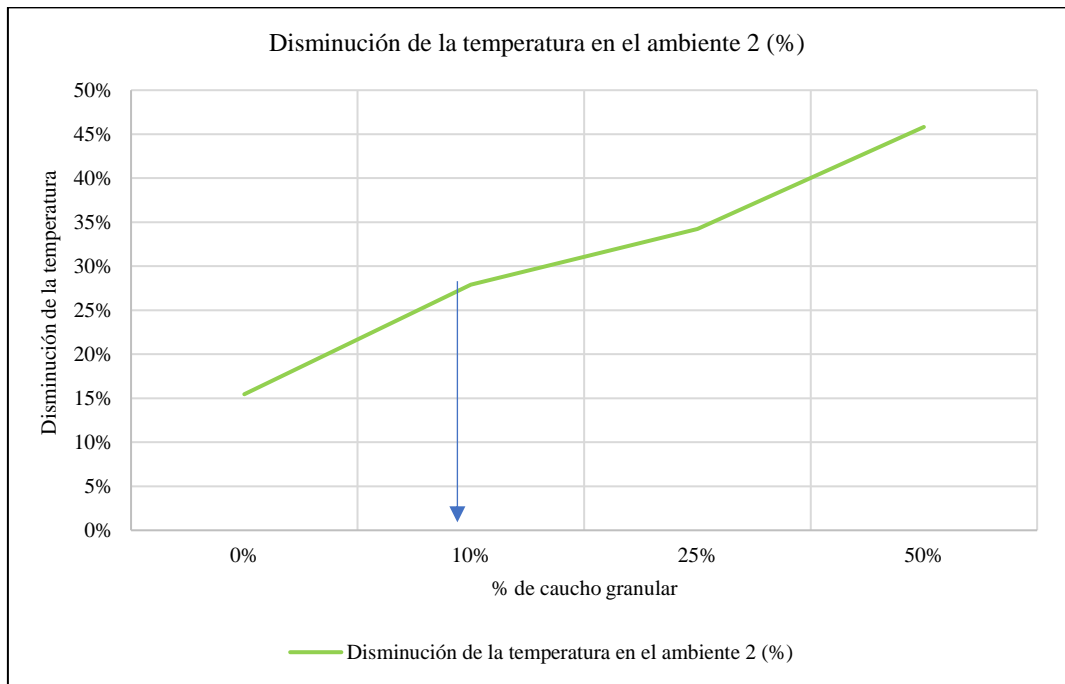
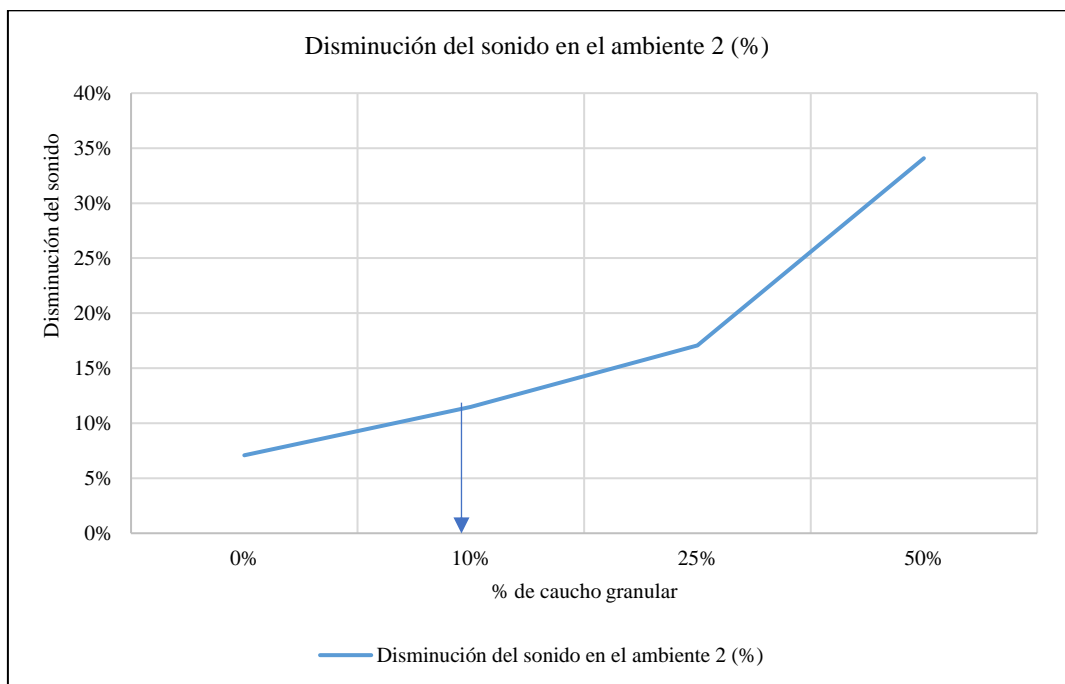


Figura 56

Capacidad de Aislamiento Acústico del Concreto con Caucho Granular



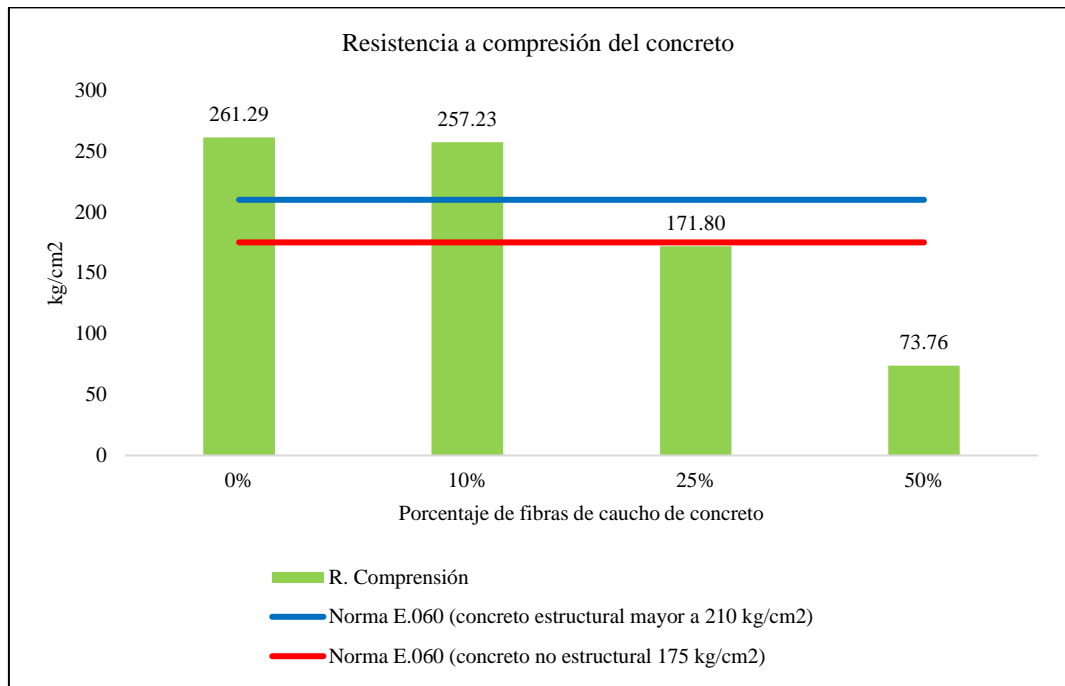
4.1.6. Verificación del cumplimiento de los requisitos de las normas y regulaciones nacionales e internacionales del concreto con caucho granular para su uso en aplicaciones específicas

Las normas y regulaciones nacionales se centran en la resistencia a compresión que debe tener el concreto para su uso en diferentes aplicaciones, siendo así, la norma E.060 (MVCS, 2009) argumenta que para uso estructural el concreto debe tener una resistencia superior al $f'c$ 210 kg/cm², mientras que, la norma E.070 (MVCS, 2006) de albañilería y bloques de concreto es más permisible, argumenta que los bloques portantes deben presentar una resistencia superior a 50 kg/cm² y los bloques no portantes deben tener resistencias a compresión superiores a 20 kg/cm², así mismo, para los ladrillos portantes sugiere resistencias superiores a 50, 70, 95, 130 y 180 kg/cm² de acuerdo a la clasificación como tipo I, II, III, IV o V. Otra norma, que presenta requisitos de resistencia es la norma CE.010 (MVCS, 2010) que sugiere que la compresión del concreto sea superior a 210 kg/cm² para pavimento rígido y superior a 280 kg/cm² para adoquines de concreto.

Siendo así, el concreto con caucho granular cumple con todas las normas nacionales, pero adquiere diferente resistencia según el porcentaje de caucho granular que contenga la mezcla, por tanto, si se contrasta con la norma E.060 (MVCS, 2009) para uso estructural, solo se podría utilizar concreto con 10% de caucho granular debido a que, presenta una resistencia a compresión superior a 210 kg/cm², lo que permite su aplicación específica en columnas, vigas y losas. Mientras que, los otros porcentajes se pueden utilizar en pisos, falsos pisos, paredes u otros usos en edificaciones.

Figura 57

Verificación de la Capacidad Mecánica del Concreto Según Norma E.060



El concreto con caucho granular también tiene aplicabilidad en unidades de albañilería. En todos los casos (10%, 25% y 50% de caucho granular) se puede utilizar como ladrillos portantes, con clasificación diferente, lo que, deja abierta la posibilidad de incorporar mayor cantidad de caucho granular a la mezcla de concreto para la elaboración de bloques no portantes (20 kg/cm²), mismos que, a la vez serían más livianos que los bloques de concreto convencionales. El concreto con 50% de caucho granular se puede utilizar para producir unidades de albañilería que se clasifiquen como ladrillo tipo II o como bloque portante. El concreto con 25% de caucho granular se puede utilizar para producir unidades de albañilería que se clasifiquen como ladrillo tipo IV, y el concreto con 10% de caucho granular produciría unidades de albañilería que se clasifiquen como ladrillo tipo V. Siendo así, se pueden utilizar en la construcción de muros portantes en edificaciones u otro tipo de obras que impliquen el uso de ladrillos.

Figura 58

Verificación de la Capacidad Mecánica del Concreto de Acuerdo a la Norma

E.070 para Bloques

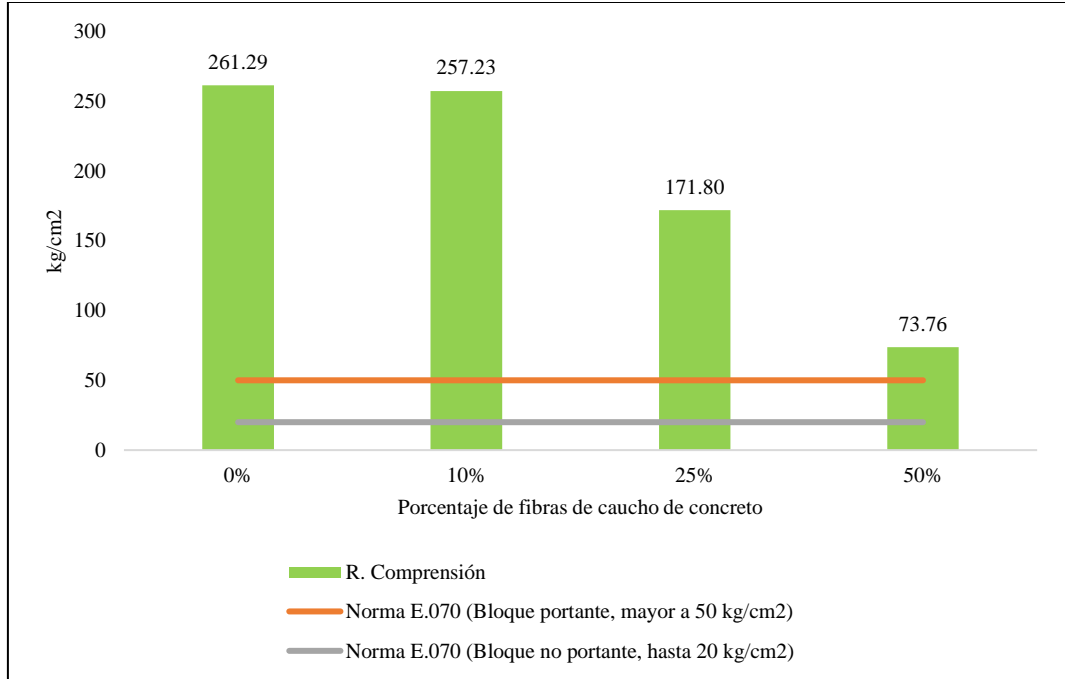
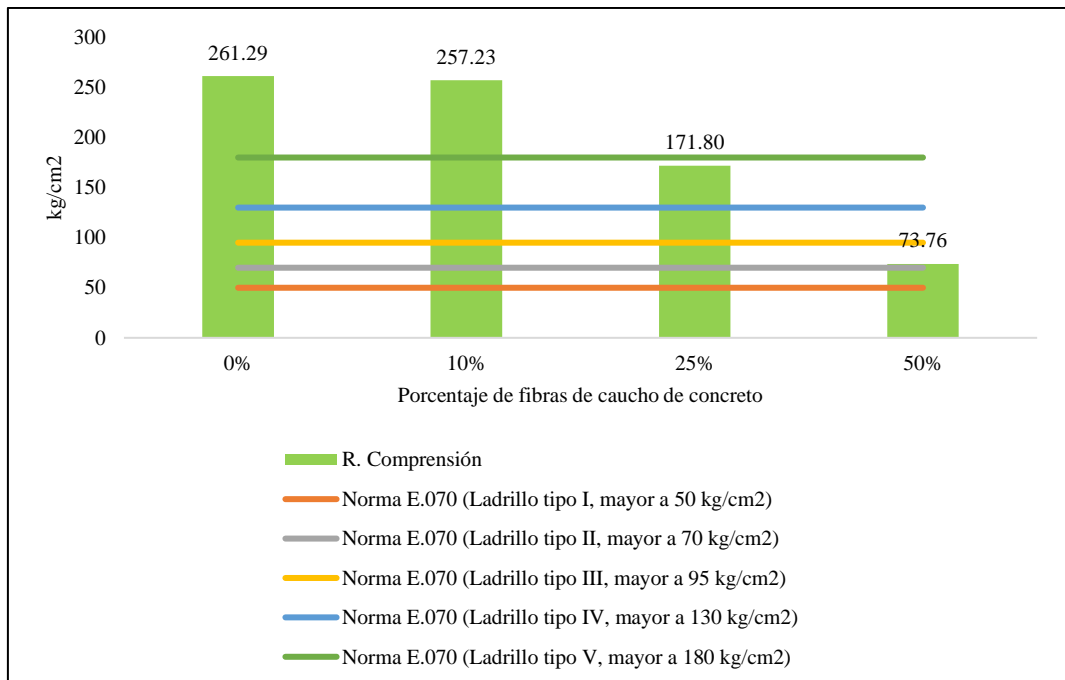


Figura 59

Verificación de la Capacidad Mecánica del Concreto de Acuerdo a la Norma

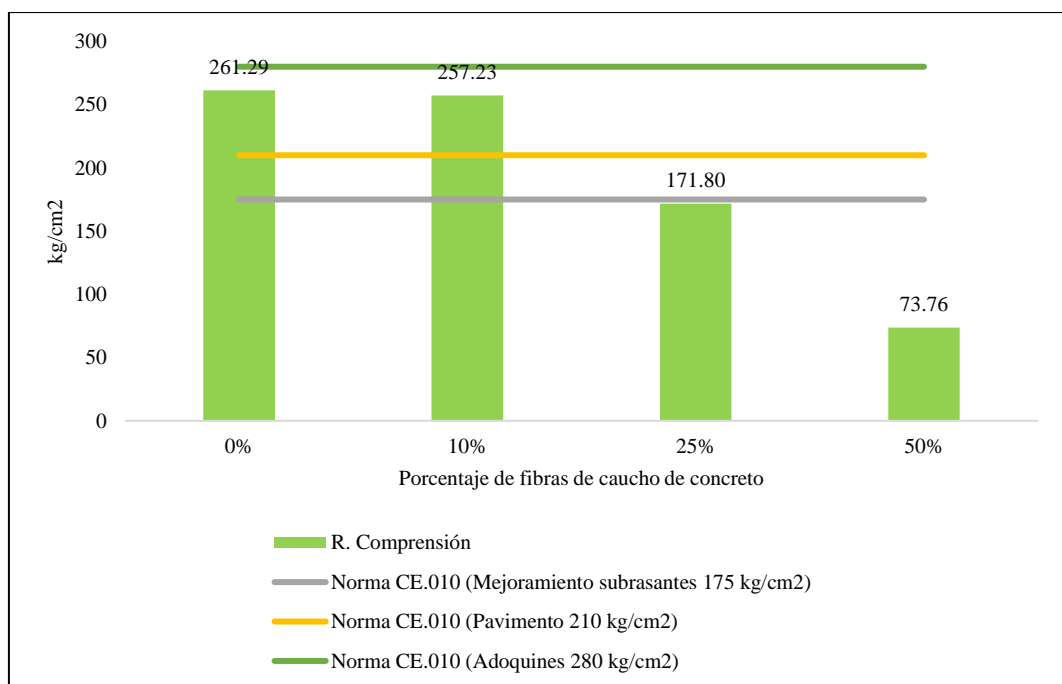
E.070 para Ladrillos



En cuanto a su aplicación en carreteras o calles, el concreto con 10% de caucho granular puede ser utilizado en la construcción de muros de contención, barreras de sonido o el pavimento rígido, porque presenta una resistencia a compresión superior a 210 kg/cm². Pero no tiene la capacidad de soporte para su aplicación en adoquines de concreto (280 kg/cm²), no obstante, esto también se debe a que, la mezcla fue diseñada para un concreto 175 kg/cm², probablemente si se hubiera diseñado para un mayor f'c se podría llegar a cumplir con esta resistencia, por lo que, se deja abierta la investigación en ese aspecto. Así mismo, cabe recalcar que las barreras de sonido aplicadas en carreteras con gran cantidad de flujo vehicular, no requieren altas resistencias ya que, tal como afirma Arenas (1996) su finalidad es reducir el ruido y el calor producido por el flujo vehicular, siendo así, en ese caso se sugiere el uso de concreto con 50% de caucho granular, debido a que, logra disminuir el ruido en 34.08% y la temperatura en 45.82%.

Figura 60

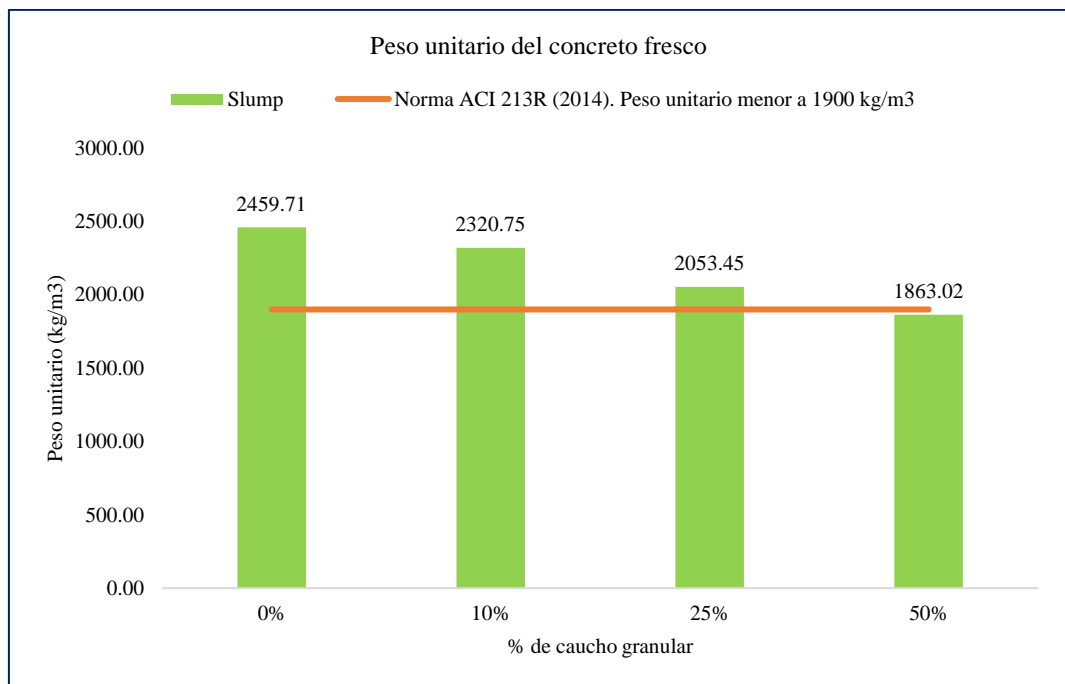
Verificación de la Capacidad Mecánica del Concreto de Acuerdo a la Norma CE.010 para Pavimentos



Respecto, a las normas internacionales el Instituto Americano del Concreto (ACI) 213R (ACI 213R, 2014) define que el concreto liviano tiene valores de densidad entre 1350 y 1900 kg/m³ y valores de resistencia a la compresión no menores a 17 MPa. Por tanto, solamente el concreto con 50% de caucho granular cumpliría con tales requisitos de peso unitario in situ, pero no cumple con la resistencia a compresión especificada; mientras que, el concreto con 25% de caucho granular solamente es 8.08% más pesado que, el límite dado por la norma internacional y cumple con la resistencia a compresión requerida por la normatividad, siendo así, se considera al concreto con 25% de caucho granular como la dosificación más adecuada para su aplicación en ingeniería civil, de acuerdo a la norma ACI 213R (2014).

Figura 61

Verificación del Peso Unitario del Concreto de Acuerdo a la Norma ACI 213R para Concreto Ligero



4.1.7. Posibles usos del concreto ligero con caucho granular en Chota

4.1.7.1. Usos generales del concreto ligero con caucho granular

El concreto ligero con caucho granulado es un material cada vez más utilizado en obras de ingeniería debido a sus propiedades y beneficios. Este tipo de concreto se produce mezclando cemento, agua, agregados y caucho granulado, que se obtiene a partir del reciclaje de neumáticos usados. Esta combinación permite obtener un material ligero, igual de resistente y duradero que el concreto convencional, con múltiples aplicaciones en la construcción.

Uno de los posibles usos del concreto ligero con caucho granulado en obras de ingeniería es en la construcción de carreteras y pavimentos. Gracias a su ligereza, este material reduce la carga sobre el terreno y disminuye el riesgo de hundimientos y deformaciones. Además, su elasticidad y resistencia a la abrasión lo hacen ideal para soportar el tráfico y las inclemencias del tiempo, prolongando la vida útil de la infraestructura vial.

Otra aplicación importante del concreto ligero con caucho granulado es en la construcción de edificaciones sismo-resistentes. Este material tiene la capacidad de absorber y disipar la energía sísmica, reduciendo la transmisión de las vibraciones y minimizando los daños estructurales en caso de un terremoto. Además, su ligereza facilita la construcción de edificios altos y reduce el peso de la estructura, lo que se traduce en un ahorro de materiales y costos de construcción.

Cuando se utiliza hasta un 10% de caucho granular en la mezcla, el concreto puede ser considerado como estructural, con una resistencia a la compresión de 210 kg/cm². Esto significa que puede ser utilizado en elementos

de construcción que requieran capacidad estructural, como columnas, vigas, losas, entre otros.

Por otro lado, cuando se utiliza 25% de caucho granular en la mezcla, el concreto se considera no estructural, con una resistencia a la compresión de 175 kg/cm². Este tipo de concreto ligero se utiliza en aplicaciones donde no se requiere capacidad estructural, como contrapisos, terrazas, rellenos de nivelación, cubiertas, prefabricados, entre otros. Además, al tener un peso más ligero, se utiliza como material aislante en paredes y techos.

Además de los beneficios estructurales, el concreto ligero con caucho granulado también contribuye al cuidado del medio ambiente. Al utilizar caucho reciclado en su composición, se reduce la cantidad de neumáticos desechados en los vertederos y se promueve la economía circular. Además, al ser un material ligero, se requiere menos energía para su transporte y manejo, lo disminuye la huella de carbono de la obra.

Tabla 28

Posibles Usos del Concreto con Caucho Granular para Aplicaciones

Específicas

Obra	Uso del concreto con caucho granular	Aplicaciones de uso
Edificaciones	Contrapisos	El uso de concreto con caucho granular en contrapisos ayuda a mejorar la absorción de sonido y la resistencia al impacto en las edificaciones.
	Terrazas	En las terrazas, el concreto con caucho granular se utiliza para reducir el ruido de impacto, proporcionando un ambiente más tranquilo y confortable.
	Prefabricados (paneles)	Al incorporar caucho granular en los paneles prefabricados de concreto, se logra mejorar la

Obra	Uso del concreto	
	con caucho granular	Aplicaciones de uso
Edificaciones		resistencia al fuego, reducir el peso de las estructuras y disminuir el impacto ambiental.
	Ladrillos no portantes	Ladrillos no portantes para pared que requieren más de 20 kg/cm ² , por lo que se puede utilizar hasta 50% de caucho granular.
	Ladrillos de techo	Estos ladrillos requieren menor resistencia a rotura y menor peso por lo que se puede utilizar caucho granular.
	Rellenos de nivelación	El uso de concreto con caucho granular en rellenos de nivelación ayuda a sustituir al agregado, reduciendo la degradación.
	Como concreto estructural para vigas, columnas y losas	Al emplear concreto con caucho granular en elementos estructurales, se logra aumentar la resistencia y durabilidad de la construcción, además de reducir su peso.
	Muros de contención	En los muros de contención, el concreto con caucho granular se usa para mejorar la resistencia a la abrasión y reducir el impacto ambiental, proporcionando una solución más sostenible.
Calles y carreteras	Capa de rodadura	En vías y pavimentos, el concreto con caucho granular se utiliza en la capa de rodadura para reducir el ruido de los vehículos y mejorar la durabilidad de la superficie de la carretera.
	Adoquines de concreto	Los adoquines de concreto con caucho granular ofrecen una mayor durabilidad y resistencia al desgaste, siendo una opción más sostenible para pavimentar aceras y espacios públicos.
	Barreras de contención	Al incorporar caucho granular en las barreras de contención, se logra absorber la energía de impacto de los vehículos, mejorando la seguridad vial en carreteras y autopistas.
	Veredas	En las veredas, el concreto con caucho granular se utiliza para mejorar la resistencia y durabilidad de las superficies peatonales, reduciendo el mantenimiento y proporcionando mayor confort a los peatones.

Uso del concreto		
Obra	con caucho granular	Aplicaciones de uso
Obras de drenaje y canalización	Muros de canalización Traviesas Obras de drenaje	Este tipo de concreto es ideal para la construcción de obras de drenaje y canalización, ya que su capacidad de absorber agua y resistir la erosión lo hace ideal para evitar inundaciones y mejorar la gestión del agua en la zona.
Acondicionamiento de áreas deportivas	Aceras Bordillos Canchas de deporte y atletismo	El concreto ligero con caucho granulado es una excelente opción para acondicionar áreas deportivas como canchas de baloncesto, tenis, fútbol, entre otras, ya que ofrece una superficie resiliente que reduce el impacto en las articulaciones y mejora el rendimiento de los deportistas.
Puentes	Superficie de rodadura	En puentes, el concreto con caucho granular se puede utilizar en la superficie de rodamiento para mejorar la resistencia a la abrasión, reducir el ruido de la circulación de vehículos y aumentar la adherencia, lo que contribuye a una mayor durabilidad y seguridad de la estructura.
Sistema de abastecimiento de agua potable y tratamiento del agua residual	Dados de concreto Unidades básicas de saneamiento	En un sistema de abastecimiento de agua y tratamiento del agua residual, el concreto con caucho granular puede ser utilizado en dados de concreto para proporcionar una mayor resistencia a impactos y vibraciones, mejorando así la estabilidad de las estructuras. También se puede utilizar en las unidades básicas de saneamiento para reducir el peso de las estructuras y aumentar su durabilidad.

Por tanto, el concreto ligero con caucho granulado es un material versátil y sustentable con múltiples aplicaciones en obras de ingeniería. Su ligereza, resistencia, elasticidad y capacidad de absorber energía sísmica lo convierten en una opción cada vez más atractiva para carreteras, pavimentos, edificaciones y otras estructuras. Su uso no solo mejora la calidad y durabilidad de las obras, sino que también contribuye al cuidado del medio ambiente y a la sostenibilidad del sector de la construcción.

4.1.7.2. Costo de producción del concreto con caucho granular

Utilizando los rendimientos dados por CAPECO (2006) se ha formulado el análisis de costos unitarios para la producción de 1 m³ de concreto con 0%, 10%, 25% y 50% de caucho granular (Anexo E – cálculo de costo unitario), teniendo en cuenta que el costo de adquisición de 1 kg de caucho granular en Lima es de 1.80 soles, pero incluyendo el transporte hacia la ciudad de Chota, el costo por Kg asciende a 2.50 soles (De acuerdo a la cotización y ficha técnica – Anexo F).

Se ha determinado que, el costo unitario del concreto se incrementa gradualmente al colocar caucho granular en la mezcla, siendo así, el concreto con 10%, 25% y 50% de caucho granular representa el 115.70%, 139.24% y 178.49% del costo del concreto convencional, que asciende a 330.69 soles.

Figura 62

Costo Unitario de 1 m³ de Concreto con Caucho Granular

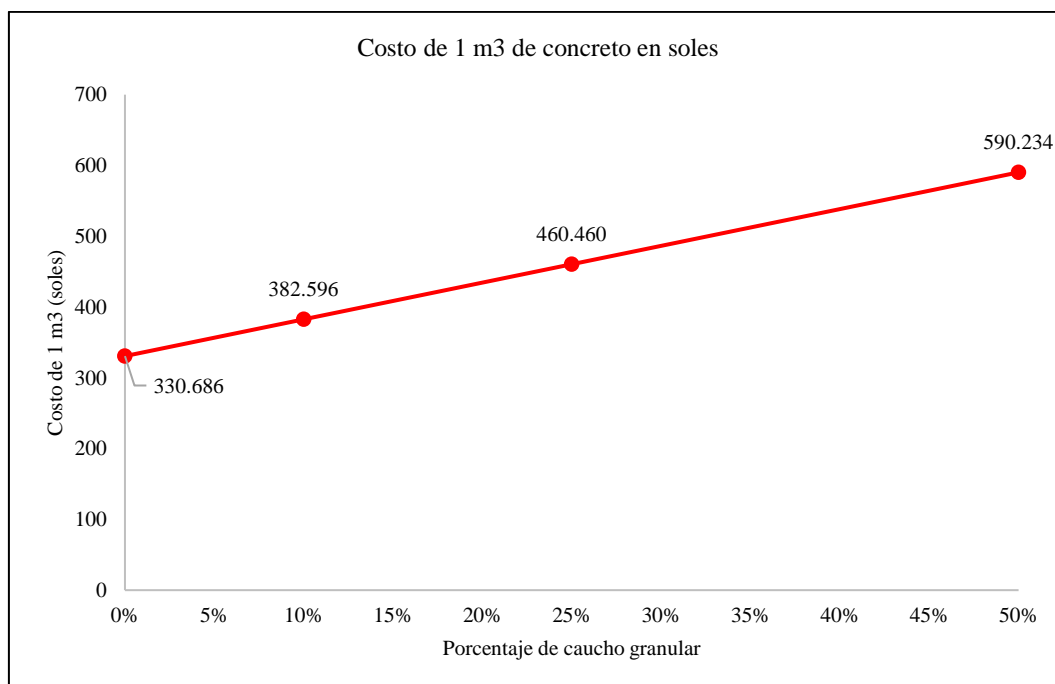


Tabla 29*Costo Unitario de 1 m³ de Concreto con Caucho Granular*

Porcentaje de caucho granular	Costo unitario de 1 m ³ de concreto (soles)	Costo de incremento (soles)
0%	330.686	0.000
10%	382.596	-51.910
25%	460.460	-77.864
50%	590.234	-129.774

4.1.7.3. Usos específicos que se le puede dar al concreto con caucho granular en la localidad de Chota de acuerdo a sus características técnicas y al costo económico

A pesar de este incremento sustancial de 52 soles en el costo unitario al utilizar concreto con 10% de caucho granular, esta podría ser una opción rentable para usos específicos donde se requiera concreto f'c 175 kg/cm² a nivel de la ciudad de Chota.

a) Uso como losa aligerada

Las losas aligeradas en edificaciones deben tener un menor peso unitario que, las losas macizas para ello se utiliza ladrillo hueco de techo, siendo el costo unitario por pieza de ladrillo colocada en la losa de 4.84 soles, de acuerdo al cálculo realizado utilizando el rendimiento, cuadrilla y cantidad de materiales dado en CAPECO (2006), como se detalla también en el Anexo E. Para 1 m² de losa aligerada de techo de 17 cm de espesor ingresan 12 ladrillos de techo de 15x30x30 cm, por lo que, considerando el costo unitario del concreto f'c 175 kg/cm² sin caucho granular (330.69 soles), el costo total sería 65.17 soles por m² de losa aligerada; mientras que, si en vez de utilizar ladrillo de techo se utilizará únicamente el concreto con 10% de caucho granular que notablemente tiene menor densidad (6.88% menos que, el concreto convencional), se tendría un costo

total de 65.04 soles por m² de losa aligerada. Siendo así, se demuestra que, a nivel local en la ciudad de Chota, el uso del concreto con 10% de caucho granular se puede utilizar rentablemente en la construcción de losas aligeradas de concreto f'c 175 kg/cm².

Tabla 30

Costo de 1 m² de Losa Aligerada de Techo con Ladrillo Hueco

Partida	Unidad	Metrado	Costo unitario	Parcial
Concreto	m ³	0.0215	330.69	7.11
Ladrillo	pza.	12	4.84	58.06
Costo				65.17

Tabla 31

Costo de 1 m² de Losa Aligerada de Techo con Concreto de 10% de Caucho

Granular

Partida	Unidad	Metrado	Costo unitario	Parcial
Concreto	m ³	0.17	382.60	65.04

b) Uso para producción de bloques portantes

Los ladrillos King Kong de 18 huecos de 23 x 12.5 x 9 cm tienen un costo de adquisición comercial de 0.99 soles, y una resistencia a compresión normada en la E.070 de 130 kg/cm², por tanto, el concreto producido con 10% de caucho granular f'c 175 kg/cm², tendría mayores beneficios técnicos, por un mismo costo, debido a que, el costo unitario de este tipo de concreto es de 382.60 soles por m³, pero por cada m³ de concreto se pueden fabricar 386 ladrillos de 23 x 12.5 x 9 cm, siendo así el costo de producción de cada ladrillo sería de 0.99 soles, siendo igual al costo de los ladrillos comerciales, pero con mayores beneficios técnicos.

Tabla 32

Cálculo del Costo de Producción de Ladrillos Portantes con Concreto con 10% de Caucho Granular

Los ladrillos portantes tienen dimensiones de 23x12.5x9 cm, siendo un volumen de 0.0026

Altura	9	0.0900
Largo	23	0.2300
Ancho	12.5	0.1250
Volumen		0.0026

Costo unitario del concreto con 10% de caucho granular	382.60	soles
Número de ladrillos que se elaboran con 1 m3 de concreto	386.5	ladrillos
	386	ladrillos

Costo unitario de 1 ladrillo de concreto con 10% de caucho granular	0.99	soles
---	------	-------

c) Barreras de contención o muros aislantes del sonido

La recomendación del uso del concreto con 10% de caucho granular para usos específicos en barreras de contención o para muros aislantes del sonido, no se da porque vaya a ser económicamente más factible ya que, como se ha demostrado en el cálculo económico en el ítem 4.1.7.2. el costo de producción por m3 es 52 soles más caro que, el concreto convencional, pero se recomienda por los beneficios termoacústicos que no tiene el tipo de concreto convencional, llegando a reducir la percepción del sonido hasta en 11.47%, lo que, se traduce en beneficios para la población sobre todo en áreas con gran tránsito vehicular.

d) Canchas de deporte y atletismo

Tal como, el ítem anterior el uso en este tipo de obras implica un costo de 52 soles más por m3 de concreto, pero tiene mayores beneficios técnicos que el concreto convencional por el confort para la realización de actividades deportivas.

4.2. Contrastación de hipótesis

a) Generalidades

El análisis estadístico de los datos recolectados en la tesis se llevó a cabo utilizando el software Minitab 22. La hipótesis alternativa (H1) planteada fue que el caucho granular influye en las propiedades físicas, mecánicas y termoacústicas del concreto ligero en Chota.

El criterio para el contraste estadístico es que, se acepta la hipótesis nula (H₀) cuando el valor p es mayor a 0.05 (nivel de significancia), para un nivel de confianza del 95%, pero se acepta H1 cuando el valor p es menor a 0.05.

Para analizar el caucho granular en las diferentes propiedades del concreto, se compararon los resultados obtenidos para diferentes porcentajes de caucho granular (0%, 10%, 25% y 50%). Se realizaron análisis descriptivos para cada propiedad, incluyendo medidas de tendencia central, dispersión y gráficos para visualizar la distribución de los datos, mismos que se pueden observar en el acápite 4.1.

b) Verificación de la normalidad de los datos

En una prueba de normalidad, si el valor p es mayor a 0.05, los datos siguen una distribución normal. De acuerdo con las gráficas, en todos los casos el valor p es mayor al nivel de significancia, por lo tanto, se concluye que los datos analizados en el estudio siguen una distribución normal.

c) ANOVA

Posteriormente, luego de verificar la tendencia normal de los datos (tal como se puede observar en las respectivas figuras que demuestran que los datos siguen una tendencia normal), se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) para determinar si existían diferencias significativas entre los diferentes

porcentajes de caucho granular en cada propiedad del concreto. Esto permitió identificar que, las variaciones observadas en las propiedades del concreto eran atribuibles al caucho granular, porque en todos los casos el valor p era menor a 0.05.

d) T-student

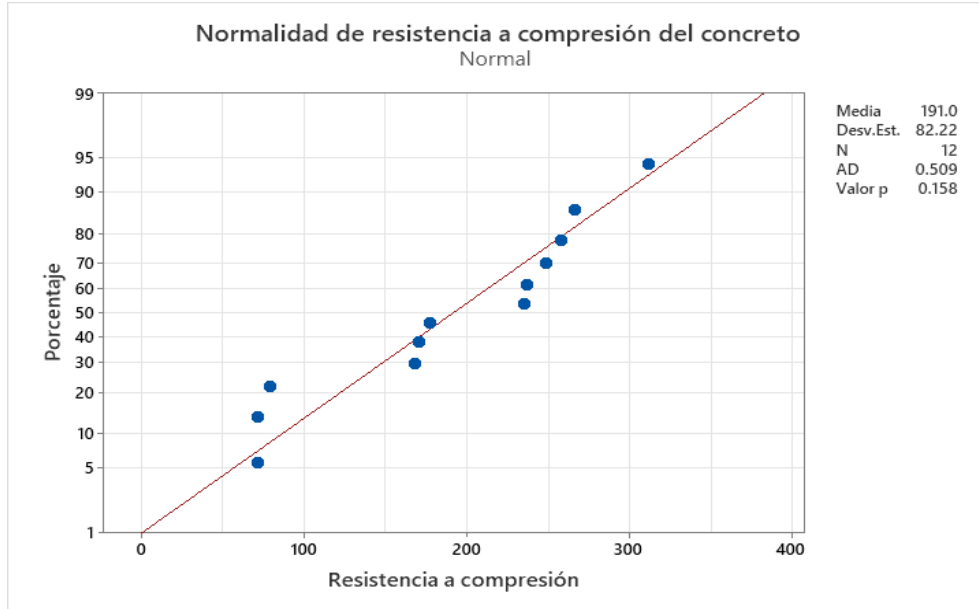
Así mismo, se verificó que, el concreto con caucho granular cumpla con las propiedades de un concreto ligero de acuerdo a la norma ACI 213R (2014) por medio de la prueba t-student para cada uno de los porcentajes de remplazo del agregado grueso por caucho granular. Determinando que, el peso unitario in situ es menor que 2,000 kg/cm² para el concreto con 50% de caucho granular, debido a que, el valor p es menor a 0.05, mientras que, en el resto de caso es 1.000, a excepción del concreto con 25% de caucho granular que se acerca al peso unitario in situ de un concreto ligero. Respecto a la resistencia a compresión el concreto con 50% de caucho granular no cumple con superar el f'_c reglamentario 17 MPa, mientras que, las otras dosificaciones si cumplen con dicha resistencia mecánica a compresión, por lo tanto, la dosificación que cumple con ambos criterios es el concreto con 25% de caucho granular.

e) Análisis de regresión

Finalmente, se realizaron análisis de regresión para explorar posibles relaciones entre el porcentaje de caucho granular y las propiedades del concreto, lo que permitió obtener modelos predictivos para entender mejor la relación entre estas variables.

Figura 63

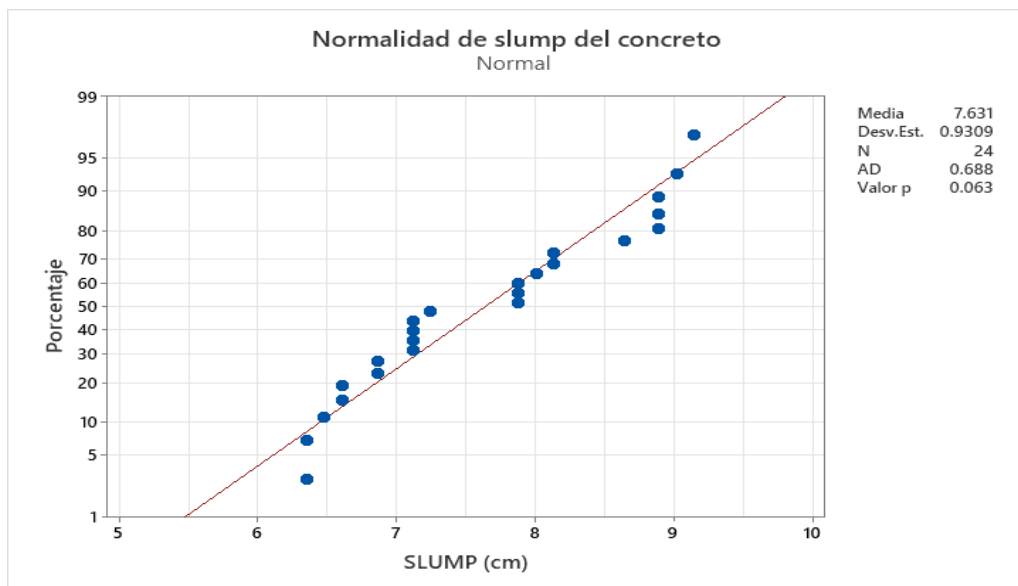
Prueba de Normalidad de la Resistencia a Compresión del Concreto con Caucho Granular



Nota: Si el valor p es mayor a 0.05, los datos siguen una tendencia normal, por ende, se concluye que, esta propiedad tiene tendencia normal.

Figura 64

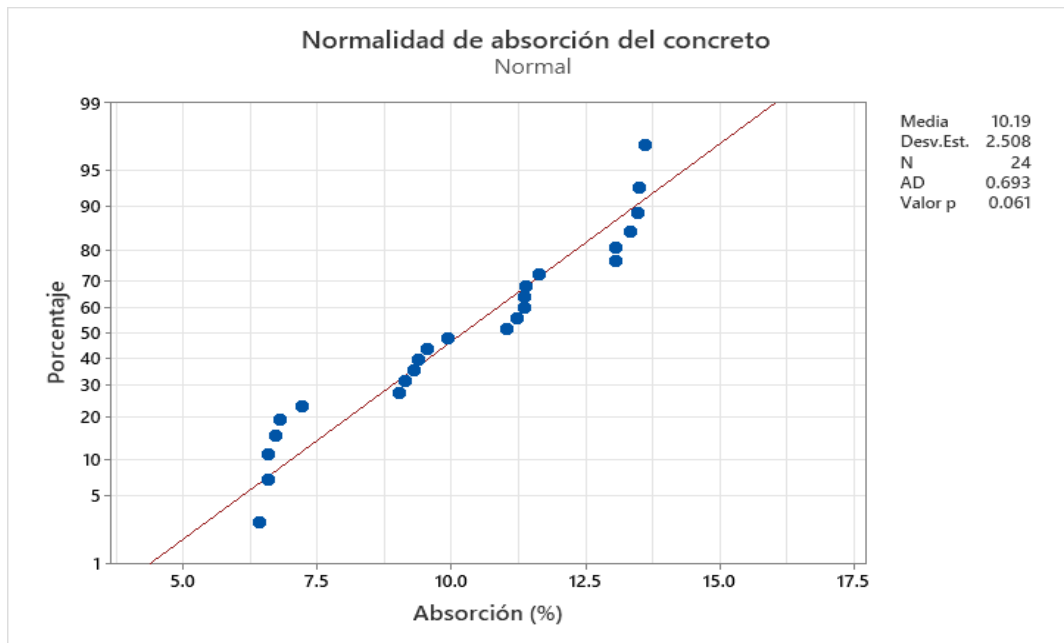
Prueba de Normalidad del Asentamiento del Concreto con Caucho Granular



Nota: Si el valor p es mayor a 0.05, los datos siguen una tendencia normal, por ende, se concluye que, esta propiedad tiene tendencia normal.

Figura 65

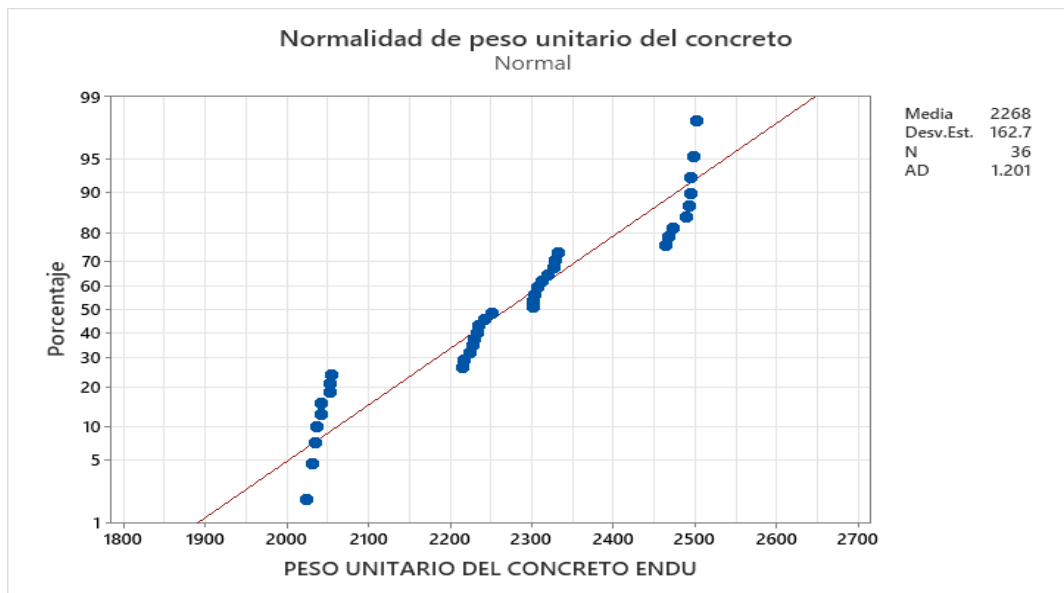
Prueba de Normalidad de la Absorción del Concreto con Caucho Granular



Nota: Si el valor p es mayor a 0.05, los datos siguen una tendencia normal, por ende, se concluye que, esta propiedad tiene tendencia normal.

Figura 66

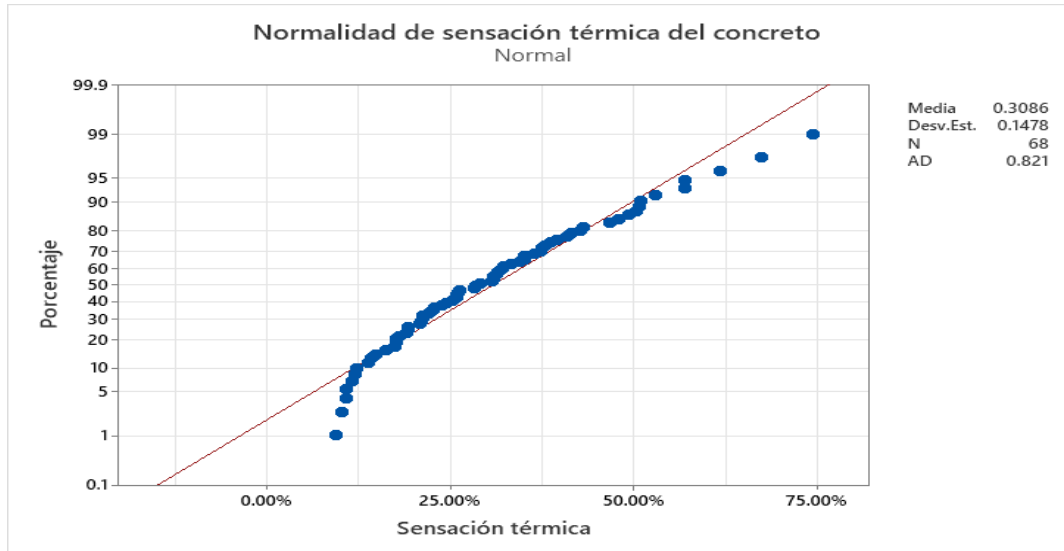
Prueba de Normalidad del Peso Unitario del Concreto con Caucho Granular



Nota: Si el valor p es mayor a 0.05, los datos siguen una tendencia normal, por ende, se concluye que, esta propiedad tiene tendencia normal.

Figura 67

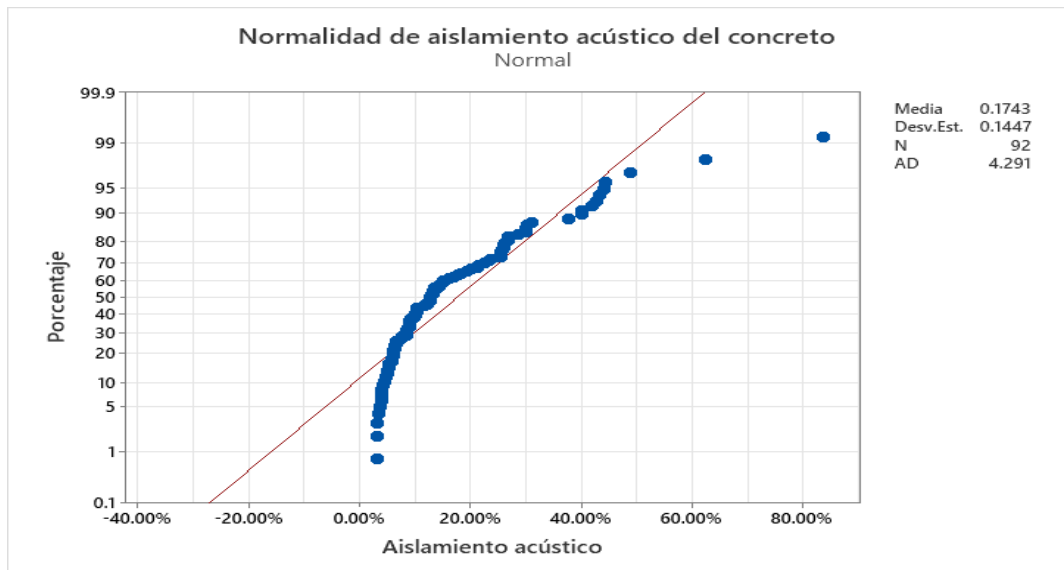
Prueba de Normalidad de la Sensación Térmica del Concreto con Caucho Granular



Nota: Si el valor p es mayor a 0.05, los datos siguen una tendencia normal, por ende, se concluye que, esta propiedad tiene tendencia normal.

Figura 68

Prueba de Normalidad del Aislamiento Acústico del Concreto con Caucho Granular



Nota: Si el valor p es mayor a 0.05, los datos siguen una tendencia normal, por ende, se concluye que, esta propiedad tiene tendencia normal.

Tabla 33

Análisis ANOVA Modelo Lineal General para las Propiedades Físicas, Mecánicas y Termoacústicas del Concreto con Caucho Granular

Ho: No hay diferencia significativa en las mediciones de las propiedades físicas, mecánicas y termoacústicas del concreto de acuerdo al porcentaje de caucho granular.

H1: Si hay diferencia significativa en las mediciones de las propiedades físicas, mecánicas y termoacústicas del concreto de acuerdo al porcentaje de caucho granular.

Propiedad	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Contenido de aire	3	0.000014	0.0000005	347.06	0.000
Peso unitario fresco	3	1925437	641815	4042.19	0.000
Temperatura	3	133.00	44.3333	48.36	0.000
Asentamiento (slump)	3	3.01458	1.00486	267.96	0.000
Absorción	3	143.341	47.7802	698.08	0.000
Peso	3	25.90730	8.63577	2118.82	0.000
Peso unitario endurecido	3	921796	207265	2118.85	0.000
Resistencia a compresión	3	70324	23441.4	46.46	0.000
Resistencia a flexión	3	14.4255	4.80850	48085.00	0.000
Sensación térmica	3	0.8178	0.2762	26.98	0.000
Aislamiento acústico	3	0.9652	0.32173	30.14	0.000

Nota: Valor p menor a 0.05 se acepta la hipótesis alternativa, y valor p mayor a 0.05 se acepta a 0.05.

Tabla 34

Análisis t-studen para el Peso Unitario In Situ del Concreto con Caucho Granular

Ho: El concreto con caucho granular tiene peso unitario mayor a 2,000 kg/m³.

H1: El concreto con caucho granular tiene peso unitario menor a 2,000 kg/m³.

Porcentaje de caucho granular (%)	Valor T	Valor p
0%	90.17	1.000
10%	80.16	1.000
25%	13.21	0.055
50%	-41.36	0.000

Tabla 35

Análisis t-student para la Resistencia a Compresión del Concreto con Caucho Granular

Ho: El concreto con caucho granular tiene resistencia a compresión menor a 170 kg/cm².

H1: El concreto con caucho granular tiene resistencia a compresión mayor a 170 kg/cm².

Porcentaje de caucho granular (%)	Valor T	Valor p
0%	3.63	0.034
10%	17.08	0.002
25%	0.65	0.0290
50%	-38.39	1.000

El único porcentaje que se encuentra cerca del peso unitario in situ de un concreto ligero y cumple con la resistencia a compresión de la norma ACI 213R (2014) es el concreto con 25% de caucho granular.

Figura 69

Regresión Lineal del Peso Unitario del Concreto con Caucho Granular

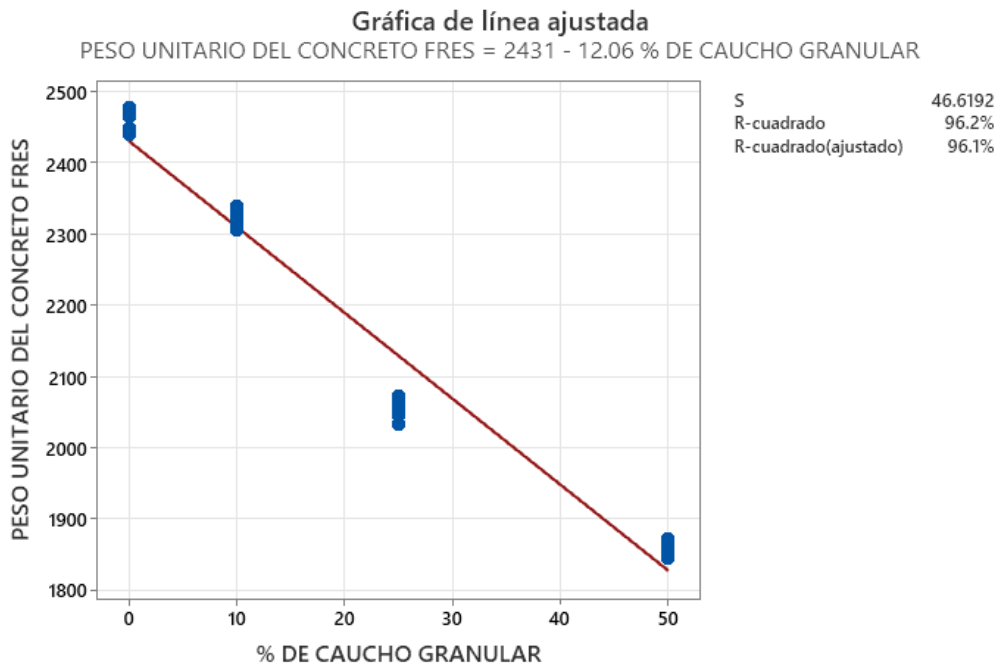


Figura 70

Regresión Lineal de la Absorción del Concreto con Caucho Granular

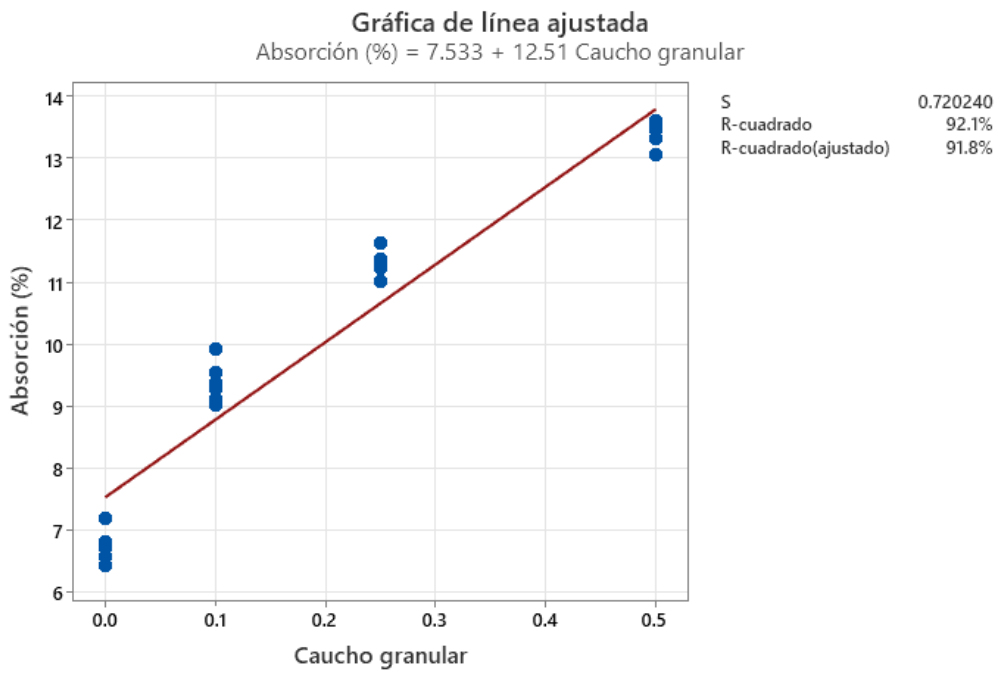


Figura 71

Regresión Lineal del Asentamiento (Slump) del Concreto con Caucho Granular

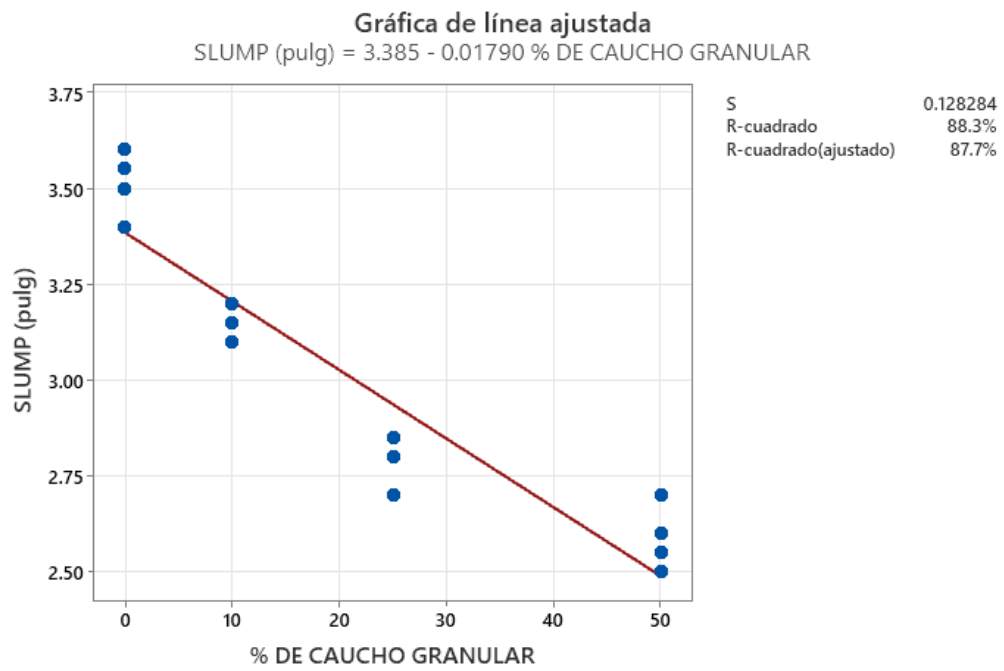


Figura 72

Regresión Lineal de la Resistencia a Compresión del Concreto con Caucho Granular

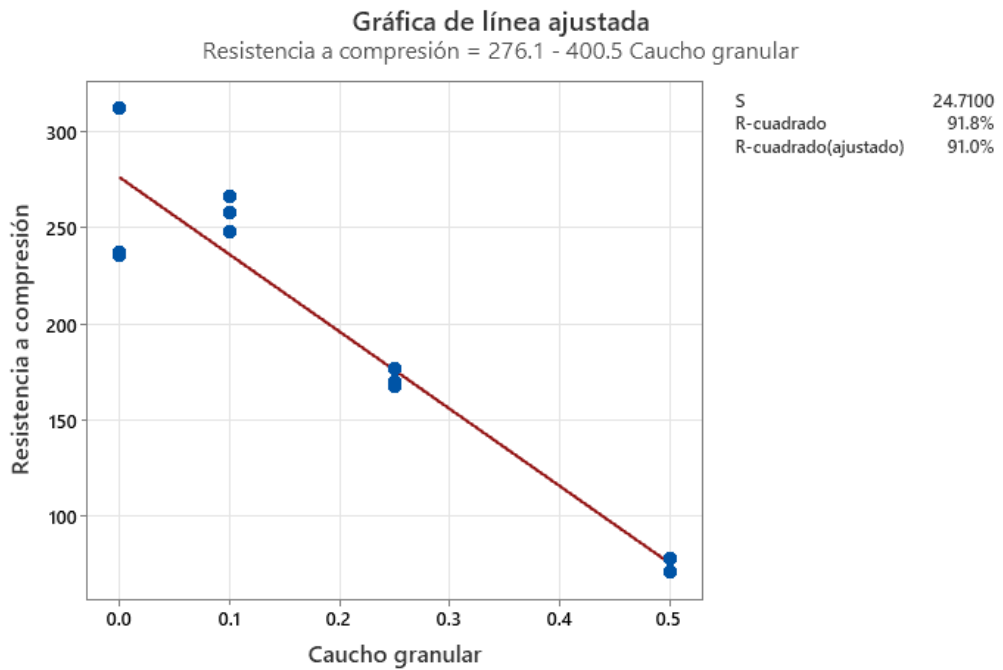


Figura 73

Regresión Lineal de la Sensación Térmica en la Estructura con Concreto con Caucho Granular

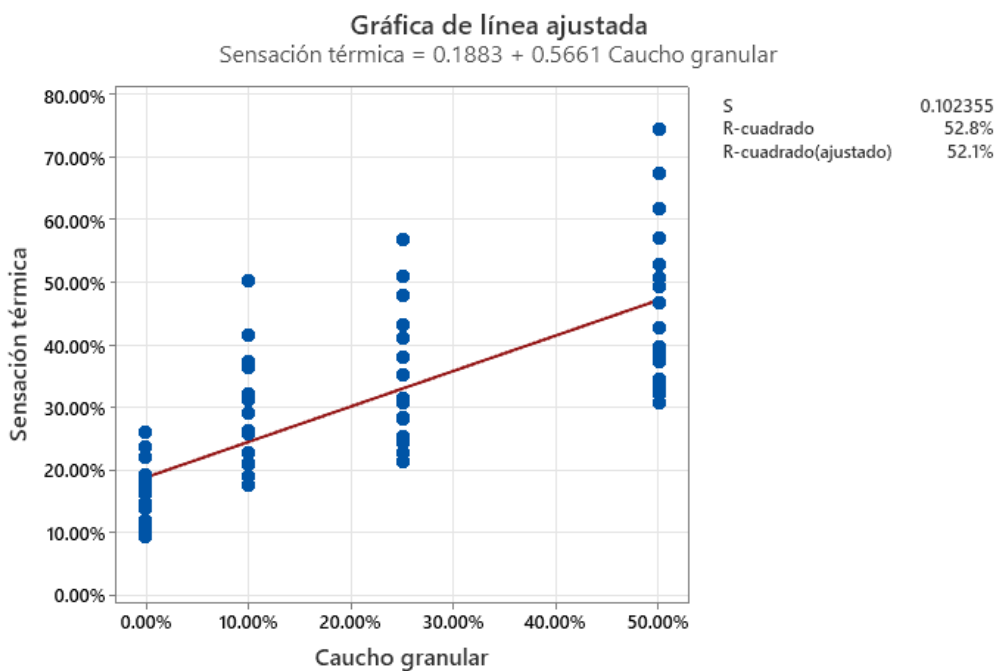
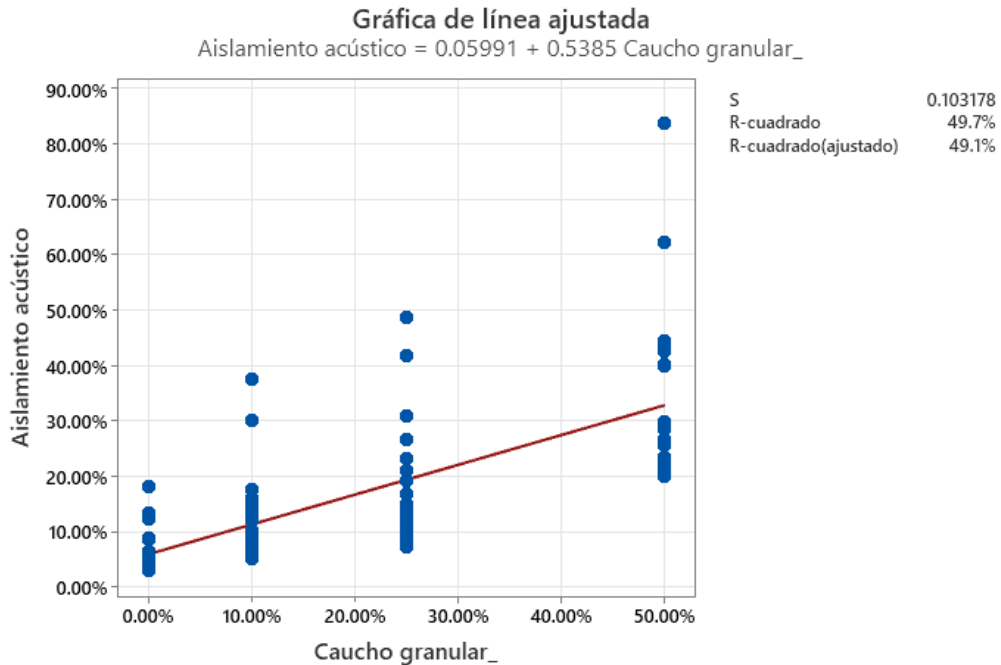


Figura 74

Regresión Lineal del Aislamiento Acústico en la Estructura con Concreto con Caucho Granular



4.3. Discusión de resultados

La investigación se enfocó en analizar la influencia del caucho granular en las propiedades físicas, mecánicas y termoacústicas del concreto liviano, así como explorar sus posibles usos en edificaciones en la localidad de Chota. Este estudio representa un esfuerzo por comprender cómo la incorporación de este material reciclado puede mejorar las características del concreto liviano. En esta sección de la tesis, se realizará una discusión detallada de los resultados obtenidos a través del trabajo experimental y análisis teórico.

El uso de caucho granulado en la mezcla de concreto fresco tiene un impacto significativo en varias de sus propiedades. El contenido de aire en el concreto aumenta a medida que se incrementa el porcentaje de caucho granulado. Por ejemplo, el contenido de aire varió de 1.43% en el concreto convencional a

1.72% en el concreto con 50% de caucho granulado. Estos valores se mantuvieron dentro del rango de contenido de aire deseado, que fue de 1.5%, según lo diseñado.

En cuanto al peso unitario del concreto, se encontró una disminución progresiva a medida que se aumenta el porcentaje de caucho granulado en la mezcla. Mientras que el peso unitario del concreto base fue de 2459.71 kg/m³, típico de un concreto convencional, el concreto con 50% de caucho granulado alcanzó un peso unitario de 1863.02 kg/m³, clasificándose como concreto liviano al ser menor a 2000 kg/m³.

Un hallazgo relevante fue el aumento de la temperatura de la mezcla de concreto a medida que se incrementa el porcentaje de caucho granulado. Sin embargo, es importante destacar que este aumento máximo de temperatura se mantuvo en 28 °C, lo cual sugiere que el caucho granulado no generó un aumento significativo en la temperatura de la mezcla, lo que podría afectar la trabajabilidad y el tiempo de fraguado del concreto.

En relación con el asentamiento de la mezcla de concreto, se observa una reducción en su trabajabilidad a medida que se incrementa el porcentaje de caucho granulado. Las mezclas que contenían hasta un 25% de caucho granulado mantuvieron un rango de plasticidad con asentamientos de 2.8 a 3.5 pulgadas. Sin embargo, el concreto con 50% de caucho granulado mostró una reducción significativa en su trabajabilidad, convirtiéndose en una mezcla semi plástica con un asentamiento de 2.58 pulgadas.

Según Leong et al. (2021), la incorporación de caucho granulado en el concreto fresco puede aumentar el contenido de aire y reducir el peso unitario, lo que concuerda con los hallazgos. Los autores determinaron que la densidad (peso unitario in situ) se reduce en aproximadamente 15%, concordando con el estudio

donde el concreto con 50% de caucho granular tenía 17.89% menos peso unitario que el concreto base.

Además, los resultados obtenidos se alinean con los hallazgos de Pham et al. (2020), quienes también observaron una disminución en la trabajabilidad del concreto fresco al aumentar el contenido de caucho granulado. Asimismo, Zapata (2021) observó que el concreto con caucho granular reducía su asentamiento y densidad conforme se incrementa la adición de partículas de caucho, debido a que, por la textura del caucho este no se adhiere fácilmente a la mezcla (agregados, cemento, agua), pero el peso unitario liviano de estos hace que, la densidad del concreto disminuya siendo favorable para usos constructivos.

En relación con las propiedades físicas del concreto modificado con caucho granular arrojaron hallazgos significativos. Se observó un aumento considerable en la absorción de agua del concreto a medida que se incrementaba el porcentaje de caucho granular en la mezcla. Por ejemplo, el concreto base presentó una absorción del 6.72%, mientras que esta cifra se elevó al 13.34% para el concreto con un 50% de caucho granular. Este aumento en la absorción podría plantear limitaciones para ciertas aplicaciones del concreto, especialmente aquellas que requieren una baja absorción para evitar problemas de durabilidad, como la formación de eflorescencia o la degradación por congelamiento y deshielo.

Por otro lado, se observó una reducción notable en el peso del concreto a medida que se aumentaba el porcentaje de caucho granular en la mezcla. Por ejemplo, el peso de las probetas cilíndricas de concreto base era de 13.18 kg, mientras que al emplear un 50% de caucho granular, este peso se reducía a 10.82 kg. Esta disminución en el peso del concreto puede ser considerada como un

beneficio significativo, especialmente en términos de manipulación y transporte de los materiales en obra.

Según Assaggaf et al. (2021), la incorporación de caucho granular en el concreto puede aumentar su absorción de agua debido a la porosidad inherente del material de caucho, pero reducir su capacidad de infiltración volviéndolo impermeable, contradictoriamente. Esto coincide con los hallazgos y sugiere la necesidad de desarrollar estrategias para mitigar el efecto de la absorción en la durabilidad del concreto modificado con caucho granular. También, se alinea a lo determinado por Lucano & Núñez (2023) quienes afirman que, la absorción del concreto se incrementa con el contenido de caucho granular en la mezcla, pero que, a pesar de ello, puede continuar cumpliendo con las normas nacionales, como la E.070:2006 para su aplicación como bloques de concreto.

Además, los resultados obtenidos se alinean con los hallazgos de Soto & Marín (2019), quienes también observaron una reducción en el peso del concreto al aumentar el contenido de caucho granular.

Respecto a las propiedades mecánicas del concreto con caucho granular los resultados revelaron un patrón de disminución en su resistencia a medida que se incrementaba el porcentaje de caucho en la mezcla. Específicamente, se observó una reducción significativa en la resistencia a compresión del concreto, donde la resistencia a compresión del concreto base fue de 261.13 kg/cm², pero al utilizar un 50% de caucho granular, esta resistencia se redujo hasta 73.76 kg/cm². Esta reducción considerable en la capacidad mecánica del concreto modificado es preocupante, ya que incluso incumple con el valor de resistencia a la compresión ($f'c$) de diseño, establecido en 17 MPa. Por lo tanto, estos hallazgos sugieren que, en términos de resistencia a compresión, el uso de caucho granular debe limitarse

a un máximo del 25% como sustituto del agregado grueso en volumen para garantizar que el concreto cumpla con los requisitos de diseño y seguridad estructural.

Además, se encontró que la resistencia a flexión del concreto también disminuyó conforme se incrementaba el porcentaje de caucho granular en la mezcla. Mientras que la resistencia a flexión del concreto base fue de 6.16 kg/cm², esta cifra disminuyó a 3.19 kg/cm² para el concreto con un 50% de caucho granular. Esta disminución en la resistencia a flexión sugiere una reducción en la capacidad del concreto para resistir cargas de flexión.

Estos resultados difieren de Islam et al. (2022) cuya capacidad mecánica del concreto a compresión y flexión se incrementa en 97% y 59%, no obstante, esto se debe a que, no solamente sustituyeron los agregados por partículas de caucho de desecho, sino que utilizaron aditivos para mejorar la adherencia de las partículas en la mezcla de concreto.

Los resultados de las propiedades mecánicas concuerdan con Pradhan et al. (2020) cuyo concreto disminuyó su capacidad mecánica con el aumento del contenido de caucho granulado, pero con 20% de caucho determinaron que, el concreto era ligero y duradero, acercándose al porcentaje límite elegido en el estudio que es de 25% de caucho granular como sustituto del agregado grueso. También concuerdan con Assaggaf et al. (2021) quienes argumentaron que, el concreto con caucho granular reduce su resistencia de 3.5% a 60%, aunque en el estudio la resistencia a reducido en promedio en 35.86%. Asimismo, Anco & Magallanes (2021) y Oyague (2020) argumentaron que, la resistencia a compresión del concreto disminuye notablemente al utilizar caucho reciclado.

Además, Leong et al. (2021) resalta que, si bien el caucho reduce la capacidad mecánica del concreto a compresión y flexión. A flexión la reducción no es significativa, siendo el porcentaje de disminución menor al de compresión. Tal como, en el caso del estudio donde el concreto con caucho granular reduce su capacidad a flexión en 30.63% promedio. No obstante, difiere con García (2020) quien determinó que, si bien el concreto reduce su capacidad a compresión, a flexión está se incrementa en 4%, para porcentajes bajos de caucho granular en el concreto, no obstante, la diferencia puede deberse a que, el autor utilizó agregados de la ciudad de Lima, con diferentes propiedades que, los agregados locales de Chota.

Respecto a las propiedades termoacústicas, los resultados obtenidos indican que la inclusión de caucho granular en el concreto tiene un impacto significativo, particularmente en términos de absorción de sonido y aislamiento térmico. Para evaluar estas propiedades, se utilizó un modelo a escala que simula un ambiente cerrado con divisiones y paredes de concreto.

En primer lugar, se observó que el concreto modificado con un 50% de caucho granular logró reducir la temperatura ambiental en la habitación 2 en un 45.82%, en comparación con el concreto base. Este resultado sugiere una mejora notable en el aislamiento térmico proporcionado por el concreto con caucho granular, ya que reduce significativamente la transferencia de calor desde el exterior hacia el interior del ambiente. Esta capacidad de reducir la temperatura exterior puede ser especialmente beneficiosa en entornos urbanos y carreteras, donde se busca mitigar el efecto del calor generado por la carga vehicular en los pavimentos.

Además, se observó una reducción considerable en el nivel de sonido emitido en el ambiente 2 construido con concreto modificado con caucho granular. Mientras que el concreto base logró reducir el sonido en un 7.09%, el concreto con un 50% de caucho granular alcanzó una reducción del 34.08%. Este resultado sugiere que el concreto modificado con caucho granular puede ofrecer un mejor control del ruido, lo que lo hace adecuado para aplicaciones donde se requiere un ambiente más silencioso, como áreas residenciales o industriales cercanas a vías de alto tráfico.

Assaggaf et al. (2021) argumentaron que, la inclusión de caucho granular en el concreto puede mejorar significativamente sus propiedades termoacústicas, lo que concuerda con los hallazgos del estudio. Estos resultados resaltan el potencial del concreto modificado con caucho granular como una solución efectiva para mejorar el confort térmico y acústico en diversas aplicaciones de construcción. También, Záleská et al. (2019) determinaron que, el concreto ligero con caucho granular tiene un mejor rendimiento de aislamiento térmico, así mismo, la resistencia mecánica alcanzada por el concreto con caucho es suficiente para aplicaciones estructurales. Asimismo, López (2018) argumenta que, estos concretos con agregado triturado de llanta usada, tienen mejor aislamiento térmico, acústico y una reducción en peso con respecto al concreto tradicional.

Otro caso de contraste, es el estudio realizado por Bustamante (2021) en la ciudad de Chota, donde utilizaron perlas de poliestireno para la producción de concreto a fin de reducir la percepción de la temperatura y aislar el sonido exterior determinando resultados similares, a los que se han encontrado para el concreto con caucho granular, por lo que, ambas son buenas opciones para su aplicación en edificaciones, no obstante Bustamante (2021) alcanzaba $f'c$ 175 kg/cm² con

12.5% de perlas de poliestireno, mientras que, en la investigación con 10% de caucho granular se alcanza un $f'c$ de 257.23 kg/cm².

Al comparar el concreto base con el concreto modificado con caucho granular, es evidente que cada uno presenta ventajas y desventajas para su aplicación en obras de construcción. Sin embargo, nuestros resultados sugieren que un porcentaje óptimo de caucho granular que maximiza las características mecánicas, reduce el peso unitario (in situ) y mejora el control de las propiedades termoacústicas es del 25%, utilizado como reemplazo del agregado grueso en la producción de concreto.

Esta conclusión se basa en varios factores observados en nuestro estudio. En primer lugar, encontramos que el concreto con un 25% de caucho granular logró mantener una resistencia mecánica aceptable, al tiempo que ofrecía una reducción significativa en el peso unitario en comparación con el concreto base. Además, este porcentaje demostró mejorar el aislamiento térmico y la absorción de sonido en comparación con otros porcentajes de caucho granular.

García et al. (2020) encontró que un porcentaje del 25% de caucho granular proporcionaba un equilibrio óptimo entre resistencia mecánica y propiedades termoacústicas mejoradas. Estos hallazgos respaldan nuestra conclusión y sugieren que el uso de un 25% de caucho granular como reemplazo del agregado grueso puede ser una opción viable para mejorar las características del concreto sin comprometer significativamente su desempeño mecánico. En cambio, Pradhan et al. (2020), Ngii et al. (2019), Muñoz et al. (2021), Chávarri & Falen (2020), Calderón & Vasquez (2021) y Maeijer et al. (2021) determinaron que, el porcentaje óptimo de sustitución de los agregados por caucho granular era de 20%, que, si bien no concuerda, se acerca a los resultados alcanzados.

El concreto modificado con caucho granular presenta una versatilidad notable y puede ser empleado de diversas formas en obras de ingeniería civil. Los resultados sugieren que el uso de diferentes porcentajes de caucho granular en la producción de concreto puede dar lugar a aplicaciones específicas en la construcción de edificaciones, pavimentos y otros elementos estructurales.

En primer lugar, el concreto con un 10% de caucho granular puede ser adecuado para su uso como elemento estructural en la construcción de edificaciones. Este porcentaje proporciona una mejora en la capacidad del concreto para absorber impactos y vibraciones, lo que lo hace ideal para la fabricación de columnas, vigas y losas que requieren resistencia estructural y durabilidad. Soto & Marín (2019) y Díaz (2021) también concluyeron que, con porcentajes bajos de caucho granular en el concreto se puede obtener concretos de aplicación estructural, con impacto ambiental positivo.

Por otro lado, el concreto con un 50% de caucho granular se muestra como una opción viable para la elaboración de bloques, ladrillos de concreto y otros elementos no estructurales. Esta mezcla ofrece una reducción significativa en el peso del concreto, lo que facilita su manipulación y transporte, y puede ser aplicada en la construcción de elementos de mampostería, losas y ladrillos de techo. Hernández (2018) determinaron que, a mayor cantidad de caucho la resistencia del concreto decae, por lo que, se recomienda su uso en elementos estructurales secundarios, donde se requiera de ser ligeros para reducir cargas muertas o en elementos de relleno que no soporten cargas estructurales.

Además, el concreto con un 25% de caucho granular se destaca por su idoneidad en aplicaciones de pavimentación y construcción de carreteras. Este porcentaje proporciona una combinación equilibrada de resistencia mecánica y

propiedades termoacústicas mejoradas, lo que lo hace adecuado para su uso en pavimentos rígidos, barreras de sonido, muros de contención y sistemas de drenaje.

Maeijer et al. (2021) encontró resultados similares, donde diferentes porcentajes de caucho granular se asociaron con aplicaciones específicas en la construcción de edificaciones y pavimentos. Además, Záleská et al. (2019) resalta que, el concreto con caucho granular se puede utilizar en aplicaciones estructurales, debido a que, si bien la capacidad mecánica disminuye, es suficiente para su uso estructural, además de que, tiene un mejor rendimiento de aislamiento térmico.

Al analizar el cumplimiento del concreto con las normas nacionales e internacionales, se debe recalcar que la norma que controla el concreto ligero es la norma ACI 213R (2014) cuya especificación es que el peso unitario in situ del concreto no supere los 2000 kg/m³, y presente resistencias mayores a 17 MPa, siendo así, el concreto producido con 50% de caucho granular cumple con la disposición del peso unitario (1863 kg/m³), pero no con la resistencia a compresión (73.76 kg/cm²), en cambio el concreto con 25% de caucho granular cumple con la resistencia a compresión (171.80 kg/cm²), pero su peso supera ligeramente los 2000 kg/m³, alcanzando 2053.45 kg/m³, sin embargo, es la dosificación que más se acerca al cumplimiento de la normatividad internacional.

Respecto a las normas nacionales el concreto con 10% de caucho granular tiene 257.23 kg/cm², por tanto, cumple con la norma E.060 (MVCS, 2009) para su uso en elementos estructurales, mientras que el concreto con 25% de caucho granular se puede utilizar para elementos no estructurales.

Así mismo, de acuerdo a la norma E.070 (MVCS, 2006) que rige las propiedades de bloques y/o ladrillos de albañilería, el concreto con 25% de caucho granular puede utilizarse en la producción de bloques portantes, además de que presenta una absorción que no supera el límite de 12% para bloques de concreto; sin embargo, si se comparan las características con la resistencia esperada por un ladrillo, la mezcla de concreto con 50% de caucho granular se clasifica como ladrillo tipo II, la mezcla con 25% de caucho granular como ladrillo tipo IV, y la mezcla con 10% de caucho granular como ladrillo tipo V, siendo así, su uso puede ser como muros portantes, pero de incrementarse el porcentaje de caucho granular en más del 50%, también se podría utilizar, pero solo para muros de tabiquería.

Otra aplicación fundamental del concreto ligero es en carreteras, por ello, se ha comparado con la norma CE.010 (MVCS, 2010), comprobando que el concreto sin y con caucho granular no se puede utilizar en la producción de adoquines debido a que el $f'c$ de diseño, no cubre las necesidades de este material ($f'c$ mayor a 280 kg/cm²), no obstante, si se puede utilizar para la construcción de pavimentos rígidos y muros de contención al concreto con 10% de caucho granular, y además, para la construcción de barreras de sonido se recomienda el uso de concreto con 50% de caucho granular.

Por tanto, finalmente se concluye que el concreto con caucho granular cumple las regulaciones nacionales e internacionales para su aplicación en la construcción, pero el porcentaje de uso depende de la finalidad constructiva, tal como, argumenta Islam et al. (2022).

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Al analizar la influencia del caucho granular en las propiedades físicas, mecánicas y termoacústicas del concreto ligero $f'c$ 175 kg/cm² y sus posibles usos en edificaciones del distrito de Chota, se ha llegado a las siguientes conclusiones específicas:

- 1) El uso de caucho granulado influye en las propiedades en estado fresco del concreto. Específicamente, incrementa el contenido de aire de la mezcla, pasando de 1.43% para el concreto sin caucho granular a 1.72% para el concreto con 50% de caucho granular. Este aumento en el contenido de aire está acompañado por la reducción en el peso unitario del concreto, de 2459.71 kg/m³ para el concreto sin caucho granular a 1863.02 kg/m³ para el concreto con 50% de caucho granular, lo que permite clasificar la mezcla como concreto liviano. Sin embargo, la incorporación de caucho también afecta negativamente la trabajabilidad de la mezcla, especialmente cuando se utilizan altos porcentajes de caucho granulado.
- 2) El caucho granulado influye en las propiedades físicas del concreto endurecido. En términos de absorción de agua, se observó un aumento considerable, pasando de 6.72% para el concreto sin caucho granular a 13.34% para el concreto con 50% de caucho granular. No obstante, esta desventaja es compensada por la reducción notable en el peso del concreto, que disminuyó de 13.18 kg para el concreto sin caucho granular a 10.82 kg para el concreto con 50% de caucho granular, lo cual mejora la manejabilidad del material.
- 3) El caucho granulado incluye en las propiedades mecánicas del concreto $f'c$ 175 kg/cm² endurecido, disminuyendo la resistencia a compresión y flexión del

concreto. Específicamente, la resistencia a compresión se redujo de 261.29 kg/cm² en el concreto base a 73.76 kg/cm² en el concreto con 50% de caucho granular, mientras que la resistencia a flexión disminuyó de 6.16 kg/cm² a 3.19 kg/cm² en las mismas condiciones. Estas reducciones evidencian que el caucho granulado, aunque puede aportar beneficios en términos de peso y manejabilidad, compromete significativamente las propiedades mecánicas del concreto. Por lo tanto, se limita el uso de caucho granulado a un máximo del 25% en la mezcla, considerando que, con ello, se alcanza 171.80 kg/cm² de resistencia a compresión.

- 4) El caucho granulado influye en las propiedades termoacústicas del concreto, como la absorción de sonido (Db) y el aislamiento térmico (°C) en un modelo a escala. La inclusión de caucho granulado en la mezcla de concreto resulta en una reducción considerable tanto en la temperatura (50.71% de reducción de la temperatura emitido en el ambiente 1 con 31 °C) como en el sonido emitido (39.96% de reducción del sonido emitido en el ambiente 1 con 50 Db) al incorporar 50% de caucho granulado, no obstante, con 10% de caucho granular en el concreto también se reduce la temperatura en 29.03% y el sonido en 12.96%, respecto al ambiente 1. Por tanto, el concreto con caucho granulado es una solución efectiva para mitigar el calor y el ruido en entornos urbanos, ofreciendo beneficios termoacústicos.
- 5) La comparación del concreto base con diferentes proporciones de caucho granulado revela que cada variación presenta ventajas y desventajas en términos de propiedades físicas, mecánicas y termoacústicas. Sin embargo, el análisis indica que los porcentajes óptimos de caucho granulado para maximizar las mejoras en estas propiedades son del 10% y 25%. Estas proporciones logran un equilibrio adecuado entre beneficios mecánicos, como una resistencia aceptable a

compresión y flexión, y mejoras en otras áreas, como la reducción del peso unitario y un mayor control en las propiedades termoacústicas del concreto.

- 6) Tras evaluar el cumplimiento del concreto ligero con caucho granulado respecto a la norma ACI 213R (2014), se observa que ninguna dosificación cumple completamente con todos los requisitos establecidos. El concreto con un 50% de caucho granulado cumple con el peso unitario, pero no con la resistencia a compresión, mientras que el concreto con un 25% de caucho granulado cumple con la resistencia a compresión, pero su peso supera ligeramente el límite establecido. Sin embargo, se observa que la dosificación con un 25% de caucho granulado se acerca más al cumplimiento de la normativa internacional. No obstante, cumplen otras normativas nacionales como, la norma E.060 para concreto base $f'c$ 175 kg/cm², la norma E.070 para ladrillos portantes $f'c$ 130 kg/cm² y no portantes de 20 kg/cm², y la norma CE.010 para mejoramiento de subrasante con concreto $f'c$ 175 kg/cm².
- 7) La variedad de usos potenciales del concreto ligero con caucho granulado en obras de ingeniería en el distrito de Chota es destacable. Este material ofrece versatilidad en su aplicación, lo que lo convierte en una opción atractiva para diversas necesidades constructivas, sin embargo, su costo es mayor que, el concreto sin caucho granular (330.69 soles), el concreto con 10% de caucho granular cuesta 52 soles más que el m³ de concreto base. El concreto con un 10% de caucho granulado puede ser utilizado en losas aligeradas y en la producción de bloques portantes ofreciendo una combinación de resistencia, ligereza y costo asequible. Por otro lado, el concreto con un 25% y 50% de caucho granulado se pueden utilizar para barreras de sonido, proporcionando alternativas más livianas y eco amigables, pero con un costo de 77.86 y 129.77 soles más por m³ de concreto.

5.2. Recomendaciones y/o sugerencias

- 1) Para mejorar la trabajabilidad del concreto con caucho granulado, se sugiere explorar métodos de mezclado y aditivos que puedan compensar el impacto negativo en este aspecto.
- 2) Se recomienda investigar técnicas de tratamiento superficial que puedan reducir la absorción de agua del concreto con caucho granulado, manteniendo su peso reducido para facilitar su manipulación.
- 3) Considerando la disminución en la resistencia mecánica, se sugiere realizar estudios adicionales para identificar aditivos o tratamientos que puedan mejorar las propiedades mecánicas del concreto con caucho granulado y permitir un mayor uso en aplicaciones estructurales o estudiar el concreto con caucho granular para $f'c$ de diseño mayores a 175 kg/cm².
- 4) Dado el potencial del concreto con caucho granulado para reducir el calor y el ruido, se recomienda realizar estudios adicionales para evaluar su desempeño en situaciones reales y en diferentes entornos urbanos.
- 5) Para maximizar las mejoras en las propiedades del concreto, se sugiere continuar investigando diferentes proporciones de caucho granulado y su impacto en las propiedades físicas, mecánicas y termoacústicas del concreto. Por ejemplo, podrían analizar las propiedades del concreto con 10% a 25% de caucho granular.
- 6) Se recomienda promover la adopción del concreto con caucho granulado en diversas aplicaciones constructivas, educando a los profesionales de la construcción sobre sus ventajas y usos potenciales.
- 7) Se sugiere realizar estudios adicionales para desarrollar dosificaciones de concreto con caucho granulado que cumplan completamente con los requisitos

establecidos por las normas internacionales, asegurando su viabilidad y aceptación en la industria de la construcción, no obstante, cabe recalcar que si cumplen con diversas normas nacionales de acuerdo a su uso específico (E.060, E.070, CE.010).

CAPÍTULO VI.

REFERENCIAS

- Abbas-Abadi, M. S., Kusenberg, M., Shirazi, H. M., Goshayeshi, B., & Van Geem, K. M. (2022). Towards full recyclability of end-of-life tires: Challenges and opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 374, 1-10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134036>
- Abb-Elaal, E. S., & Ahmad, F. (2020). Behavior analysis of concrete with recycled tire rubber as aggregate using 3D-digital image correlation. *Journal of Cleaner Production*, 1(274), 1-12. <https://doi.org/doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123074>
- ACI 211.1. (2022). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete, reapproved 2022*. American Concrete Institute. ACI Committee 211 .
- ACI 213R. (2014). *Guide for Structural Lightweight-Aggregate Concrete*. American Concrete Institute (ACI).
- Adama , J. L., Gonzalo, E., Hilario, M., & Portugal, L. J. (2021). *Contenido de Aire en el Concreto* . <https://slideplayer.es/slide/17999799/>
- Adeboje, A., Kupolati, W., Sadiku, E., & Ndambuki, J. (2020). Characterization of Modified Crumb Rubber Concrete. *International Journal of Sustainable Development and Planning*. 15(3), 377-383. <https://doi.org/doi:https://doi.org/10.18280/ijstdp.150315>
- Akbari, M., Tahamtan, M. H., S, F.-V., Herozi, M. R., & Shirvani, M. A. (2022). Investigating fracture characteristics and ductility of lightweight concrete containing crumb rubber by means of WFM and SEM methods. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 117.
- Akbarzadeh, H., Shahmansouri, A. A., Akkas , N., Kabirifar, K., & WY, V. (2020). Impact of elevated temperatures on the structural performance of recycled rubber concrete: Experimental and mathematical modeling. *Construction and Building Materials*, 1(255), 1-15. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119374>
- Alay, K. D., Peralta, I. C., & Sotomayor, S. (2020). Elaboración de eco-bloques a base de caucho triturado y aserrín para viviendas de interés social. *Revista Caribeña de*

- Ciencias Sociales (RCCS)*, 4(10), 1-12.
<https://doi.org/https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9037953>
- Anco, A. Z., & Magallanes, M. S. (2021). *Evaluación de la resistencia del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ adicionando caucho reciclado para su uso en climas calientes Ate-2021*. [Tesis de grado, Universidad César Vallejo].
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/80091>
- Arboleda, K., & Salazar, D. (2020). *Diseño de concreto liviano mediante adición de poliestireno para observar su resistencia y funcionalidad a diferentes*. [Tesis de grado, Universidad Libre Seccional Pereira].
- Arenas, J. P. (1996). *Diseño de Barreras Acústicas: Solución al Impacto del Ruido Generado por Carreteras*. Comisión Nacional del Medio Ambiente CONAMA.
http://www.socha.cl/wp-content/uploads/2013/06/05_JArenas_1996.pdf
- Artaraz, M. (2002). Teoría de las tres dimensiones de desarrollo sostenible. *Ecosistemas*, 11(2).
<https://doi.org/https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/614>
- Asenjo, J. S. (2023). *Caracterización de las Propiedades Físico - Mecánicas del Concreto Incorporando Caucho Desmenuzado*. [Tesis de grado, Universidad Señor de Sipán].
- Aslani, F., Ma, G., Wan, D. L., & Le, V. X. (2018). Experimental investigation into rubber granules and their effects on the fresh and hardened properties of self-compacting concrete. *Journal of cleaner production*, 172(1), 1835-1847.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.003>
- Assagaf, R. A., Ali, M. R., Al-Dulaijan, S. U., & Maslehuddin, M. (2021). Properties of concrete with untreated and treated crumb rubber—A review. *Journal of materials research and technology*, 11, 1753-1798.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.02.019>
- Ayuque, E. (2019). *Propiedades del concreto en estado fresco y endurecido utilizando cementos comerciales en la ciudad de Huancavelica*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Huancavelica].
- Banerjee, S., Mandal, A., & Dr. Jessy Rooby, J. (2020). Review of tyre as aggregate replacement in concrete. *Journal of Critical Reviews*, 7(9).
<https://doi.org/doi:http://dx.doi.org/10.31838/jcr.07.09.183>

- Bušić, R., Benšić, M., Milicević, I., & Strukar, K. (2020). Prediction Models for the Mechanical Properties of Self-Compacting Concrete with Recycled Rubber and Silica Fume. *Materials*. 13(8), 1-25. <https://doi.org/doi:10.3390/ma13081821>
- Bustamante, C. (2021). *Caracterización térmica y acústica del concreto simple ($f'c=175 \text{ kg/cm}^2$) elaborado con distintas dosis de poliestireno, Chota, 2020*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de Chota].
- Calderón, M., & Vásquez, C. A. (2021). *Influencia del caucho de neumático en las características físicas y mecánicas del bloque de concreto*. . [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo].
- Campos, E. (2017). *Determinación de las propiedades físico mecánicas de los agregados extraídos de las Canteras “Josecito” y “Manuel Olano” y su influencia en la calidad de concreto $f'c=250 \text{ Kg/cm}^2$, en la ciudad de Jaén*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca].
- CAPECO. (2006). *Costos y presupuestos*. Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO).
- Castaño, C. (2013). Los pilares del desarrollo sostenible sofisma o realidad. *Desarrollo Sostenible*, 39(54). <https://doi.org/https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/23249/Los%20pilares%20del%20desarrollo%20sostenible%20sofisma%20o%20realidad.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chávarri, L. A., & Falen, J. A. (2020). *Propuesta de concreto eco-sostenible con la adición de caucho reciclado para la construcción de pavimentos urbanos en la ciudad de Lima*. [Tesis de grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. <http://hdl.handle.net/10757/651661>
- Choudhary, S., Chaudhary, S., Jain, A., & Gupta, R. (2020). Assessment of effect of rubber tyre fiber on functionally graded concrete. *Materials Today: Proceedings*. 28, 1496-1502. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.830>
- Clemente, J. C. (2022). *El caucho triturado y su efecto en las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido, sustituyendo al agregado fino*. [Tesis de grado, Universidad Peruana Los Andes]. <https://hdl.handle.net/20.500.12848/4997>
- Coronación, S. W. (2017). *Evaluación de impactos por la extracción de agregados para la construcción en el cauce del Río Achamayo, Concepción – Junín*. [Tesis de grado, Universidad Peruana Los Andes]. <https://hdl.handle.net/20.500.12848/279>

- Courland, R. (2022). Concrete planet: the strange and fascinating story of the world's most common man-made material. *Rowman & Littlefield*. <https://n9.cl/bmt2h>
- De la Cruz, J. F., Sáenz, A., & Cortés, F. (2015). Concreto Ligero utilizando Cáscara de Nuez. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 9(1), 1-11.
- Díaz, M. A. (2021). *Manual del proceso constructivo del uso del neumático triturado como un material de construcción ecológico para el concreto, Cajamarca, 2021*. [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. <https://hdl.handle.net/11537/28234>
- ECOCRET. (2021). *Tipos de Concretos*. <https://www.ecocret.com.pe/tipos-de-concreto/concreto-liviano>
- El peruano. (diciembre de 29 de 2016). *Establecen el régimen de extracción de materiales de construcción ubicados en los alveos y cauces de los ríos, quebradas y canteras. Ordenanza municipal N° 007-2015-MDNI*. El Peruano: <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/establecen-el-regimen-de-extraccion-de-materiales-de-constru-ordenanza-no-007-2015-mdni-1468531-2/>
- El Peruano. (16 de marzo de 2021). INEI: Sector construcción creció 15.22%. *El Peruano*. <https://elperuano.pe/noticia/117058-inei-sector-construccion-crecio-1522#:~:text=Destac%C3%B3%20que%20el%20sector%20construcci%C3%B3n,e%20iniciativas%20de%20habilitaci%C3%B3n%20urbana.>
- Eltayeb, E., Ma, X., Zhuge, Y., Youssf, O., & Mills, J. E. (2020). Influence of rubber particles on the properties of foam concrete. *Journal of Building Engineering*, 30, 1-13. <https://doi.org/doi:https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101217>
- Encyclopaedia of Occupational Health & Safety. (26 de febrero de 2011). *Fabricación de Neumáticos*. ILO: <https://www.iloencyclopaedia.org/es/part-xii-57503/rubber-industry/item/389-tyre-manufacturing>
- Espinoza, J. P. (2019). Regulación de recursos naturales e industrias extractivas. *Revista de Derecho Administrativo*, 1(19). https://doi.org/https://revistas.pucp.edu.pe/public/documentos/derechoadministrativo/RDA_N19-CDA.pdf
- Estela, J. R., & Vásquez, J. V. (2020). *Influencia de la Incorporación de Partículas de Caucho Reciclado en Concreto poroso, en la ciudad de Jaén- Cajamarca*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Jaén].
- Farfán, M., & Leonardo, E. (2018). Caucho reciclado en la resistencia a la compresión y flexión de concreto modificado con aditivo plastificante. *Revista ingeniería de*

- construcción. 33(3), 241-250. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ric/v33n3/0718-5073-ric-33-03-241.pdf>
- Gamalath, H., Weerasinghe, T. G., & Nanayakkara, S. (2017). Use of waste rubber granules for the production of concrete paving blocks. *Traffic*, 40(32), 80-100. https://doi.org/http://www.civil.mrt.ac.lk/web/conference/ICSBE_2016/ICSBE2016-199.pdf
- García, M. A. (2020). *Influencia de la adición de caucho granulado en 5%, 10% y 15% en la resistencia a compresión y flexión del concreto para la utilización en obras de ingeniería, Lima 2020*. [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. <https://hdl.handle.net/11537/25034>
- Gravina, R. J., & Xie, T. (2022). Toward the development of sustainable concrete with Crumb Rubber: Design-oriented Models, Life-Cycle-Assessment and a site application. *Construction and Building Materials*, 315(1), 1-10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125565>
- Guo, J., Huang, M., Huang, S., & Wang, S. (2019). An experimental study on mechanical and thermal insulation properties of rubberized concrete including its microstructure. *Applied Sciences*, 9(14), 1-10. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/app9142943>
- Gutiérrez, J. (2021). *Diseño de concreto ligero y autocompactante a partir de poliestirenos expandidos*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia].
- Hernández, J. L. (2018). *Diseño de un material ecológico para construcción mediante la adición de caucho de llanta al concreto*. [Tesis de grado, Universidad Autónoma del Estado de Morelos]. <http://riaa.uaem.mx/handle/20.500.12055/650>
- Huang, W., Huang, X., Xing, Q., & Zhou, Z. (2020). Strength reduction factor of crumb rubber as fine aggregate replacement in concrete. *Journal of Building Engineering*. 32, 1-6. <https://doi.org/doi:https://doi.org/10.1016/j.job.2020.101346>
- 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 399.602 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Bloques de concreto para uso estructural. Requisitos. 2ª 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. (marzo de 24 de 2020). NTP 339.035 CONCRETO. Medición del asentamiento del concreto de cemento hidráulico. Método de ensayo. 5ª 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. (18 de febrero de 2020). NTP 400.017AGREGADOS. 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. (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. (2020). NTP 400.021 AGREGADOS. Densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. Método de ensayo. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.
- INACAL. (15 de noviembre de 2021). NTP 339.033 CONCRETO. Elaboración y curado de especímenes de concreto en campo. Práctica. 5a Ed. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.
- 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. (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 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. (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 400.012 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 400.012 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. (15 de noviembre de 2021). NTP 400.037 AGREGADOS. Agregados para concreto. Especificaciones. 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)*.
- Irmawaty, R., Parung, H., & Md Noor, N. (2020). Experimental study of rubber particles from recycle tires as concrete. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 473, 1-7. <https://doi.org/doi:10.1088/1755-1315/473/1/012130>
- Islam, M. M., Li, J., Wu, Y. F., Roychand, R., & Saberian, M. (2022). Design and strength optimization method for the production of structural lightweight concrete: An experimental investigation for the complete replacement of conventional coarse aggregates by waste rubber particles. *Resources, Conservation and Recycling*, 184. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106390>
- Jasim, A. T., & Abdulabbas, Z. H. (2020). Production of sustainable pervious concrete by using waste tires rubber as partial replacement of coarse aggregate. 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATERIALS ENGINEERING & SCIENCE. 1-7. <https://doi.org/doi:https://doi.org/10.1063/5.0000255>
- Khern , Y. C., Paul, S. C., Kong, S. Y., Babafemi, A. J., Anggraini, V., Miah, M. J., & Savija, B. (2020). mpact of Chemically Treated Waste Rubber Tire Aggregates

- on Mechanical, Durability and Thermal Properties of Concrete. *frontiers in Materials*, 1(7), 1-11.
<https://doi.org/doi:https://doi.org/10.3389/fmats.2020.00090>
- Kosmatka, S. H., Beatrix, W., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*.
<https://doi.org/https://ingenierosciviles.com.mx/Biblioteca/files/original/4e03b9ddedc81f98353a2e65478f0c50.pdf>
- León, V. (2022). *Influencia del concreto liviano en el diseño estructural de un edificio de uso vivienda de 20 pisos de concreto armado en Lima*. [Tesis de grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas].
- Leong, G. W., Chin, T. M., Mo, K. H., Ibrahim, Z., P. A., & Othman, M. N. (2021). Incorporation of crumb rubber and air-entraining agent in ultra-lightweight cementitious composite: Evaluation of mechanical and acoustic properties. *Journal of Building Engineering*. 42(1033).
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103034>
- Li, Y., Zhang, X., Wang, R., & Lei, Y. (2019). Performance enhancement of rubberised concrete via surface modification of rubber: A review. *Construction and Building Materials*, 227(1), 1-10.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116691>
- López, S. (2018). *Concreto estructural con agregado triturado de llantas usadas*. [Tesis de grado, Universidad EIA]. <https://repository.eia.edu.co/handle/11190/2097>
- Lucano, C. Y., & Núñez, M. D. (2023). *Estudio del bloque portante de concreto sustituyendo agregado fino por caucho granulado de neumáticos reciclados, chota-2022*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de Chota].
<http://hdl.handle.net/20.500.14142/408>
- Maeijer, K. D., P, Craeye, B, Blom, J, . . . L. (2021). Crumb rubber in concrete—The barriers for application in the construction industry. *Infrastructures*. 6(8).
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/infraestructuras6080116>
- Maldonado , H. (04 de Noviembre de 2016). *Desgaste de Abrasión de Agregado Grueso*.
<https://prezi.com/txjxuuarxhqf/desgaste-de-abrasion-de-agregado-grueso/#:~:text=Es%20el%20da%C3%B1o%20por%20la,O%20DESGASTE%20de%20los%20agregados>.

- Medina, G. J., & Ramos, M. P. (2021). *Análisis de las propiedades físicas y mecánicas del concreto adicionando dosificaciones de viruta de acero tratada con criba vibratoria, Lima, 2021*. [Tesis de grado, Universidad Privada del Norte].
- Medina, N. F., Garcia, R., Hajirasouliha, I., Pilakoutas, K., Guadagnini, M., & Raffoul, S. (2018). Composites with recycled rubber aggregates: Properties and opportunities in construction. *Construction and Building Materials*, 188(1), 884-897. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.069>
- Mousavimehr, M., & Nematzadeh, M. (2019). Predicting postfire behavior of crumb rubber aggregate concrete. *Construction and Building Materials*. 229, 1-17. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116834>
- MPCH. (2018). *Plan de desarrollo urbano, PDU 2017 – 2027, Chota*. Municipalidad Provincial de Chota, MPCH.
- MTC. (2018). *Estadísticas: 2. Servicios, 2.1. Transporte terrestre por carretera, 2.1.4. Parque automotor, Parque automotor nacional estimado, según departamento: 2007 – 2018*. MTC. Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC].
- Muñoz, S., Vidaurre, J., Asenjo, J., & Gavidia, R. (2021). Uso del caucho de neumáticos triturados y aplicados al concreto: Una revisión literaria. *Revista de Investigación Talentos*. 2631-2476.
- Mushunje, K., Otieno, M., & Ballim, Y. (2018). A review of Waste Tyre Rubber as an Alternative Concrete Constituent Material. *MATEC Web of Conferences*. 199, 1-8. <https://doi.org/https://doi.org/10.1051/mateconf/201819911003>
- Muttashar, M., Alomari, K., & Al-Umar, M. (2020). Influence of Waste Rubbers Particle Size as Partial Substitution with Coarse Aggregate on Compressive property and water absorption ratio of Concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 870, 1-6. <https://doi.org/doi:https://doi.org/10.1088/1757-899X/870/1/012104>
- MVCS. (2006). Norma E.070 "Albañilería". En C. y. Ministerio de Vivienda, *Reglamento Nacional de Edificaciones* (págs. 1-15). Instituto de la Construcción y Gerencia (ICG). https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/02_E/RNE2006_E_070.pdf
- MVCS. (2009). Norma E.060 "Concreto Armado". En C. y. Ministerio de Vivienda, *Reglamento Nacional de Edificaciones* (págs. 1-201). Instituto de la Construcción y Gerencia.

- 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).
- Najmi, A. M., Mariyana, A. K., Shek, P. N., & Nurizaty, Z. (2020). Hardened properties of concrete with different proportion of crumb rubber and fly ash. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 849(1), 1-10.
- National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA). (2006). *El concreto en la práctica ¿Qué, Porqué y cómo?* <https://www.nrmca.org/wp-content/uploads/2020/04/CIP36es.pdf>
- Ngii, E, Sriyani, R, Hasbi, M, . . . M. (2019). The Effect of Vulcanized Tire Waste on Mechanical Properties of Rubber Concrete as Construction Materials. In ICEASD&ICCOSED 2019: International Conference on Environmental Awareness for Sustainable Development in conjunction with International Conference. 1-2. <https://n9.cl/z39ls>
- 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
- NRMCA. (2010). *El Concreto en la Práctica ¿Qué, Por qué y cómo?* National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA).
- Oliveros, E., & Tapahuasco, D. (2019). *Influencia del concreto liviano en el desempeño sísmico de una vivienda multifamiliar de 10 pisos ubicada en Lima*. [Tesis de grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas].
- Oyague, J. (2020). *Efecto de la adición de neumático triturado en las propiedades del concreto $F'c=210\text{kg/cm}^2$, Lima*. [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/75207>
- Pacheco, L. M. (2017). *Propiedades del concreto en estado fresco y endurecido*. [Tesis de grado, Universidad José Carlos Mariátegui].
- Paine, K. M. (2004). Application of granulated rubber to improve thermal efficiency of concrete. *Proceedings of the International Conference on Sustainable Waste Management and Recycling, Thomas Telford Services Ltd, London*, 1(1), 85-95.

- Palacios, L. V. (2021). *Evaluación de resistencia a compresión del concreto $f'c=210$ kg/cm² con adición de ceniza de coronta y nuez, Vilcashuaman*. [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo].
- Paulino, F. (2017). *Análisis comparativo de la utilización del concreto simple y el concreto liviano con perlitas de poliestireno como aislante térmico y acústico aplicado a unidades de albañilería en el Perú*. [Tesis de grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas].
- Pawar, V. G., Patil, S. N., & Salgar, P. B. (2019). A Study on Concrete Filled Steel Tubular Column Steel Beam Connection Using Light Weight concrete and Normal Concrete. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 6(3), 1-5. <https://n9.cl/31tghm>
- Pérez, R., & Saiz, L. (2018). Reciclado de. *Revista de plásticos modernos*, 115(730), 11-18. <https://www.signus.es/wp-content/uploads/2018/04/reciclado-de-neumaticos-transformacion-de-un-residuo-en-un-recurso.pdf>
- Pham, T, M, Liu, J, Tran, . . . M. (2020). Dynamic compressive properties of lightweight rubberized geopolymer concrete. *Construction and Building Materials*. 265. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120753>
- Qaidi, S. M., Dinkha, Y. Z., Haido, J. H., Ali, M. H., & Tayeh, B. (2021). Engineering properties of sustainable green concrete incorporating eco-friendly aggregate of crumb rubber: A review. *Journal of Cleaner Production*, 324. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129251>
- Rashad, A. M. (2016). A comprehensive overview about recycling rubber as fine aggregate replacement in traditional cementitious materials. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5(1), 46-82. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2015.11.003>
- Ren, F., Mo, J., Wang, Q., & Ho, J. C. (2022). Crumb rubber as partial replacement for fine aggregate in concrete: An overview. *Construction and Building Materials*. 343. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128049>
- Ruiz, R., & Vasallo, M. (2018). *Estudio de las propiedades físicas y mecánicas de los concretos elaborados con cemento ICO, MS y UG, Trujillo 2018*. [Tesis de grado, Universidad Privada del Norte].
- Sánchez, W. (2019). "Evaluación de las propiedades mecánicas del concreto reciclado para el diseño de mezclas ($f'c=175$ kg/Cm²) distrito José Leonardo Ortiz – Chiclayo –Lambayeque". [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo].

- Shao, J., Zhu, H., Zuo, X., Lei, W., Borito, S. M., Liang, J., & Duan, F. (2020). Effect of waste rubber particles on the mechanical performance and deformation properties of epoxy concrete for repair. *Construction and Building Materials*. 241, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118008>
- Silva, F. M., Jr, M., J, E., Dos Santos, J. M., Gachet-Barbosa, L. A., Gomes, A. E., & Lintz, R. C. (2019). The use of tire rubber in the production of high-performance concrete. *ceramica*. 65, 110-114. <https://doi.org/10.1590/0366-6913201965s12598>
- Solís-Carcaño, R. G., & Alcocer-Fraga, M. A. (2019). Durabilidad del concreto con agregados de alta absorción. *Ingeniería, investigación y tecnología*, XX(4), 1-13. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2019.20n4.039>
- Soto, M., & Marín, J. P. (2019). *Análisis del concreto con caucho como aditivo para aligerar elementos estructurales*. [Tesis de grado, Universidad Libre Seccional]. <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/17858>
- Sterling, A., Rodríguez, C., Virguez, y., Caicedo, D., & Salas, Y. (2015). Crecimiento Inicial de Theobroma Grandiflorum En Sistema Agroforestal con Hevea Brasiliensis y Musa AAB en dos Zonas Edafoclimáticas de Caquetá Colombia . *Revista Colombia Amazónica*, 1(8). <https://doi.org/10.1590/sinchi.org.co/files/publicaciones/revista/pdf/8/9%20crecimiento%20inicial%20de%20theobroma%20grandiflorum%20en%20sistemas%20agroforestal%20con%20hevea%20brasiliensis%20y%20musa%20aab%20en%20dos%20zonas%20edafoclimticas%20de%20caquet%20colombia.pdf>
- Tang, Y., Feng, W., Chen, J., Bao, D., & Li, L. (2020). Compressive properties of rubber-modified recycled aggregate concrete subjected to elevated temperatures. *Construction and Building Materials*, 1(11). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121181>
- Tapia, C. (2021). *Evaluación del concreto adicionando residuos de cerámica y porcelanato*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de Chota]. <https://hdl.handle.net/20.500.14142/176>
- Tapia, C. (2021). *Evaluación del concreto adicionando residuos de cerámica y porcelanato*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de Chota].
- Tolentino, M. F. (2018). *La permeabilidad se define como la propiedad que controla el flujo o la velocidad de un fluido a través de una unidad sólida porosa. La ley de*

- Darcy introdujo el concepto de permeabilidad y originalmente descubrió que el flujo de agua desde una superficie.* [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo].
- Torre, A. (2004). *Curso básico de tecnología del concreto para ingenieros civiles.* Universidad Nacional de Ingeniería.
- UNACEM. (2020). *Manual de Construcción.* UNACEM Construyendo oportunidades.
- Urrego, W., Velásquez, S., Giraldo, D., & Posada, J. C. (2017). Revisión-efecto del sistema de vulcanización en la red entrecruzada y en la reacción química de vulcanización del caucho natural. *Revista EIA*, 14(28), 99-115. <https://www.redalyc.org/pdf/1492/149255960007.pdf>
- Varas, G. N. (2018). *Influencia de los tipos de cal y proporción en morteros para la conservación sobre la compresión, contracción, densidad, absorción y fraguado, Trujillo 2018.* [Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil, Universidad Privada del Norte]. <https://hdl.handle.net/11537/13747>
- Ventura, C. (2015). *Propiedades Físicas y Mecánicas de la Roca Volcánica del Cerro Acuchimay Para el Diseño de Concreto Liviano en la Ciudad de Ayacucho, Perú.* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga].
- Wang, J., & Du, B. (2020). Experimental studies of thermal and acoustic properties of recycled aggregate crumb rubber concrete. *Journal of Building Engineering*. 32, 1-7. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101836>
- Xie, J. H., Guo, Y. C., Liu, L. S., & Xie, Z. H. (2015). Compressive and flexural behaviours of a new steel-fibre-reinforced recycled aggregate concrete with crumb rubber. *Construction and Building materials*, 79(1), 263-272. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.01.036>
- Záleská, M., Pavlíková, M., Čítek, D., & Pavlík, Z. (Noviembre de 2019). Mechanical and thermal properties of light-weight concrete with incorporated waste tire rubber as coarse aggregate. In *AIP Conference Proceedings*. 2170(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.1063/1.5132745>
- Zapata, J. (2021). *Influencia del porcentaje y módulo de finura de partículas de caucho de neumáticos reciclados sobre la densidad, compresión y asentamiento en un concreto para veredas.* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Trujillo]. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/17489>
- Zenteno, L. (2023). *Definicion-de-contenido-de-humedad compress.* Studocu: <https://www.studocu.com/bo/document/universidad-autonoma-juan-misael->

saracho/mecanica-de-suelos/definicion-de-contenido-de-humedad-
compress/24604883

CAPÍTULO VII. ANEXOS

Anexo A. Matriz de consistencia

Tesista: Dixon Antony Asenjo Guevara y Edemer Gonzales Idrogo

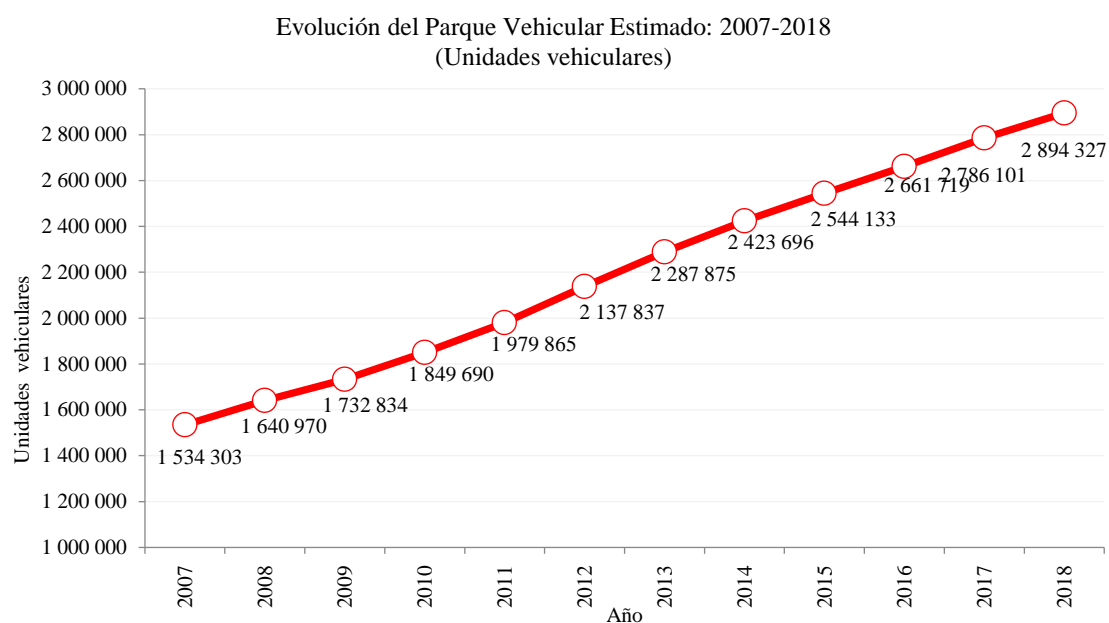
Título tentativo: Análisis de la influencia del caucho granular en las propiedades físicas, mecánicas y termoacústicas del concreto liviano, y sus posibles usos en edificaciones de Chota

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
¿Cómo influye el caucho granular en las propiedades físicas, mecánicas y termoacústicas del concreto ligero en el distrito de Chota?	Objetivo general	<p>H1: El caucho granular influye en las propiedades físicas, mecánicas y termoacústicas del concreto ligero en el distrito de Chota.</p> <p>H0: El caucho granular no influye en las propiedades físicas, mecánicas y termoacústicas del concreto ligero en el distrito de Chota.</p>	VI Caucho granular	Propiedades físicas	Granulometría	<p>Enfoque: Cuantitativo</p> <p>Tipo: Aplicada</p> <p>Nivel: Descriptiva</p> <p>Muestra: 36 probetas cilíndricas para ensayos a compresión y absorción, 12 probetas prismáticas para ensayos a flexión a los 28 días de curado y 72 mezclas de concreto elaborado con cemento, agua, agregado fino y agregado grueso, reemplazando este último por caucho granular al 0%, 10%, 25% y 50% del volumen, en Chota.</p> <p>Así mismo, se elaborarán 4 modelos a escala de 0.50 m de lado (similar a un cajón con dos compartimentos), para la prueba de percepción del sonido y percepción de la temperatura a fin de verificar las características termoacústicas del concreto ligero con caucho granular al 0%, 10%, 25% y 50% del volumen como sustituto del agregado grueso.</p>
	Analizar la influencia del caucho granular en las propiedades físicas, mecánicas y termoacústicas del concreto ligero f'c 175 kg/cm2 y sus posibles usos en edificaciones del distrito de Chota.				Contenido de humedad	
	Objetivos específicos				Abrasión	
	– Estudiar la influencia del uso de caucho granulado en las propiedades en estado fresco de la mezcla de concreto f'c 175 kg/cm2.				Peso unitario	
	– Estudiar la influencia del caucho granulado en las propiedades físicas del concreto f'c 175 kg/cm2 endurecido (absorción y peso).				Peso específico	
	– Analizar la influencia del caucho granulado en las propiedades mecánicas del concreto f'c 175 kg/cm2 endurecido (resistencia a compresión y flexión).				Absorción	
	– Analizar la influencia del caucho granulado en las propiedades termoacústicas del concreto, como la absorción de sonido (Db) y el aislamiento térmico (°C) en un modelo a escala.				Asentamiento (slump)	
	– Comparar el concreto con caucho granular para determinar el porcentaje que maximiza las mejoras en sus propiedades.				Temperatura	
	– Evaluar si el concreto ligero con caucho granulado cumple con los requisitos de las normas y regulaciones nacionales e internacionales para su uso en aplicaciones específicas.				Contenido de aire	
	– Describir los posibles usos del concreto ligero con caucho granulado en obras de ingeniería del distrito de Chota.				Densidad (peso unitario in situ)	
					Absorción de agua	
					Peso	
					Resistencia a compresión	
					Resistencia a flexión	
					Percepción de la temperatura en un modelo a escala	
	Aislamiento del ruido en un modelo a escala					
	Edificaciones					
	Carreteras					
	Pavimentos					
	(ACI 213R, 2014)					
	E.060					
	E.070					
	CE.010					
	Cumplimiento de las normas nacionales e internacionales					

Anexo B. Datos estadísticos

Figura 75

Evolución del parque vehicular estimado 2007 – 2018 (Unidades vehiculares)

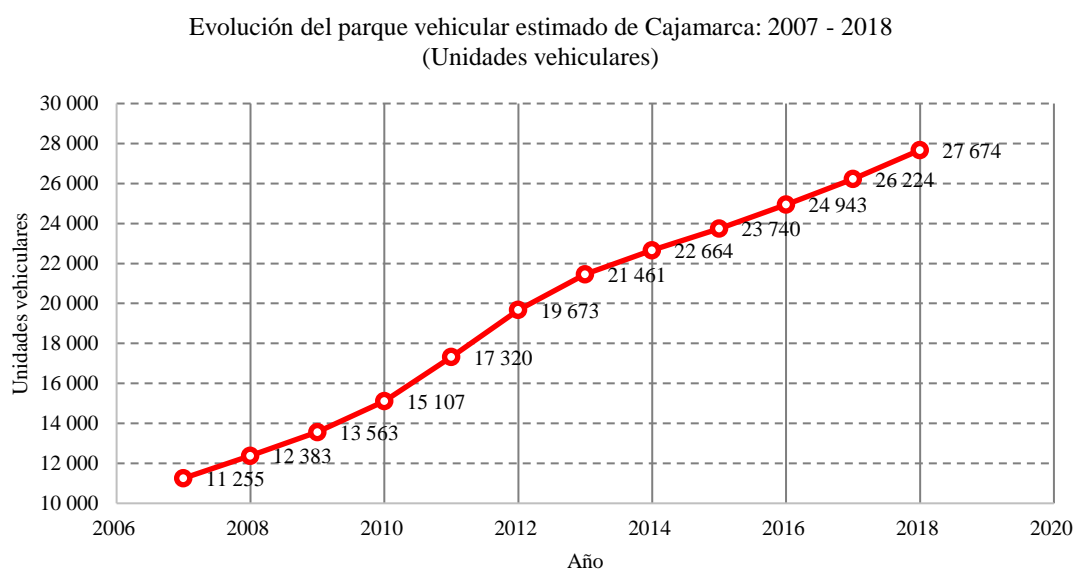


Nota: (MTC, 2018)

Figura 76

Evolución del parque vehicular estimado de la región Cajamarca: 2007 – 2018

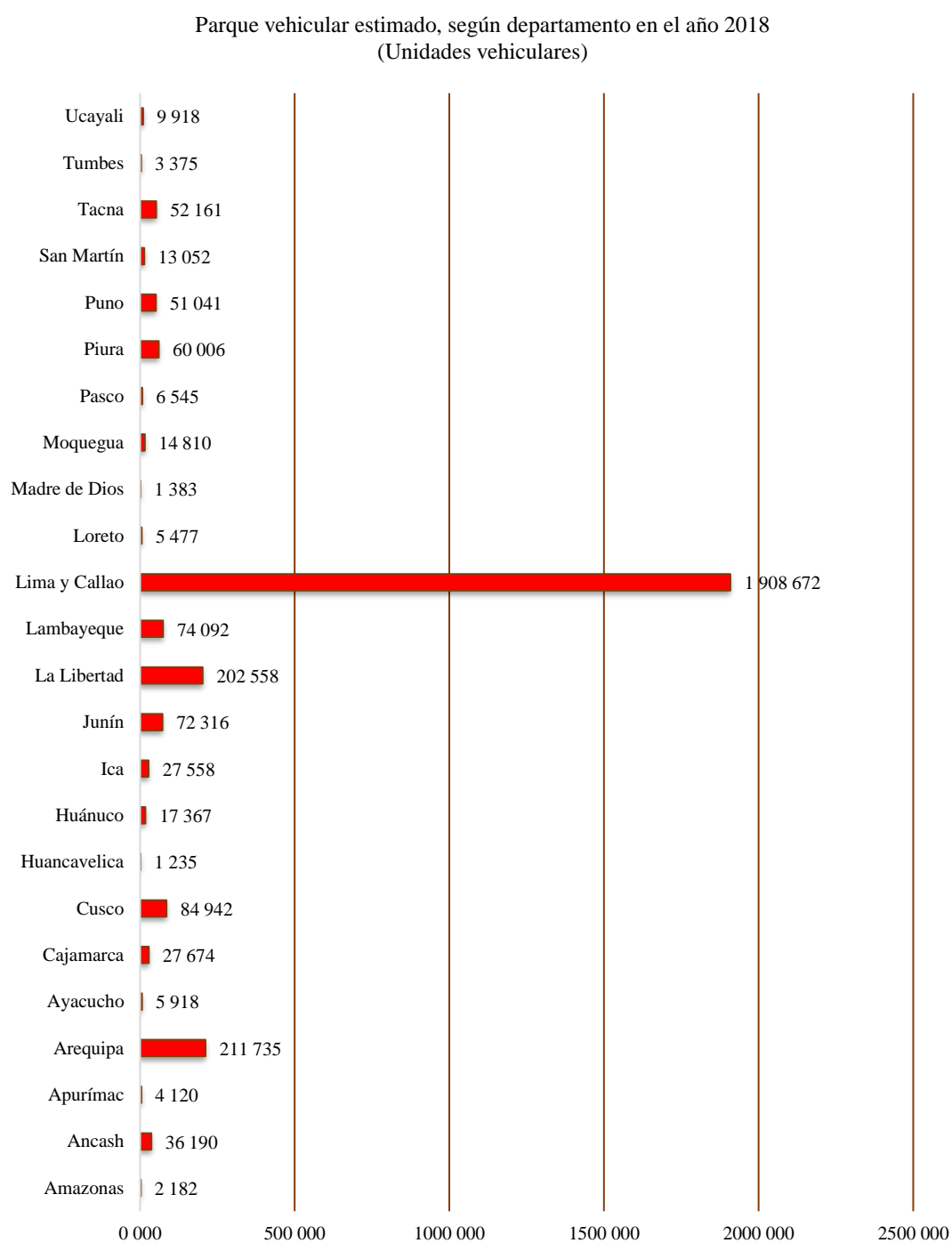
(Unidades vehiculares)



Nota: (MTC, 2018)

Figura 77

Parque vehicular estimado, según departamento en el año 2018 (Unidades vehiculares)



Nota: (MTC, 2018).

Anexo C. Panel fotográfico

Fotografía 1 Neumáticos fuera de uso acoplados por el Jr. Diego Villacorta



Fotografía 2 Neumáticos fuera de uso acoplados en la carretera Chota – Lajas



Fotografía 3 Análisis de granulométrico de los agregados



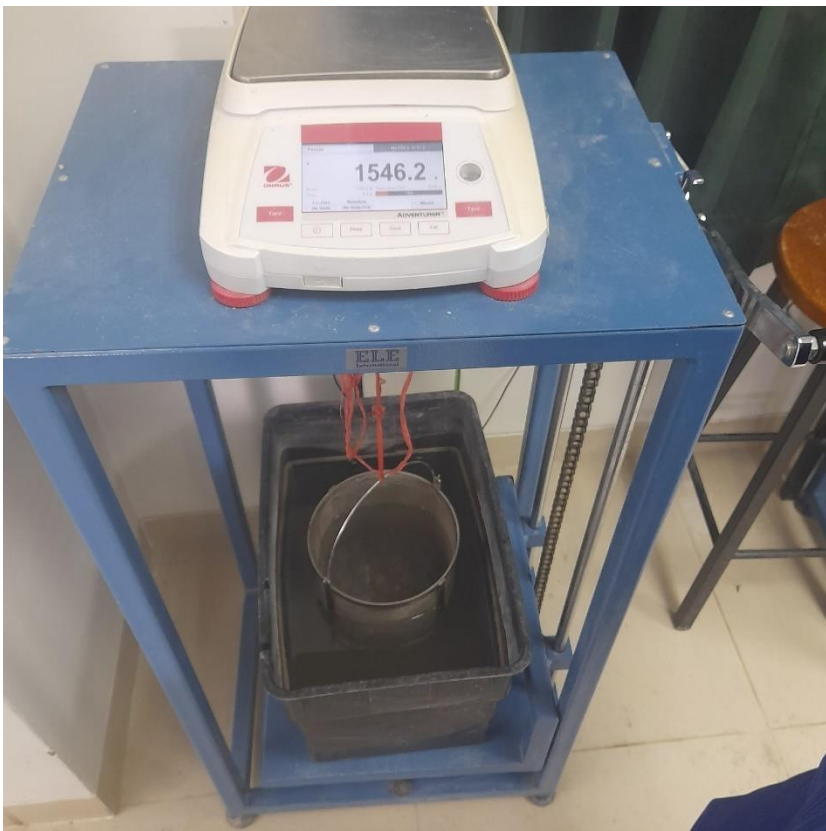
Fotografía 4 Peso de los agregados para el análisis de los ensayos



Fotografía 5 Peso específico de la arena



Fotografía 6 Peso específico de la grava



Fotografía 7 Ensayo del peso unitario compactado del agregado fino



Fotografía 8 Ensayo del peso unitario compactado del agregado fino en presencia de la encargada de laboratorio



Fotografía 9 Ensayo de peso unitario suelto del agregado grueso



Fotografía 10 Ensayo de peso unitario en el caucho granular



Fotografía 11 Ensayo de peso unitario del concreto en estado fresco



Fotografía 12 Ensayo de temperatura del concreto en estado fresco



Fotografía 13 Ensayo de asentamiento del concreto con el Cono de Abrams



Fotografía 14 Colocación de la mezcla en los moldes de madera para la formación de especímenes prismáticos de concreto



Fotografía 15 Probetas de concreto cilíndricas elaboradas para ensayos a compresión en el concreto



Fotografía 16 Curado de especímenes prismáticos para ensayos a flexión en concreto



Fotografía 17 Curado de especímenes cilíndricos para ensayos a compresión del concreto



Fotografía 18 Verificación del proceso de curado de los especímenes por el co - asesor de la investigación



Fotografía 19 Probetas curadas sacadas del agua, para ser trasladadas al laboratorio donde se realizarán los ensayos de compresión



Fotografía 20 Traslado de las probetas de concreto hacia los respectivos laboratorios donde se han realizado los ensayos de compresión y flexión



Fotografía 21 Probetas de concreto en el laboratorio para ser sometidas al ensayo de resistencia a compresión



Fotografía 22 Probeta sometida al ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días



Fotografía 23 Probetas sometidas al ensayo de resistencia a la flexión a los 28 días



Fotografía 24 Probetas luego de ser sometidas a la máquina de rotura para el ensayo de compresión a los 28 días



Fotografía 25 Elaboración de los moldes de madera para realizar la construcción de los modelos: Estructuras a escala para ensayos termoacústicos



Fotografía 26 Encofrados de madera armados para la elaboración de los modelos: Estructuras a escala



Fotografía 27 Preparación de la mezcla de concreto con caucho granular para los modelos a escala



Fotografía 28 Colocación de la mezcla de concreto con caucho granular para la elaboración de modelos a escala



Fotografía 29 Chuzado de la mezcla de concreto para la elaboración de los modelos a escala con concreto con caucho granular en diferentes porcentajes



Fotografía 30 Modelos a escala de concreto con caucho granular pasando por proceso de curado



Fotografía 31 Vista de los modelos a escala ya construidos, donde también se distingue el encofrado armado para la construcción de otras estructuras



Fotografía 32 Realización del ensayo de aislamiento acústico en los modelos a escala de concreto con caucho granular



Fotografía 33 Realización del ensayo de aislamiento térmico en los modelos a escala de concreto con caucho granular



Fotografía 34 Vista de los equipos de sonido utilizados para el ensayo de aislamiento acústico



Anexo D. Resultados de los ensayos de laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

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



**CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO
(NTP 339.185)**

RESPONSABLE: DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA
EDEMER GONZALES IDROGO
UBICACIÓN: DISTRITO DE CHOTA - CHOTA - CAJAMARCA
CANTERA: CHUYABAMBA
MUESTRA: M-1
AGREGADO: PIEDRA CHANCADA COLOR: GRIS

Método de secado al horno para determinar el contenido de humedad del agregado grueso

ENSAYO	1°	2°	3°
Peso de tara (gr)	78.10	80.00	82.70
Peso de tara + muestra húmeda (gr)	1608.10	1778.00	1723.90
Peso de tara + muestra seca (gr)	1598.90	1768.70	1715.40
Peso de la muestra húmeda (gr)	1530.00	1698.00	1641.20
Peso de la muestra seca (gr)	1520.80	1688.70	1632.70
Porcentaje de humedad	0.60%	0.55%	0.52%
Promedio (%)	0.56%		

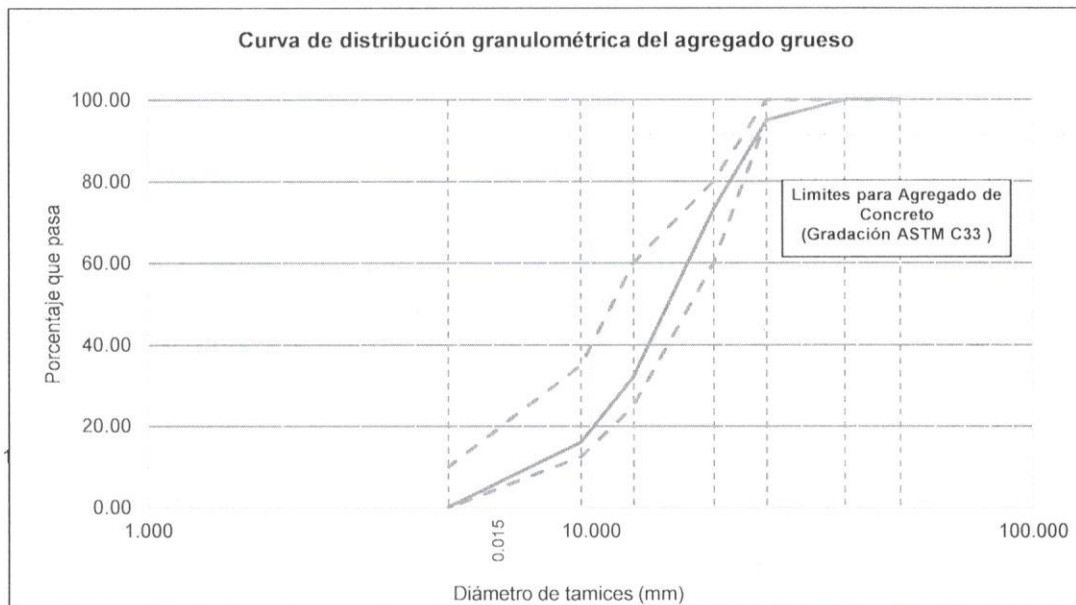


ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO
ASTM 136-93 NTP 400.012

RESPONSABLE: DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA
EDEMER GONZALES IDROGO
UBICACIÓN: DISTRITO DE CHOTA - CHOTA - CAJAMARCA
CANTERA: CHUYABAMBA
MUESTRA: M-1 FORMA: Angular
AGREGADO: PIEDRA CHANCADA COLOR: GRIS

DATOS DE LA MUESTRA			
Peso de la muestra	5 kg	Pérdida de la muestra	0.00%
Tamaño máximo	1 1/2"	Huso:	#57

Tamiz		Peso retenido parcial (kg)	Porcentaje retenido parcial	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa
Nº	Abertura (mm)				
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.000	0.25	5.00	5.00	95.00
3/4"	19.000	1.09	21.80	26.80	73.20
1/2"	12.500	2.05	41.00	67.80	32.20
3/8"	9.500	0.81	16.20	84.00	16.00
#4	4.750	0.79	15.80	99.80	0.20
Cazuela		0.01	0.20	100.00	0.00
TOTAL		5.00	TMN		1"





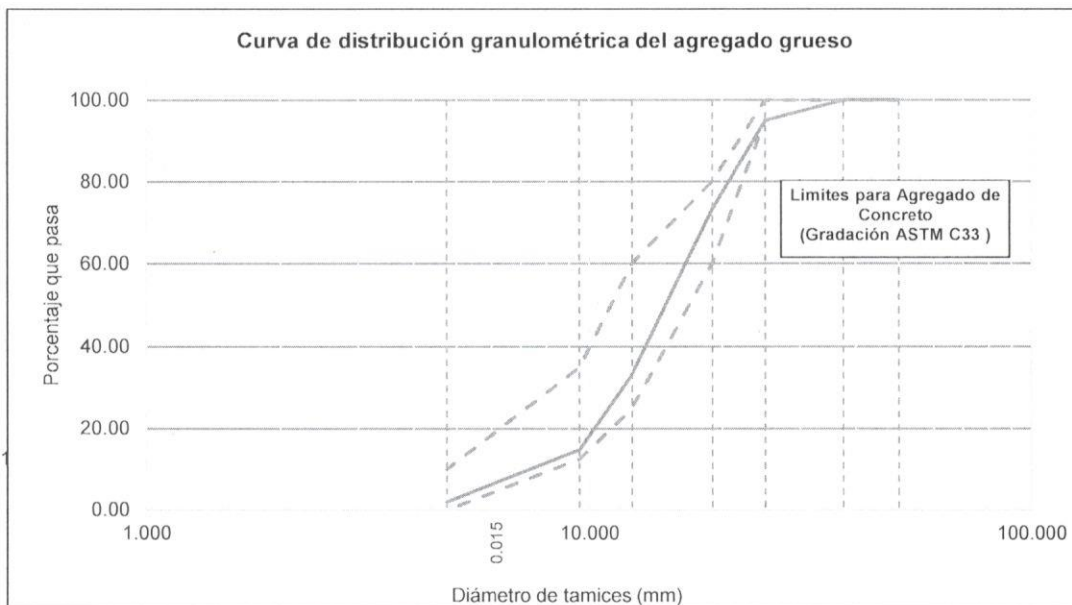
Análisis de la influencia del caucho granular en las propiedades físicas, mecánicas y termoacústicas del concreto liviano, y sus posibles usos en edificaciones de Chota

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO
ASTM 136-93 NTP 400.012

RESPONSABLE: DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA
EDEMER GONZALES IDROGO
UBICACIÓN: DISTRITO DE CHOTA - CHOTA - CAJAMARCA
CANTERA: CHUYABAMBA
MUESTRA: M-2 FORMA: Angular
AGREGADO: PIEDRA CHANCADA COLOR: GRIS

DATOS DE LA MUESTRA			
Peso de la muestra	5.00 kg	Pérdida de la muestra	0.00%
Tamaño máximo	1 1/2"	Huso:	#57

Tamiz		Peso retenido parcial (kg)	Porcentaje retenido parcial	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa
N°	Abertura (mm)				
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.000	0.25	5.00	5.00	95.00
3/4"	19.000	1.09	21.80	26.80	73.20
1/2"	12.500	2.00	40.00	66.80	33.20
3/8"	9.500	0.92	18.40	85.20	14.80
#4	4.750	0.64	12.80	98.00	2.00
Cazuela		0.10	2.00	100.00	0.00
TOTAL		5.00	TMN		1"



(Handwritten signatures)

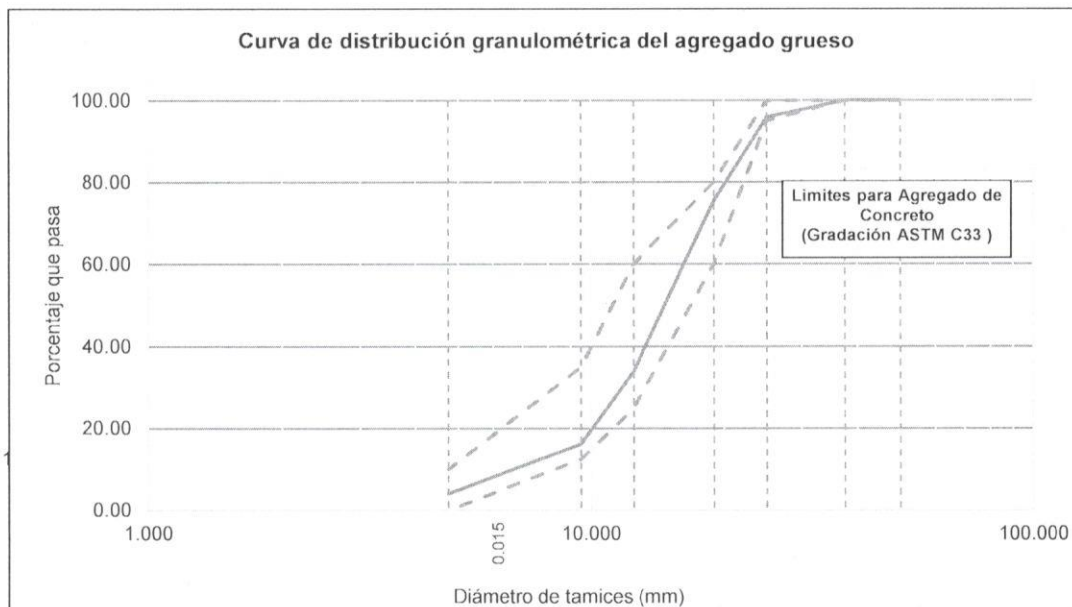


ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO
ASTM 136-93 NTP 400.012

RESPONSABLE: DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA
EDEMER GONZALES IDROGO
UBICACIÓN: DISTRITO DE CHOTA - CHOTA - CAJAMARCA
CANTERA: CHUYABAMBA
MUESTRA: M-3 FORMA: Angular
AGREGADO: PIEDRA CHANCADA COLOR: GRIS

DATOS DE LA MUESTRA			
Peso de la muestra	5 kg	Pérdida de la muestra	0.00%
Tamaño máximo	1 1/2"	Huso:	#57

Tamiz		Peso retenido parcial (kg)	Porcentaje retenido parcial	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa
Nº	Abertura (mm)				
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.000	0.20	4.04	4.04	95.96
3/4"	19.000	1.02	20.61	24.65	75.35
1/2"	12.500	2.05	41.41	66.06	33.94
3/8"	9.500	0.88	17.78	83.84	16.16
#4	4.750	0.60	12.12	95.96	4.04
Cazuela		0.20	4.04	100.00	0.00
TOTAL		4.95	TMN		1"





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



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

**PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO
 (NTP 400.021)**

RESPONSABLE: DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA
 EDEMER GONZALES IDROGO
 UBICACIÓN: DISTRITO DE CONCHAN - CHOTA - CAJAMARCA
 CANTERA: CHUYABAMBA
 MUESTRA: M-1
 AGREGADO: PIEDRA CHANCADA COLOR: GRIS

ENSAYO	1°	2°	3°
* Peso de la cesta en el aire	990.70	990.70	990.70
* Peso de la cesta + Muestra saturada con superficie seca al aire	6384.20	6384.20	6384.20
* Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire (B)	5393.50	5393.50	5393.50
* Peso de la cesta en el agua	862.40	861.20	863.00
* Peso de la cesta + la muestra sumergida en el agua	4235.80	4236.80	4237.80
* Peso en el agua de la muestra saturada (C)	3373.40	3375.60	3374.80
* Peso de la muestra seca en el aire (A)	5350.00	5348.50	5348.49

PESO ESPECÍFICO DE MASA (P_{em})

$$P_{em} = \frac{A}{(B - C)} \times 100$$

PESO ESPECÍFICO DE MASA SATURADA CON SUPERFICIE SECA (P_{eSSS})

$$P_{eSSS} = \frac{B}{(B - C)} \times 100$$

PESO ESPECÍFICO APARENTE (P_{eA})

$$P_{eA} = \frac{A}{(B - C)} \times 100$$

ABSORCIÓN (Ab)

$$A_b(\%) = \frac{(B - A)}{A} \times 100$$

Ensayo	1°	2°	3°	Promedio
A	5350.00	5348.50	5348.49	5349.00
B	5393.50	5393.50	5393.50	5393.50
C	3373.40	3375.60	3374.80	3374.60
Pe=	2.65	2.65	2.65	2.65
Pesss=	2.67	2.67	2.67	2.67
Pa=	2.71	2.71	2.71	2.71
Ab(%)=	0.81	0.84	0.84	0.83



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

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



**PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO
(NTP 400.017)**

RESPONSABLE: DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA
EDEMER GONZALES IDROGO
UBICACIÓN: DISTRITO DE CHOTA - CHOTA - CAJAMARCA
CANTERA: CHUYABAMBA
CALICATA N°: C-1 MUESTRA: M-1
AGREGADO: PIEDRA CHANCADA COLOR: GRIS

PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO GRUESO

ÍTEM	ENSAYO	1°	2°	3°
A	Peso del recipiente (Kg)	4.724	4.724	4.724
B	Peso del recipiente + muestra (Kg)	17.810	17.820	17.780
C	Volumen del molde (m ³)	0.00911	0.00911	0.00911
D	Peso de la muestra (Kg)	13.0864	13.0964	13.0564
	Peso unitario suelto del agregado (Kg/m ³)	1436.39	1437.48	1433.09
	Peso unitario suelto promedio (Kg/m ³)	1435.65		

PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO

ÍTEM	ENSAYO	1°	2°	3°
A	Peso del recipiente (Kg)	4.724	4.724	4.724
B	Peso del recipiente + muestra (Kg)	18.990	17.820	18.990
C	Volumen del molde (m ³)	0.00911	0.00911	0.00911
D	Peso de la muestra (Kg)	14.2664	13.0964	14.27
	Peso unitario compactado del agregado (Kg/m ³)	1565.9	1437.5	1565.91
	Peso unitario compactado promedio (Kg/m ³)	1523.10		



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

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



**PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO
(NTP 400.019)**

RESPONSABLE: DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA
EDEMER GONZALES IDROGO
UBICACIÓN: DISTRITO DE CHOTA - CHOTA - CAJAMARCA
CANTERA: CHUYABAMBA
MUESTRA: M-1
AGREGADO: PIEDRA CHANCADA COLOR: GRIS

DATOS DEL ENSAYO						
TAMAÑO DEL TAMIZ		GRADACIÓN Y PESOS DE LA MUESTRA (g)			Tamaño Maximo Nominal: 1°	
PASA	RETIENE	1			Gradación: A	
1/2'	1	1250	1251	1245		
1'	3/4'	1245	1250	1250		
3/4'	1/2"	1250	1248	1250		
1/2'	3/8"	1250	1250	1250		
3/8"	#4					
RESULTADOS OBTENIDOS						
PESO TOTAL (g)		4995	4999	4995		
PESO DESPÚES DEL ENSAYO (g)		3800	3950	3875		
PESO PÉRDIDO (G)		1195	1049	1120		
N° DE ESFERAS		12	12	12		
N° DE REVOLUCIONES (rpm)		1000	1000	1000		
PESO DE LAS ESFERAS (g)		5009	5009	5009		
PORCENTAJE DE DESGATE (%)		23.92	20.98	22.42		
PROMEDIO (%)					22.44	



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

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



**CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO
(NTP 339.185)**

RESPONSABLE: DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA
EDEMER GONZALES IDROGO
UBICACIÓN: DISTRITO DE CONCHAN - CHOTA - CAJAMARCA
CANTERA: CANTERA CONCHAN
MUESTRA: M-1
AGREGADO: ARENA COLOR: ANARANJADO

Método de secado al horno para determinar el contenido de humedad del agregado fino

ENSAYO	1°	2°	3°
Peso de tara (gr)	50.00	70.00	40.00
Peso de tara + muestra húmeda (gr)	1240.00	1700.00	1200.00
Peso de tara + muestra seca (gr)	1210.10	1677.00	1172.20
Peso de la muestra húmeda (gr)	1190.00	1630.00	1160.00
Peso de la muestra seca (gr)	1160.10	1607.00	1132.20
Porcentaje de humedad	2.58%	1.43%	2.46%
Promedio (%)	2.15%		

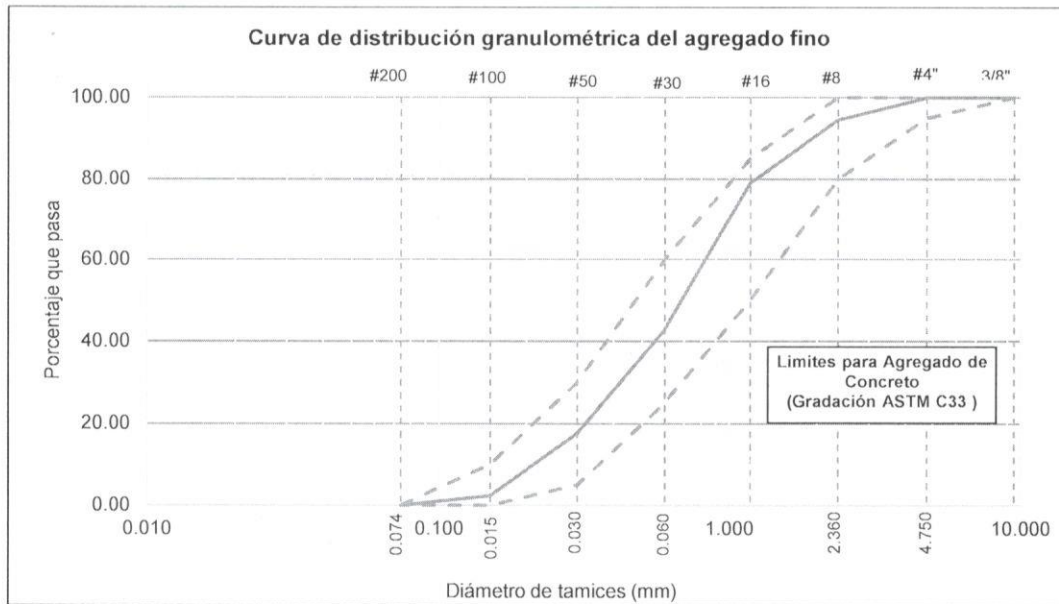


ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO
ASTM 136-93 NTP 400.012

RESPONSABLE: DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA
EDEMER GONZALES IDROGO
UBICACIÓN: DISTRITO DE CONCHAN - CHOTA - CAJAMARCA
CANTERA: CANTERA CONCHAN
MUESTRA: M-1
AGREGADO: ARENA COLOR: ANARANJADO

DATOS DE LA MUESTRA			
Peso de la muestra	1000 gr	Pérdida de la muestra	0.37%
Tamaño máximo	# 4	Uso:	Agregado para concreto

	Tamiz	Peso retenido parcial (gr)	Porcentaje retenido parcial	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa		
						Nº	Abertura (mm)
Tamizado usando peso seco fracción fina	GRUESA	3/8"	9.500	0.00	0.00	100.00	
		# 4	4.750	0.30	0.03	0.03	99.97
	FINA	# 8	2.360	54.20	5.44	5.47	94.53
		# 16	1.180	154.30	15.49	20.96	79.04
		# 30	0.600	360.80	36.21	57.17	42.83
		# 50	0.300	251.10	25.20	82.37	17.63
		# 100	0.150	152.60	15.32	97.69	2.31
		Cazuela	#200	0.074	23.00	2.31	100.00
TOTAL		996.30	Modulo de finura MF=		2.64		



[Handwritten signatures]



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

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

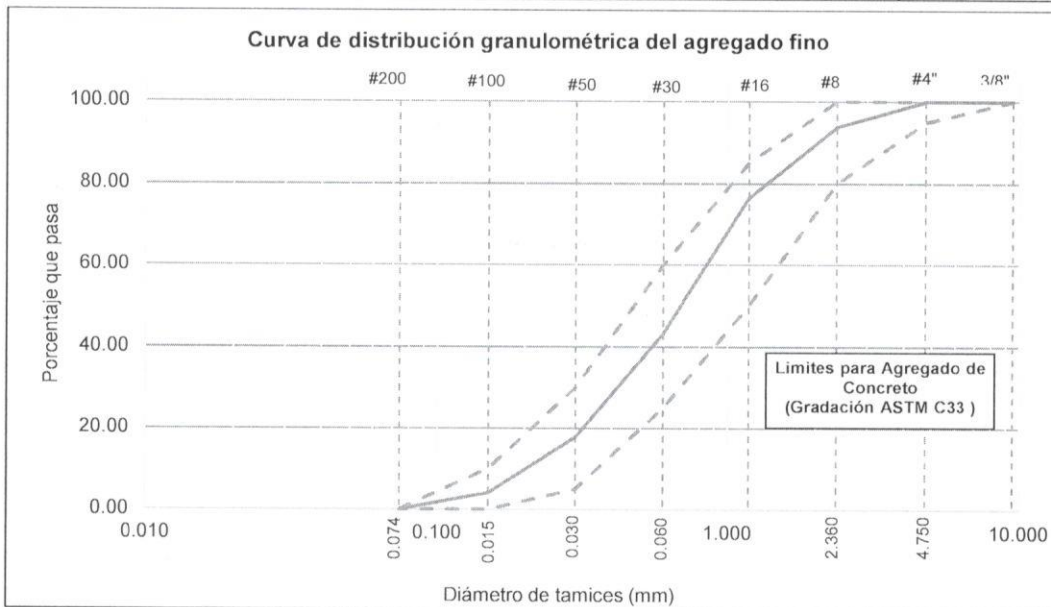


ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO
ASTM 136-93 NTP 400.012

RESPONSABLE: DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA
EDEMER GONZALES IDROGO
UBICACIÓN: DISTRITO DE CONCHAN - CHOTA - CAJAMARCA
CANTERA: CANTERA CONCHAN
MUESTRA: M-2
AGREGADO: ARENA COLOR: ANARANJADO

DATOS DE LA MUESTRA			
Peso de la muestra	1000 gr	Pérdida de la muestra	0.95%
Tamaño máximo	# 4	Uso:	Agregado para concreto

	Tamiz	N°	Abertura (mm)	Peso retenido parcial (gr)	Porcentaje retenido parcial	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa
Tamizado usando peso seco fracción fina	GRUESA	3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
		# 4	4.750	0.80	0.08	0.08	99.92
		# 8	2.360	60.60	6.12	6.20	93.80
	MEDIA	# 16	1.180	171.50	17.31	23.51	76.49
		# 30	0.600	329.30	33.24	56.75	43.25
		# 50	0.300	252.50	25.49	82.24	17.76
	FINA	# 100	0.150	135.50	13.68	95.92	4.08
Cazuela		#200	0.074	40.40	4.08	100.00	0.00
TOTAL				990.60	Modulo de finura MF=		2.65



(Handwritten signatures)

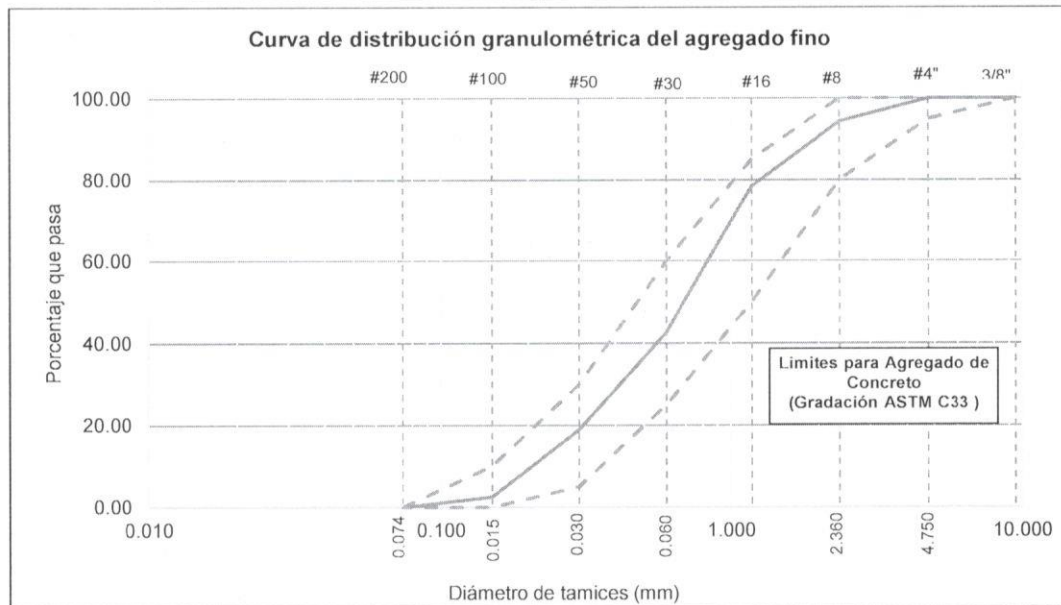


ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO
ASTM 136-93 NTP 400.012

RESPONSABLE: DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA
EDEMER GONZALES IDROGO
UBICACIÓN: DISTRITO DE CONCHAN - CHOTA - CAJAMARCA
CANTERA: CANTERA CONCHAN
MUESTRA: M-3
AGREGADO: ARENA COLOR: ANARANJADO

DATOS DE LA MUESTRA			
Peso de la muestra	1000 gr	Pérdida de la muestra	0.58%
Tamaño máximo	# 4	Uso:	Agregado para concreto

	Tamiz		Peso retenido parcial (gr)	Porcentaje retenido parcial	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa	
	N°	Abertura (mm)					
Tamizado usando peso seco fracción fina ARENA	GRUESA	3/8"	9.500	0.00	0.00	100.00	
		# 4	4.750	0.60	0.06	99.94	
		# 8	2.360	54.80	5.51	5.57	94.43
	MEDIA	# 16	1.180	159.40	16.03	21.61	78.39
		# 30	0.600	355.10	35.72	57.32	42.68
		# 50	0.300	236.30	23.77	81.09	18.91
	FINA	# 100	0.150	162.90	16.39	97.48	2.52
Cazuela		#200	0.074	25.10	2.52	100.00	0.00
TOTAL			994.20	Modulo de finura MF=		2.63	



[Handwritten signature]



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



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

**CANTIDAD DE MATERIAL QUE PASA TAMIZ #200
(NTP 400.018)**

RESPONSABLE: DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA
EDEMER GONZALES IDROGO
UBICACIÓN: DISTRITO DE CONCHAN - CHOTA - CAJAMARCA
CANTERA: CANTERA CONCHAN
MUESTRA: M-1
AGREGADO: ARENA COLOR: ANARANJADO

ENSAYO	1°	2°	3°
Peso de tara (gr)	73.00	74.00	70.00
Peso de tara + muestra (gr)	1073.00	1074.00	1070.00
Peso seco de la muestra inicial (gr)	1000.00	1000.00	1000.00
Peso de tara + muestra lavada seca (gr)	1009.10	1017.10	1007.00
Peso seco de muestra ensayada (gr)	936.10	943.10	937.00
Material que pasa la malla # 200 (gr)	63.90	56.90	63.00
Porcentaje que pasa la malla # 200	6.39%	5.69%	6.30%
Promedio (%)	6.13%		



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

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



**PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO
(NTP 400.022)**

RESPONSABLE: DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA
EDEMER GONZALES IDROGO
UBICACIÓN: DISTRITO DE CONCHAN - CHOTA - CAJAMARCA
CANTERA: CANTERA CONCHAN
MUESTRA: M-1
AGREGADO: ARENA COLOR: ANARANJADO

ITEM	ENSAYO	1°	2°	3°
	Peso de la fiola (500 ml)	283.90	283.90	283.90
	Peso de la tara (gr)	46.30	46.30	46.30
	Peso final de la muestra + tara (gr)	524.30	524.30	524.30
A	Peso de la muestra seca en el horno	478.00	478.00	478.00
B	Peso de la fiola llenado con agua hasta la marca de calibración (gr)	1271.20	1271.20	1271.20
C	Peso de la fiola con la muestra y agua hasta la marca de calibración (gr)	1575.10	1575.10	1575.10
S	Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	500.00	500.00	500.00
	Densidad del agua (gr/cm ³)	0.999	0.999	0.999
Pem	Densidad específica de masa (gr/cm ³)	2.44	2.44	2.44
PeSSS	Densidad saturada superficialmente seca (gr/cm ³)	2.55	2.55	2.55
Pea	Densidad aparente (gr/cm ³)	2.74	2.74	2.74
Ab	Absorción (%)	4.60%	4.60%	4.60%
Pem	Densidad específica de masa promedio (gr/cm ³)	2.44		
PeSSS	Densidad saturada superficialmente seca promedio (gr/cm ³)	2.55		
Pea	Densidad aparente promedio (gr/cm ³)	2.743		
Ab	Absorción promedio (%)	4.60%		



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

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



**PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO
(NTP 400.017)**

RESPONSABLE: DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA
EDEMER GONZALES IDROGO
UBICACIÓN: DISTRITO DE CONCHAN - CHOTA - CAJAMARCA
CANTERA: CANTERA CONCHAN
MUESTRA: M-1
AGREGADO: ARENA COLOR: ANARANJADO

PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO FINO

ÍTEM	ENSAYO	1°	2°	3°
A	Peso del recipiente (Kg)	1.646	1.646	1.646
B	Peso del recipiente + muestra (Kg)	5.785	5.685	5.659
C	Volumen del molde (m ³)	0.0028	0.0028	0.0028
D	Peso de la muestra (Kg)	4.139	4.039	4.013
	Peso unitario suelto del agregado (Kg/m ³)	1476.88	1441.13	1431.86
	Peso unitario suelto promedio (Kg/m ³)	1449.96		

PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO FINO

ÍTEM	ENSAYO	1°	2°	3°
A	Peso del recipiente (Kg)	1.646	1.646	1.646
B	Peso del recipiente + muestra (Kg)	6.115	6.108	6.169
C	Volumen del molde (m ³)	0.0028	0.0028	0.0028
D	Peso de la muestra (Kg)	4.4689	4.4622	4.52
	Peso unitario compactado del agregado (Kg/m ³)	1594.52	1592.13	1613.79
	Peso unitario compactado promedio (Kg/m ³)	1600.15		



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

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



**CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO
(NTP 339.185)**

RESPONSABLE: DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA
EDEMER GONZALES IDROGO
UBICACIÓN: DISTRITO DE CHOTA - CHOTA - CAJAMARCA
MATERIAL CAUCHO GRANULAR
MUESTRA: M-1 COLOR: GRIS

Método de secado al horno para determinar el contenido de humedad del agregado grueso

ENSAYO	1°	2°	3°
Peso de tara (gr)	78.10	80.00	82.70
Peso de tara + muestra húmeda (gr)	128.10	130.00	132.70
Peso de tara + muestra seca (gr)	128.10	130.00	132.69
Peso de la muestra húmeda (gr)	50.00	50.00	50.00
Peso de la muestra seca (gr)	50.00	50.00	49.99
Porcentaje de humedad	0.00%	0.00%	0.02%
Promedio (%)	0.007%		



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



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

**PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO
 (NTP 400.021)**

RESPONSABLE: DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA
 EDEMER GONZALES IDROGO
 UBICACIÓN: DISTRITO DE CONCHAN - CHOTA - CAJAMARCA
 MATERIAL: CAUCHO GRANULAR
 MUESTRA: M-1 COLOR: GRIS

ENSAYO	1°	2°	3°
* Peso de la cesta en el aire	990.70	990.70	990.70
* Peso de la cesta + Muestra saturada con superficie seca al aire	3090.70	3090.00	3092.00
* Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire (B)	2100.00	2099.30	2101.30
* Peso de la cesta en el agua	862.40	861.20	863.00
* Peso de la cesta + la muestra sumergida en el agua	1362.40	1364.00	1361.00
* Peso en el agua de la muestra saturada (C)	500.00	502.80	498.00
* Peso de la muestra seca en el aire (A)	1980.00	1982.00	1980.00

PESO ESPECÍFICO DE MASA (P_{em})

$$P_{em} = \frac{A}{(B - C)} \times 100$$

PESO ESPECÍFICO DE MASA SATURADA CON SUPERFICIE SECA (P_{esss})

$$P_{esss} = \frac{B}{(B - C)} \times 100$$

PESO ESPECÍFICO APARENTE (P_{ea})

$$P_{ea} = \frac{A}{(B - C)} \times 100$$

ABSORCIÓN (A_b)

$$A_b(\%) = \frac{(B - A)}{A} \times 100$$

Ensayo	1°	2°	3°	Promedio
A	1980.00	1982.00	1980.00	1980.67
B	2100.00	2099.30	2101.30	2100.20
C	500.00	502.80	498.00	500.27
Pe=	1.24	1.24	1.23	1.24
Pesss=	1.31	1.31	1.31	1.31
Pa=	1.34	1.34	1.34	1.34
Ab(%)=	6.06	5.92	6.13	6.04



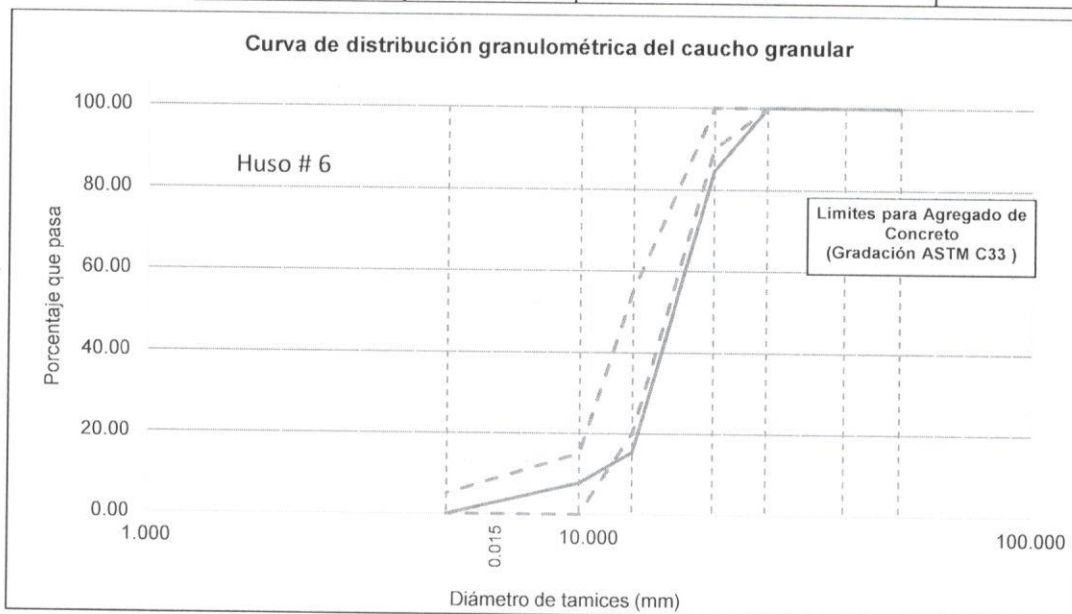
Análisis de la influencia del caucho granular en las propiedades físicas, mecánicas y termoacústicas del concreto liviano, y sus posibles usos en edificaciones de Chota

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO
ASTM 136-93 NTP 400.012**

RESPONSABLE: DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA
EDEMER GONZALES IDROGO
UBICACIÓN: DISTRITO DE CHOTA - CHOTA - CAJAMARCA
MATERIAL: CAUCHO GRANULAR
MUESTRA: M-1 COLOR: GRIS

DATOS DE LA MUESTRA			
Peso de la muestra	1.3 kg	Pérdida de la muestra	0.00%
Tamaño máximo	3/4"	Huso:	#6

Tamiz		Peso retenido parcial (kg)	Porcentaje retenido parcial	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa
Nº	Abertura (mm)				
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.000	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	0.20	15.38	15.38	84.62
1/2"	12.500	0.90	69.23	84.62	15.38
3/8"	9.500	0.10	7.69	92.31	7.69
#4	4.750	0.10	7.69	100.00	0.00
Cazuela		0.00	0.00	100.00	0.00
TOTAL		1.30	TMN		1/2"



(Handwritten signatures)



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

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



PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO
(NTP 400.017)

RESPONSABLE: DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA
EDEMER GONZALES IDROGO
UBICACIÓN: DISTRITO DE CHOTA - CHOTA - CAJAMARCA
MATERIAL: CAUCHO GRANULAR
MUESTRA: M-1 COLOR: GRIS

PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO GRUESO

ÍTEM	ENSAYO	1°	2°	3°
A	Peso del recipiente (Kg)	4.724	4.724	4.724
B	Peso del recipiente + muestra (Kg)	9.210	9.250	9.240
C	Volumen del molde (m ³)	0.00911	0.00911	0.00911
D	Peso de la muestra (Kg)	4.4864	4.5264	4.5164
	Peso unitario suelto del agregado (Kg/m ³)	492.44	496.83	495.73
	Peso unitario suelto promedio (Kg/m ³)	495.00		

PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO

ÍTEM	ENSAYO	1°	2°	3°
A	Peso del recipiente (Kg)	4.724	4.724	4.724
B	Peso del recipiente + muestra (Kg)	9.820	9.780	9.740
C	Volumen del molde (m ³)	0.00911	0.00911	0.00911
D	Peso de la muestra (Kg)	5.0964	5.0564	5.02
	Peso unitario compactado del agregado (Kg/m ³)	559.4	555.0	550.61
	Peso unitario compactado promedio (Kg/m ³)	555.00		



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

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



**PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO
(NTP 400.019)**

RESPONSABLE: DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA
EDEMER GONZALES IDROGO
UBICACIÓN: DISTRITO DE CHOTA - CHOTA - CAJAMARCA
MATERIAL: CAUCHO GRANULAR
MUESTRA: M-1 COLOR: GRIS

DATOS DEL ENSAYO						
TAMAÑO DEL TAMIZ		GRADACIÓN Y PESOS DE LA MUESTRA (g)			Tamaño Maximo Nominal: 1/2"	
PASA	RETIENE	1			Gradación: B	
1/2'	1	0	0	0		
1'	3/4'	50	50	50		
3/4'	1/2"	1252	1253	1250		
1/2"	3/8"					
3/8"	#4					
RESULTADOS OBTENIDOS						
PESO TOTAL (g)		1302	1303	1300		
PESO DESPÜES DEL ENSAYO (g)		1290	1295	1295		
PESO PÉRDIDO (G)		12	8	5		
N° DE ESFERAS		12	12	12		
N° DE REVOLUCIONES (rpm)		1000	1000	1000		
PESO DE LAS ESFERAS (g)		5009	5009	5009		
PORCENTAJE DE DESGATE (%)		0.92	0.61	0.38		
PROMEDIO (%)					0.64	



Universidad Nacional Autónoma de Chota

Facultad de Ingeniería
Escuela Profesional de Ingeniería Civil

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

DISEÑO DE MEZCLA $f'c = 175 \text{ Kg/cm}^2$

Método del comité 211 - ACI

Pacasmayo Tipo I
Materiales - UNACH

Agregado Fino : Cantera Conchán
Agregado Grueso: Cantera Chuyabamba

Propiedades	Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	Agua
Tamaño Máximo Nominal	-	#4	1"	-
Módulo de finura	-	2.64	-	-
Peso Específico	3100 Kg/m ³	2440 Kg/m ³	2650 Kg/m ³	1000 Kg/m ³
Porcentaje de Absorción	-	4.60%	0.83%	Potable
Peso unitario Seco Suelto	1400 Kg/m ³	1450 Kg/m ³	1436 Kg/m ³	
Peso unitario Compactado	-	1600 Kg/m ³	1523 Kg/m ³	
Contenido de humedad	-	2.15%	0.56%	

Cálculos

1. Resistencia Promedio Tabla N° ...	245 Kg/cm ²
2. Tamaño Máximo Nominal	1"
3. Asentamiento	3" - 4"
4. Contenido de Aire Atrapado Tabla N° ...	1.5%
5. Volumen unitario de agua Tabla N° ...	193
6. Relación Agua- Cemento Tabla N° ...	0.63
7. Factor Cemento	307 Kg/m ³

Resistencia Especificada

175 Kg/cm²

250	————	0.62
245	————	a/c
200	————	0.70

$F_c = 7.23$ Bolsas/m³

3.00	————	0.65
2.80	————	0.67
2.64	————	b/b0

8. Cantidad de agregado grueso Tabla N° ...	0.69
$Peso A.G. = \frac{b}{b_0} \times P.U.C$	1045 Kg

9. Volumen de agregado fino	0.299 m ³
Cemento	0.099
Agregado Grueso	0.394
Agua	0.193
Aire	0.015
Total	0.701
10. Cantidad de agregado fino	729 Kg

11. Cantidades de diseño

Cemento:	307 Kg/m ³
A. Fino:	729 Kg
A. Grueso:	1045 Kg
Agua:	193 lt

12. Corrección por humedad de agregados

= 744 Kg	• Humedad Superficial	• Aporte de humedad de agregados
= 1051 Kg	A. Fino = -2.450%	Agregado Fino = -17.85
	A. Grueso = -0.270%	Agregado Grueso = -2.82
		Total = -20.67

- Aporte de agua a la mezcla

Agua Efectiva
214 lt

Cantidades corregidas por humedad	
Cemento:	307 Kg/m ³
A. Fino:	744 Kg/m ³
A. Grueso:	1051 Kg/m ³
Agua:	214 Kg/m ³

13. Proporción en peso

- Proporciones en peso seco

1 : 2.4 : 3.4 : 26.7 lt/Bls

- Proporciones en peso húmedo

1 : 2.4 : 3.4 : 29.5 lt/Bls

Cantidad de material
para una bolsa →

Cemento = 42.5 Kg
 Agregado Fino = 102.9 Kg
 Agregado Grueso = 145.3 Kg
 Agua = 29.5 lt

14. Proporciones en volumen para un balde

1.5 : 3.5 : 5.1 : 1.5

Ingeniero de Especialista

Asesor

[Handwritten signature]

[Handwritten signature]



PESO UNITARIO DEL CONCRETO Y CONTENIDO DE AIRE
NTP 339.046 - ASMT C138

TESIS: 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
 RESPONSABLE: Dixon Antony Asenjo Guevara, Edemer Gonzales Idrogo
 UBICACIÓN: - CHOTA - CAJAMARCA

PESO UNITARIO DEL CONCRETO EN PROBETAS

PROBETA	% DE CAUCHO GRANULAR	PESO MOLDE	PESO DE MOLDE + CONCRETO FRESCO	PESO DEL CONCRETO FRESCO (Kg)	DIAMETRO (CM)	ALTURA (CM)	DIAMETRO (M)	ALTURA (M)	VOLUMEN (M ³)	PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO KG/M ³	PESO DEL CONCRETO ENDURECIDO (Kg)	PESO UNITARIO DEL CONCRETO ENDURECIDO KG/M ³
M1	0	0.26	13.35	13.09	15.00	30.00	0.15	0.300	0.0053	2469.14	13.06	2463.48
M2	0	0.27	13.21	12.94	15.00	30.00	0.15	0.300	0.0053	2440.85	13.21	2491.78
M3	0	0.26	13.21	12.95	15.00	30.00	0.15	0.300	0.0053	2442.73	13.22	2493.66
M4	0	0.26	13.39	13.13	15.00	30.00	0.15	0.300	0.0053	2476.69	13.08	2467.26
M5	0	0.27	13.23	12.96	15.00	30.00	0.15	0.300	0.0053	2444.62	13.22	2493.66
M6	0	0.27	13.4	13.13	15.00	30.00	0.15	0.300	0.0053	2476.69	13.11	2472.91
M7	0	0.26	13.37	13.11	15.00	30.00	0.15	0.300	0.0053	2472.91	13.19	2488.00
M8	0	0.27	13.34	13.07	15.00	30.00	0.15	0.300	0.0053	2465.37	13.26	2501.21
M9	0	0.26	13.24	12.98	15.00	30.00	0.15	0.300	0.0053	2448.39	13.24	2497.44
M10	10	0.27	12.51	12.24	15.00	30.00	0.15	0.300	0.0053	2308.81	12.2	2301.26
M11	10	0.26	12.51	12.25	15.00	30.00	0.15	0.300	0.0053	2310.69	12.21	2303.15
M12	10	0.26	12.55	12.29	15.00	30.00	0.15	0.300	0.0053	2318.24	12.26	2312.58
M13	10	0.26	12.64	12.38	15.00	30.00	0.15	0.300	0.0053	2335.22	12.34	2327.67
M14	10	0.25	12.51	12.26	15.00	30.00	0.15	0.300	0.0053	2312.58	12.23	2306.92
M15	10	0.25	12.6	12.35	15.00	30.00	0.15	0.300	0.0053	2329.56	12.33	2325.78
M16	10	0.25	12.48	12.23	15.00	30.00	0.15	0.300	0.0053	2306.92	12.2	2301.26
M17	10	0.25	12.58	12.33	15.00	30.00	0.15	0.300	0.0053	2325.78	12.3	2320.13
M18	10	0.25	12.65	12.4	15.00	30.00	0.15	0.300	0.0053	2338.99	12.36	2331.44
M19	25	0.25	11.23	10.98	15.00	30.00	0.15	0.300	0.0053	2071.14	11.93	2250.33
M20	25	0.26	11.04	10.78	15.00	30.00	0.15	0.300	0.0053	2033.41	11.74	2214.49
M21	25	0.25	11.14	10.89	15.00	30.00	0.15	0.300	0.0053	2054.16	11.84	2233.36
M22	25	0.27	11.21	10.94	15.00	30.00	0.15	0.300	0.0053	2063.59	11.89	2242.79
M23	25	0.26	11.25	10.99	15.00	30.00	0.15	0.300	0.0053	2073.02	11.75	2216.38
M24	25	0.26	11.13	10.87	15.00	30.00	0.15	0.300	0.0053	2050.39	11.82	2229.58
M25	25	0.27	11.13	10.86	15.00	30.00	0.15	0.300	0.0053	2048.50	11.81	2227.70
M26	25	0.27	11.12	10.85	15.00	30.00	0.15	0.300	0.0053	2046.61	11.79	2223.93
M27	25	0.27	11.18	10.91	15.00	30.00	0.15	0.300	0.0053	2057.93	11.85	2235.24
M28	50	0.26	10.19	9.93	15.00	30.00	0.15	0.300	0.0053	1873.08	10.88	2052.27
M29	50	0.26	10.05	9.79	15.00	30.00	0.15	0.300	0.0053	1846.67	10.73	2023.98
M30	50	0.26	10.09	9.83	15.00	30.00	0.15	0.300	0.0053	1854.21	10.77	2031.52
M31	50	0.25	10.14	9.89	15.00	30.00	0.15	0.300	0.0053	1865.53	10.82	2040.96
M32	50	0.27	10.21	9.94	15.00	30.00	0.15	0.300	0.0053	1874.96	10.88	2052.27
M33	50	0.26	10.2	9.94	15.00	30.00	0.15	0.300	0.0053	1874.96	10.89	2054.16
M34	50	0.26	10.13	9.87	15.00	30.00	0.15	0.300	0.0053	1861.76	10.82	2040.96
M35	50	0.26	10.11	9.85	15.00	30.00	0.15	0.300	0.0053	1857.99	10.79	2035.30
M36	50	0.26	10.11	9.85	15.00	30.00	0.15	0.300	0.0053	1857.99	10.8	2037.18

CONTENIDO DE AIRE (OLLA WASHINGTON)

Porcentaje de caucho granular	Porcentaje de contenido de aire
0%	1.43%
10%	1.51%
25%	1.55%
50%	1.72%

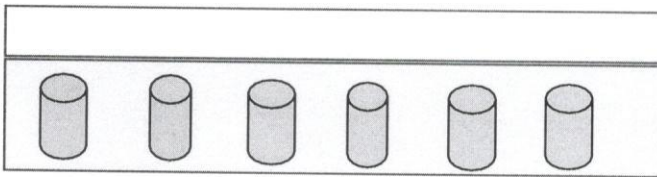


ABSORCIÓN DEL CONCRETO
NTP 399.602 (INACAL, 2018)

TESIS: 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

RESPONSABLE: Dixon Antony Asenjo Guevara
Edemer Gonzales Idrogo

UBICACIÓN: Distrito de Chota - Chota - Cajamarca



El ensayo de absorción en muestras cilíndricas de concreto se ha realizado de forma semejante al ensayo de absorción en bloques de concreto conforme a la NTP 399.602 (INACAL, 2018).

CONCRETO CON 25% DE CAUCHO GRANULAR			
Bloque de concreto	Peso sumersión (kg)	Peso seco (kg)	Absorción (%)
1	13.10	11.80	11.02
2	13.15	11.78	11.63
3	13.18	11.85	11.22
4	13.14	11.80	11.36
5	13.12	11.78	11.38
6	13.14	11.80	11.36
Promedio	13.14	11.80	11.33
Absorción máxima			11.63

CONCRETO CON 50% DE CAUCHO GRANULAR			
Bloque de concreto	Peso sumersión (kg)	Peso seco (kg)	Absorción (%)
1	12.30	10.84	13.47
2	12.28	10.82	13.49
3	12.25	10.81	13.32
4	12.20	10.79	13.07
5	12.27	10.80	13.61
6	12.21	10.80	13.06
Promedio	12.25	10.81	13.34
Absorción máxima			13.61

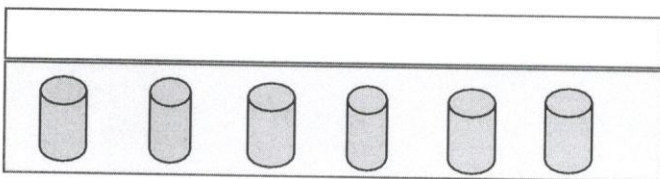


ABSORCIÓN DEL CONCRETO
NTP 399.602 (INACAL, 2018)

TESIS: 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

RESPONSABLE: Dixon Antony Asenjo Guevara
Edemer Gonzales Idrogo

UBICACIÓN: Distrito de Chota - Chota - Cajamarca



El ensayo de absorción en muestras cilíndricas de concreto se ha realizado de forma semejante al ensayo de absorción en bloques de concreto conforme a la NTP 399.602 (INACAL, 2018).

CONCRETO CON 0% DE CAUCHO GRANULAR			
Muestra	Peso sumersión (kg)	Peso seco (kg)	Absorción (%)
1	14.15	13.20	7.20
2	14.08	13.23	6.42
3	14.12	13.23	6.73
4	14.10	13.23	6.58
5	14.10	13.23	6.58
6	14.12	13.22	6.81
Promedio	14.11	13.22	6.72
Absorción máxima			7.20

CONCRETO CON 10% DE CAUCHO GRANULAR			
Bloque de concreto	Peso sumersión (kg)	Peso seco (kg)	Absorción (%)
1	13.40	12.29	9.03
2	13.42	12.25	9.55
3	13.40	12.28	9.12
4	13.41	12.27	9.29
5	13.40	12.25	9.39
6	13.50	12.28	9.93
Promedio	13.42	12.27	9.39
Absorción máxima			9.93

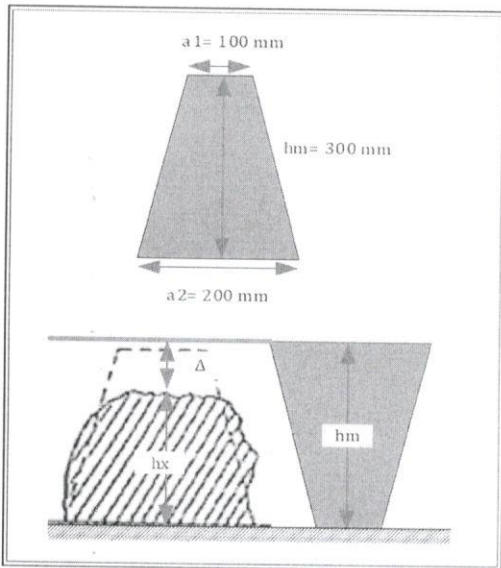


ASENTAMIENTO DEL CONCRETO
NTP 339.035

TESIS: 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

RESPONSABLE: Dixon Antony Asenjo Guevara
 Edemer Gonzales Idrogo

UBICACIÓN: Distrito de Chota - Chota - Cajamarca



PROCESO DE ENSAYO	
CAPAS	Nº DE GOLPES
1	25
2	25
3	25

CONSISTENCIA EN CONO		
CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO (cm)	
Seca	0	5.08
Plástica	7.62	10.16
Fluida	≥12.7	

CONCRETO CON 50% DE CAUCHO GRANULAR

PROBETA	% DE CAUCHO GRANULAR	SLUMP (pulg)	SLUMP (cm)	CONSISTENCIA	TEMPERATURA (°C)	
					AMBIENTAL	MEZCLA
M19	50	2.60	6.60	Semi plástica	18	29
M20	50	2.50	6.35	Semi plástica	19	28
M21	50	2.60	6.60	Semi plástica	18	30
M22	50	2.50	6.35	Semi plástica	19	28
M23	50	2.70	6.86	Semi plástica	19	26
M24	50	2.55	6.48	Semi plástica	19	27
Promedio		2.58	6.54	Semi plástica	18.67	28.00
Mínimo		2.50	6.35		18.00	26.00
Máximo		2.70	6.86		19.00	30.00
Dev. Estándar		0.08	0.19		0.52	1.41
C.V.		0.03	0.03		0.03	0.05

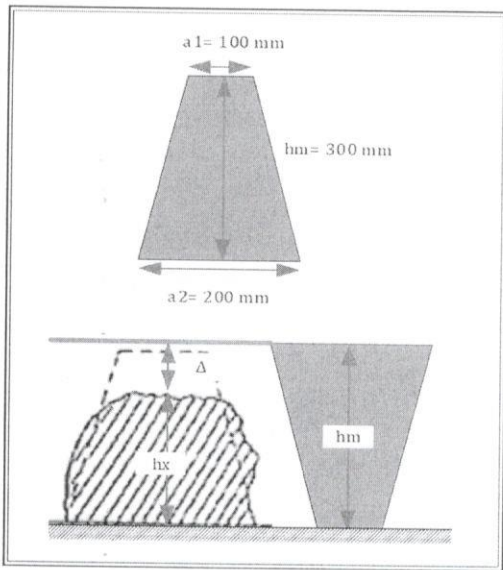


ASENTAMIENTO DEL CONCRETO
NTP 339.035

TESIS: 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

RESPONSABLE: Dixon Antony Asenjo Guevara
 Edemer Gonzales Idrogo

UBICACIÓN: Distrito de Chota - Chota - Cajamarca



PROCESO DE ENSAYO	
CAPAS	Nº DE GOLPES
1	25
2	25
3	25

CONSISTENCIA EN CONO		
CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO (cm)	
Seca	0	5.08
Plástica	7.62	10.16
Fluida	≥12.7	

CONCRETO CON 25% DE CAUCHO GRANULAR

PROBETA	% DE CAUCHO GRANULAR	SLUMP (pulg)	SLUMP (cm)	CONSISTENCIA	TEMPERATURA (°C)	
					AMBIENTAL	MEZCLA
M13	25	2.80	7.11	Plástica	18	26
M14	25	2.70	6.86	Plástica	19	26
M15	25	2.85	7.24	Plástica	19	27
M16	25	2.80	7.11	Plástica	20	25
M17	25	2.80	7.11	Plástica	20	25
M18	25	2.80	7.11	Plástica	18	24
Promedio		2.79	7.09	Plástica	19.00	25.50
Mínimo		2.70	6.86		18.00	24.00
Máximo		2.85	7.24		20.00	27.00
Desv. Estándar		0.05	0.12		0.89	1.05
C.V.		0.02	0.02		0.05	0.04

[Handwritten signatures]

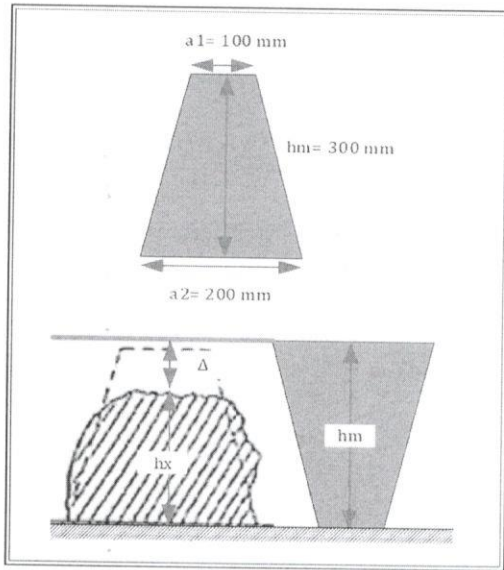


ASENTAMIENTO DEL CONCRETO
NTP 339.035

TESIS: 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

RESPONSABLE: Dixon Antony Asenjo Guevara
 Edemer Gonzales Idrogo

UBICACIÓN: Distrito de Chota - Chota - Cajamarca



PROCESO DE ENSAYO	
CAPAS	Nº DE GOLPES
1	25
2	25
3	25

CONSISTENCIA EN CONO		
CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO (cm)	
Seca	0	5.08
Plástica	7.62	10.16
Fluida	≥12.7	

CONCRETO CON 10% DE CAUCHO GRANULAR

PROBETA	% DE CAUCHO GRANULAR	SLUMP (pulg)	SLUMP (cm)	CONSISTENCIA	TEMPERATURA (°C)	
					AMBIENTAL	MEZCLA
M7	10	3.10	7.87	Plástica	20	24
M8	10	3.20	8.13	Plástica	18	23
M9	10	3.10	7.87	Plástica	20	24
M10	10	3.15	8.00	Plástica	19	24
M11	10	3.10	7.87	Plástica	20	23
M12	10	3.20	8.13	Plástica	18	23
Promedio		3.14	7.98	Plástica	19.17	23.50
Mínimo		3.10	7.87		18.00	23.00
Máximo		3.20	8.13		20.00	24.00
Desv. Estándar		0.05	0.12		0.98	0.55
C.V.		0.02	0.02		0.05	0.02

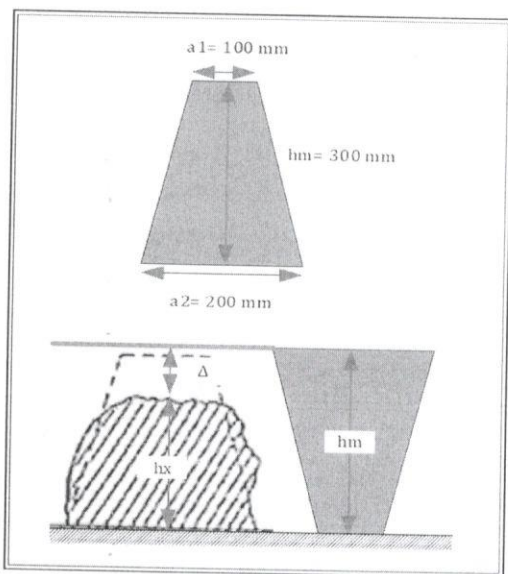


ASENTAMIENTO DEL CONCRETO
NTP 339.035

TESIS: 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

RESPONSABLE: Dixon Antony Asenjo Guevara
 Edemer Gonzales Idrogo

UBICACIÓN: Distrito de Chota - Chota - Cajamarca



PROCESO DE ENSAYO	
CAPAS	Nº DE GOLPES
1	25
2	25
3	25

CONSISTENCIA EN CONO		
CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO (cm)	
Seca	0	5.08
Plástica	7.62	10.16
Fluida	≥12.7	

CONCRETO CON 0% DE CAUCHO GRANULAR

PROBETA	% DE CAUCHO GRANULAR	SLUMP (pulg)	SLUMP (cm)	CONSISTENCIA	TEMPERATURA (°C)	
					AMBIENTAL	MEZCLA
M1	0	3.50	8.89	Plástica	20	22
M2	0	3.40	8.64	Plástica	19	21
M3	0	3.60	9.14	Plástica	20	21
M4	0	3.55	9.02	Plástica	20	22
M5	0	3.50	8.89	Plástica	20	22
M6	0	3.50	8.89	Plástica	20	22
Promedio		3.51	8.91	Plástica	19.83	21.67
Mínimo		3.40	8.64		19.00	21.00
Máximo		3.60	9.14		20.00	22.00
Desv. Estándar		0.07	0.17		0.41	0.52
C.V.		0.02	0.02		0.02	0.02

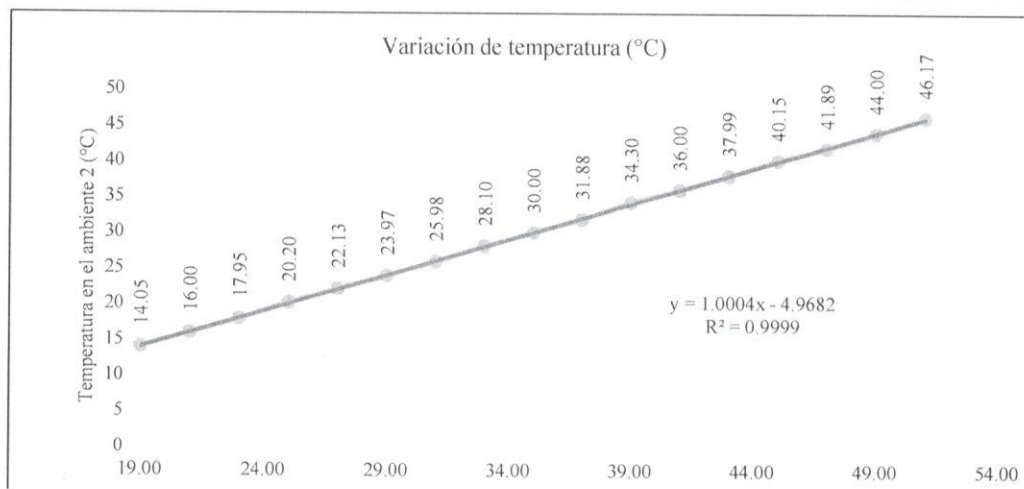
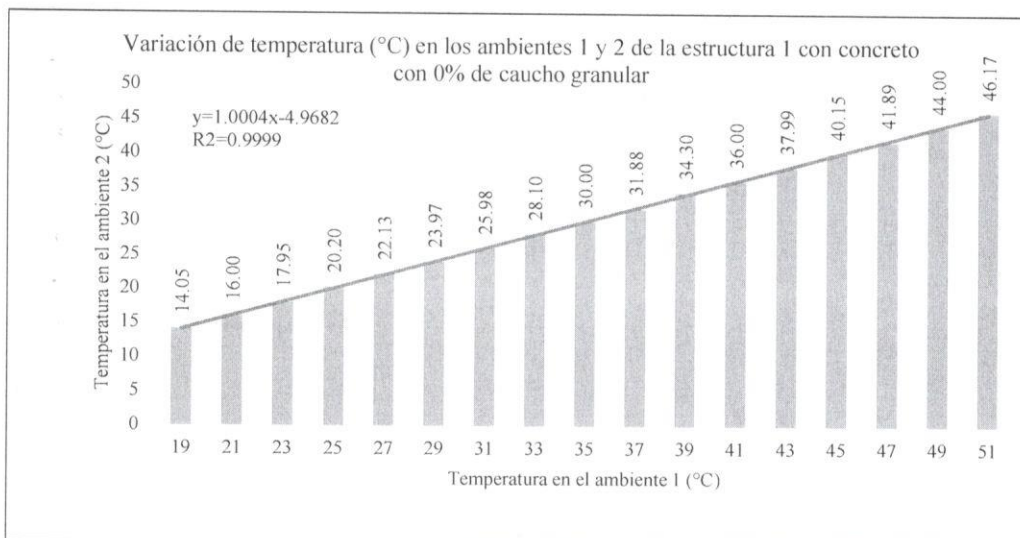


ENSAYO TÉRMICO EN ESTRUCTURAS A ESCALA

RESPONSABLE:	DIXON ANTONY ASEÑO GUEVARA		
	EDEMER GONZALES IDROGO		
UBICACIÓN:	CHOTA		
AGREGADO FINO:	CANTERA CONCHAN	NÚMERO DE ESTRUCTURA:	1.00
AGREGADO GRUESO:	CANTERA CHUYABAMBA	CAUCHO GRANULAR	0.00%
DISEÑO DE MEZCLAS:	Fc 175 kg/cm ²		
TEMPERATURA INICIAL, AMBIENTE 1 (°C):	19.00	ESPESOR DE MURO (cm):	10.00
TEMPERATURA DE INCREMENTO (°C):	2.00	ÁREA DE ESTRUCTURA (m²):	0.50

ESTRUCTURA A ESCALA CON CONCRETO CON 0% CAUCHO GRANULAR

..... Lineal (Temperatura en el ambiente 1) Lineal (Temperatura en el ambiente 2)

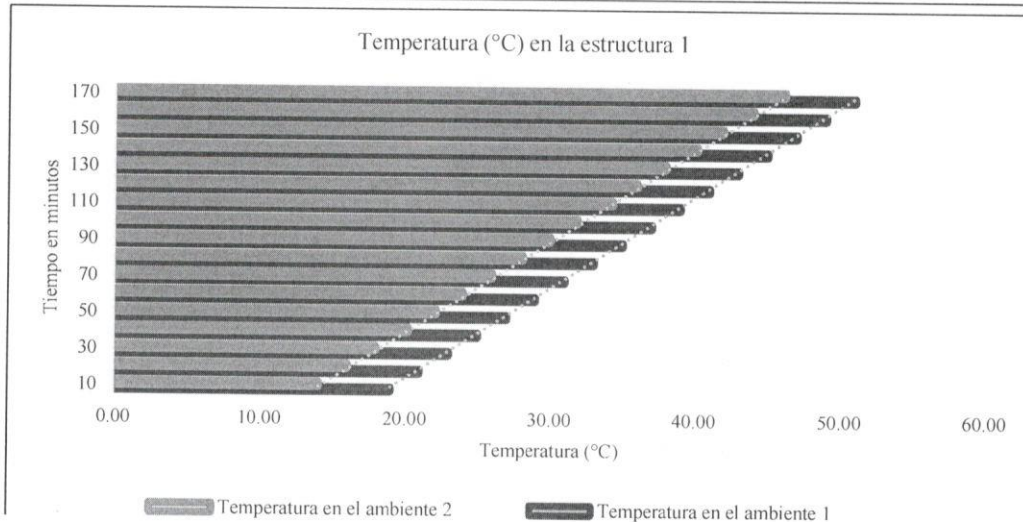
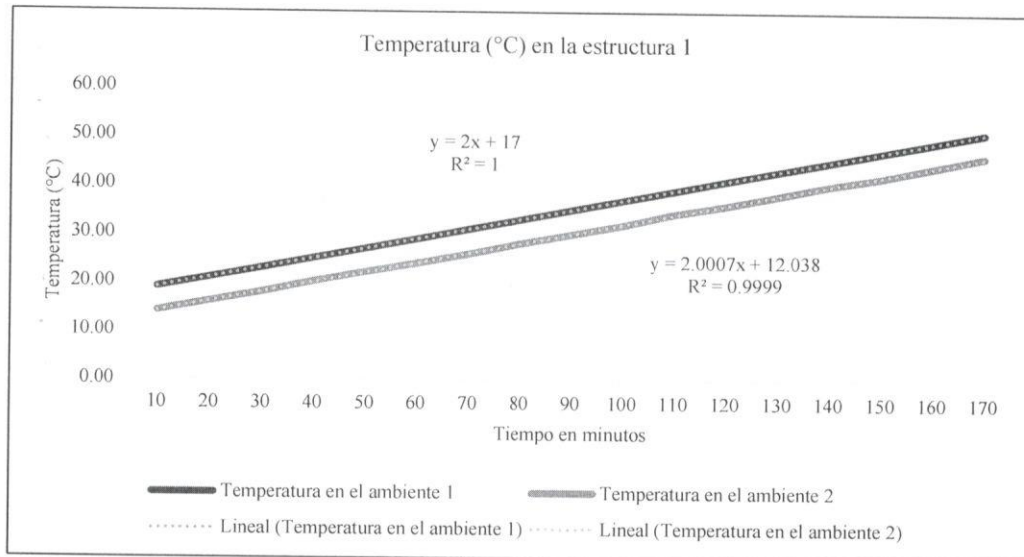




**ENSAYO TÉRMICO
EN ESTRUCTURAS A ESCALA**

RESPONSABLE:	DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA		
	EDEMER GONZALES IDROGO		
UBICACIÓN:	CHOTA		
AGREGADO FINO:	CANTERA CONCHAN	NÚMERO DE ESTRUCTURA:	1.00
AGREGADO GRUESO:	CANTERA CHUYABAMBA	CAUCHO GRANULAR	0.00%
DISEÑO DE MEZCLAS:	Fc 175 kg/cm ²		
TEMPERATURA INICIAL, AMBIENTE 1 (°C):	19.00	ESPESOR DE MURO (cm):	10.00
TEMPERATURA DE INCREMENTO (°C):	2.00	ÁREA DE ESTRUCTURA (m²):	0.50

ESTRUCTURA A ESCALA CON CONCRETO CON 0% CAUCHO GRANULAR





**ENSAYO TÉRMICO
 EN ESTRUCTURAS A ESCALA**

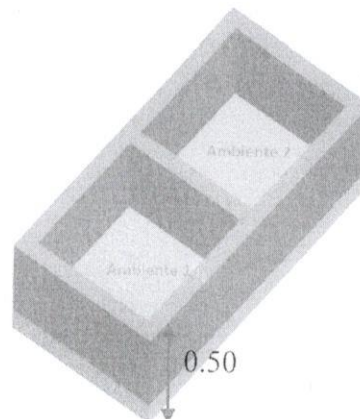
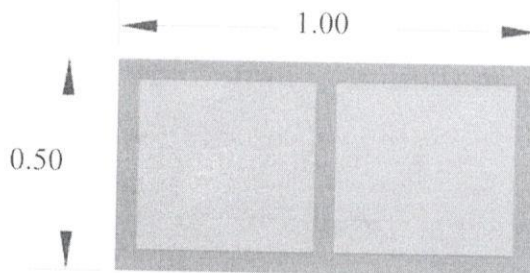
RESPONSABLE:	DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA		
	EDEMER GONZALES IDROGO		
UBICACIÓN:	CHOTA		
AGREGADO FINO:	CANTERA CONCHAN	NÚMERO DE ESTRUCTURA:	1.00
AGREGADO GRUESO:	CANTERA CHUYABAMBA	CAUCHO GRANULAR	0.00%
DISEÑO DE MEZCLAS:	F _c 175 kg/cm ²		
TEMPERATURA INICIAL, AMBIENTE 1 (°C):	19.00	ESPESOR DE MURO (cm):	10.00
TEMPERATURA DE INCREMENTO (°C):	2.00	ÁREA DE ESTRUCTURA (m²):	0.50

ESTRUCTURA A ESCALA CON CONCRETO CON 0% CAUCHO GRANULAR

ITEM	Tiempo acumulado (en minutos)	AMBIENTE 1		AMBIENTE 2	
		Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Temperatura (°C)
1	10	10 min	19.00	10 min	14.05
2	20	10 min	21.00	10 min	16.00
3	30	10 min	23.00	10 min	17.95
4	40	10 min	25.00	10 min	20.20
5	50	10 min	27.00	10 min	22.13
6	60	10 min	29.00	10 min	23.97
7	70	10 min	31.00	10 min	25.98
8	80	10 min	33.00	10 min	28.10
9	90	10 min	35.00	10 min	30.00
10	100	10 min	37.00	10 min	31.88
11	110	10 min	39.00	10 min	34.30
12	120	10 min	41.00	10 min	36.00
13	130	10 min	43.00	10 min	37.99
14	140	10 min	45.00	10 min	40.15
15	150	10 min	47.00	10 min	41.89
16	160	10 min	49.00	10 min	44.00
17	170	10 min	51.00	10 min	46.17

DIMENSIONES Y FORMA DE LA ESTRUCTURA A ESCALA

Estructura	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Espesor de muro (m)
N° 1	1	0.5	0.5	0.1



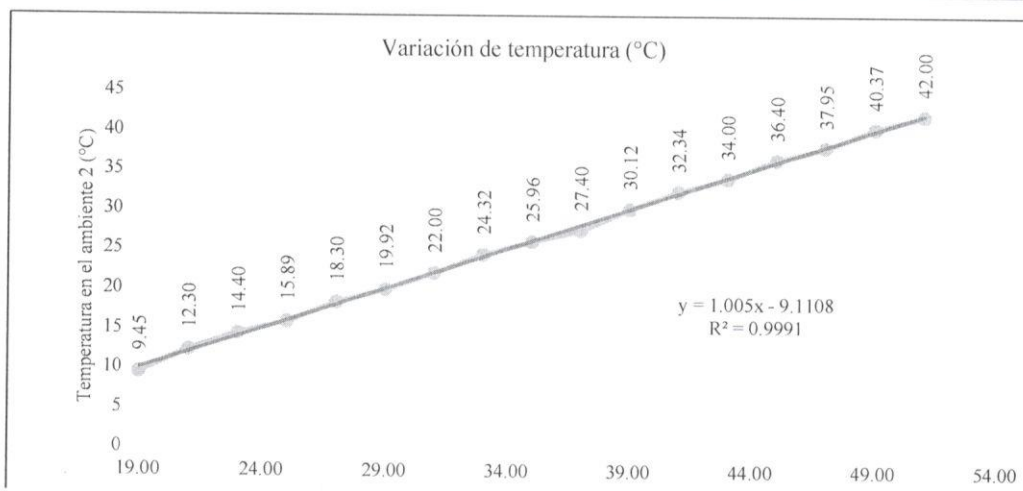
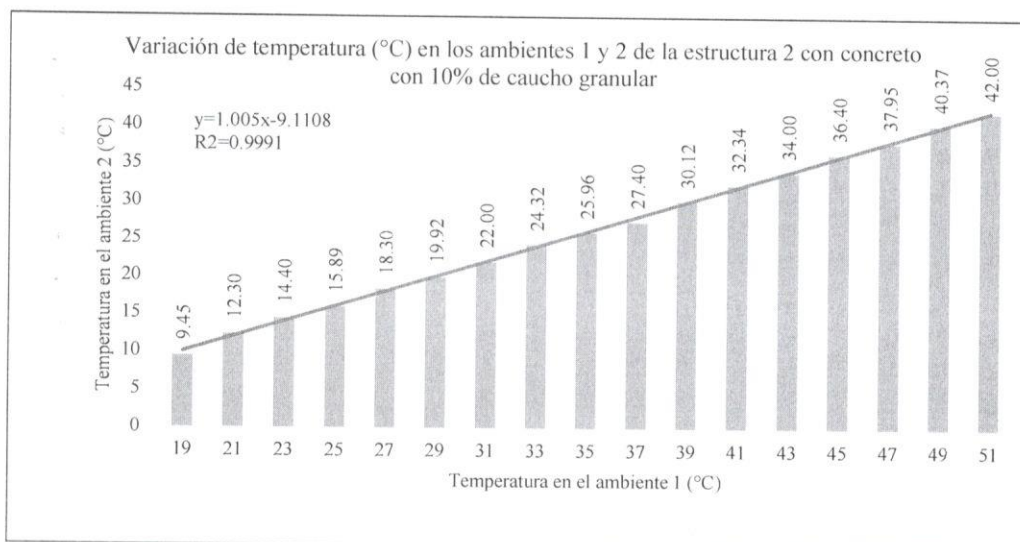


ENSAYO TÉRMICO EN ESTRUCTURAS A ESCALA

RESPONSABLE:	DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA		
	EDEMER GONZALES IDROGO		
UBICACIÓN:	CHOTA		
AGREGADO FINO:	CANTERA CONCHAN	NÚMERO DE ESTRUCTURA:	1.00
AGREGADO GRUESO:	CANTERA CHUYABAMBA	CAUCHO GRANULAR	10.00%
DISEÑO DE MEZCLAS:	F _c 175 kg/cm ²		
TEMPERATURA INICIAL, AMBIENTE 1 (°C):	19.00	ESPESOR DE MURO (cm):	10.00
TEMPERATURA DE INCREMENTO (°C):	2.00	ÁREA DE ESTRUCTURA (m²):	0.50

ESTRUCTURA A ESCALA CON CONCRETO CON 10% CAUCHO GRANULAR

..... Lineal (Temperatura en el ambiente 1) Lineal (Temperatura en el ambiente 2)

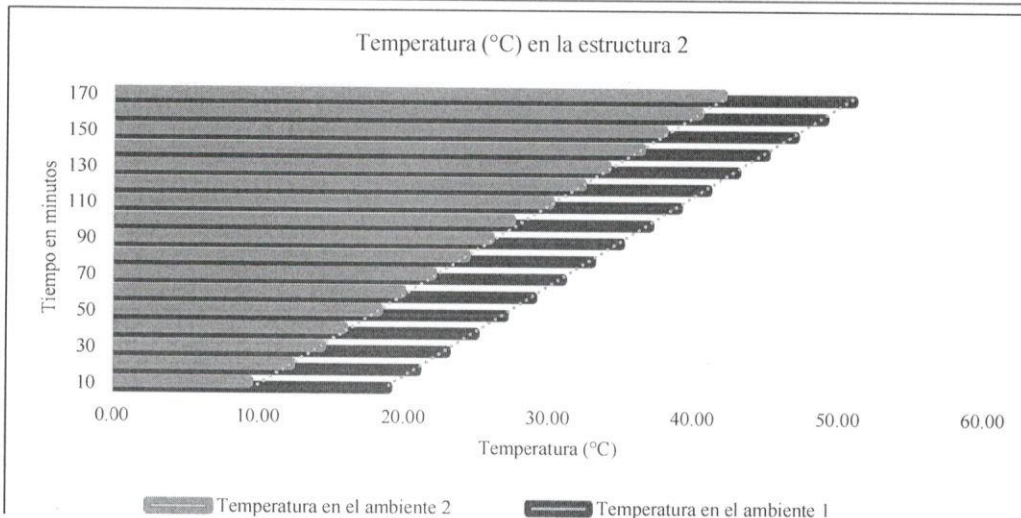
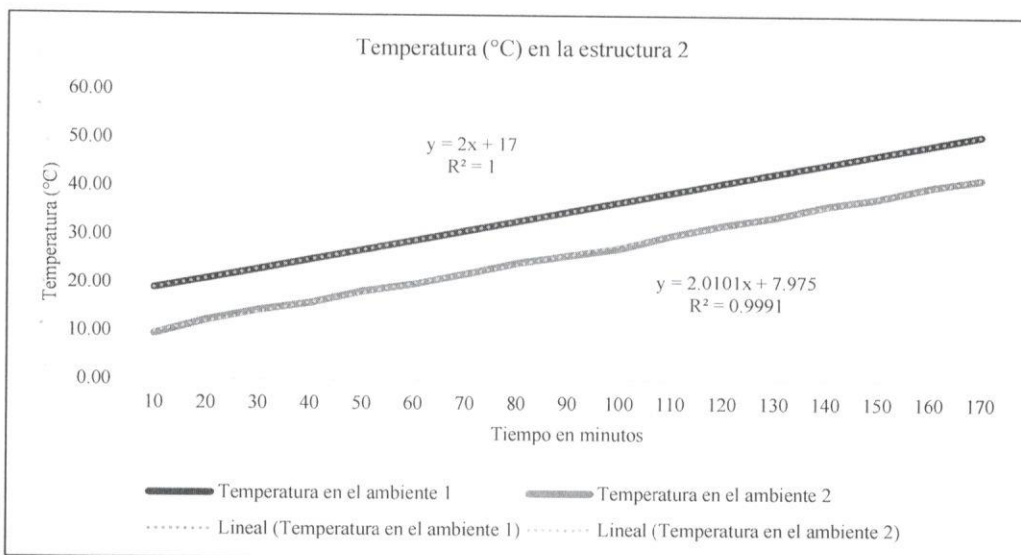




ENSAYO TÉRMICO EN ESTRUCTURAS A ESCALA

RESPONSABLE:	DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA EDEMER GONZALES IDROGO		
UBICACIÓN:	CHOTA		
AGREGADO FINO:	CANTERA CONCHAN	NÚMERO DE ESTRUCTURA:	1.00
AGREGADO GRUESO:	CANTERA CHUYABAMBA	CAUCHO GRANULAR	10.00%
DISEÑO DE MEZCLAS:	Fc 175 kg/cm ²		
TEMPERATURA INICIAL, AMBIENTE 1 (°C):	19.00	ESPESOR DE MURO (cm):	10.00
TEMPERATURA DE INCREMENTO (°C):	2.00	ÁREA DE ESTRUCTURA (m²):	0.50

ESTRUCTURA A ESCALA CON CONCRETO CON 10% CAUCHO GRANULAR



(Handwritten signatures)



**ENSAYO TÉRMICO
EN ESTRUCTURAS A ESCALA**

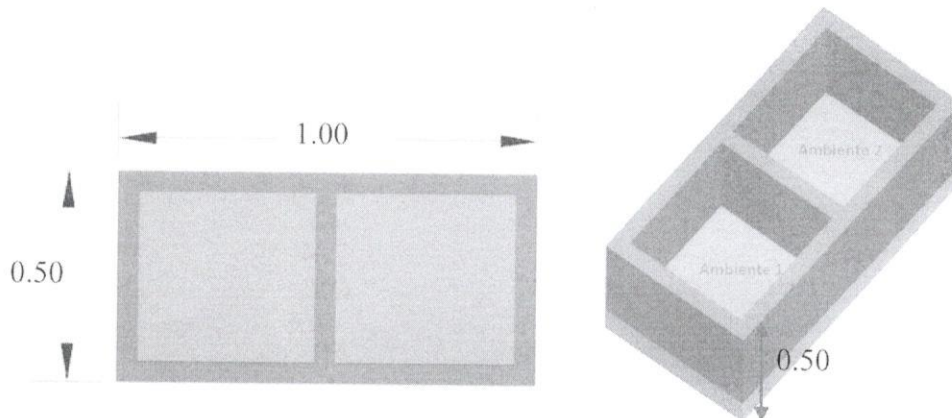
RESPONSABLE:	DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA		
	EDEMER GONZALES IDROGO		
UBICACIÓN:	CHOTA		
AGREGADO FINO:	CANTERA CONCHAN	NÚMERO DE ESTRUCTURA:	1.00
AGREGADO GRUESO:	CANTERA CHUYABAMBA	CAUCHO GRANULAR	10.00%
DISEÑO DE MEZCLAS:	Fc 175 kg/cm ²		
TEMPERATURA INICIAL, AMBIENTE 1 (°C):	19.00	ESPESOR DE MURO (cm):	10.00
TEMPERATURA DE INCREMENTO (°C):	2.00	ÁREA DE ESTRUCTURA (m²):	0.50

ESTRUCTURA A ESCALA CON CONCRETO CON 10% CAUCHO GRANULAR

ITEM	Tiempo acumulado (en minutos)	AMBIENTE 1		AMBIENTE 2	
		Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Temperatura (°C)
1	10	10 min	19.00	10 min	9.45
2	20	10 min	21.00	10 min	12.30
3	30	10 min	23.00	10 min	14.40
4	40	10 min	25.00	10 min	15.89
5	50	10 min	27.00	10 min	18.30
6	60	10 min	29.00	10 min	19.92
7	70	10 min	31.00	10 min	22.00
8	80	10 min	33.00	10 min	24.32
9	90	10 min	35.00	10 min	25.96
10	100	10 min	37.00	10 min	27.40
11	110	10 min	39.00	10 min	30.12
12	120	10 min	41.00	10 min	32.34
13	130	10 min	43.00	10 min	34.00
14	140	10 min	45.00	10 min	36.40
15	150	10 min	47.00	10 min	37.95
16	160	10 min	49.00	10 min	40.37
17	170	10 min	51.00	10 min	42.00

DIMENSIONES Y FORMA DE LA ESTRUCTURA A ESCALA

Estructura	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Espesor de muro (m)
N° 1	1	0.5	0.5	0.1



(Handwritten signatures)

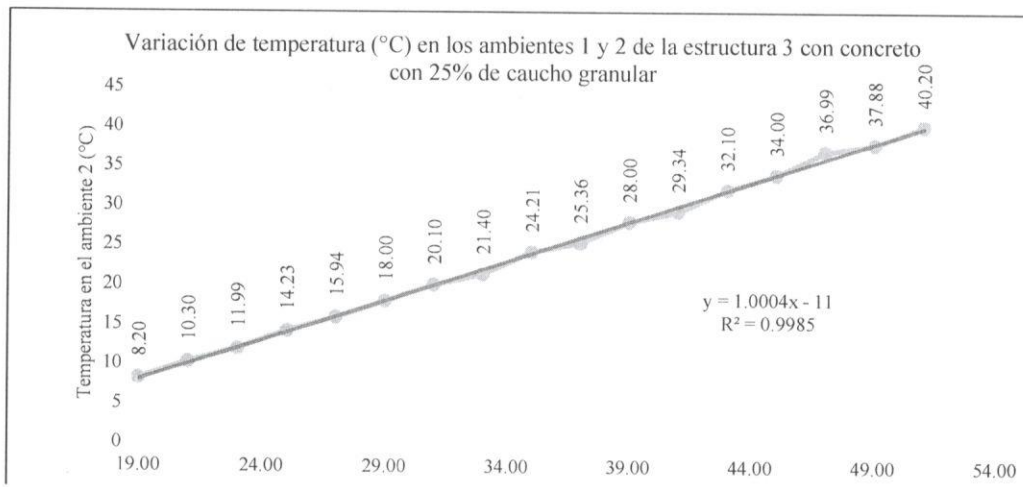
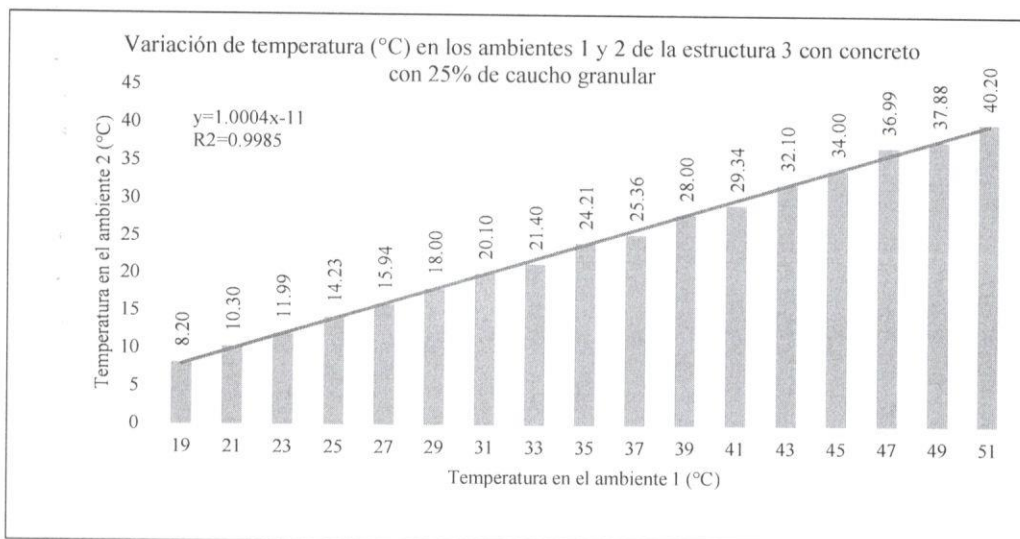


ENSAYO TÉRMICO EN ESTRUCTURAS A ESCALA

RESPONSABLE:	DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA EDEMER GONZALES IDROGO		
UBICACIÓN:	CHOTA		
AGREGADO FINO:	CANTERA CONCHAN	NÚMERO DE ESTRUCTURA:	1.00
AGREGADO GRUESO:	CANTERA CHUYABAMBA	CAUCHO GRANULAR	25.00%
DISEÑO DE MEZCLAS:	Fc 175 kg/cm ²		
TEMPERATURA INICIAL, AMBIENTE 1 (°C):	19.00	ESESOR DE MURO (cm):	10.00
TEMPERATURA DE INCREMENTO (°C):	2.00	ÁREA DE ESTRUCTURA (m²):	0.50

ESTRUCTURA A ESCALA CON CONCRETO CON 25% CAUCHO GRANULAR

..... Lineal (Temperatura en el ambiente 1) Lineal (Temperatura en el ambiente 2)



[Handwritten signatures]



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

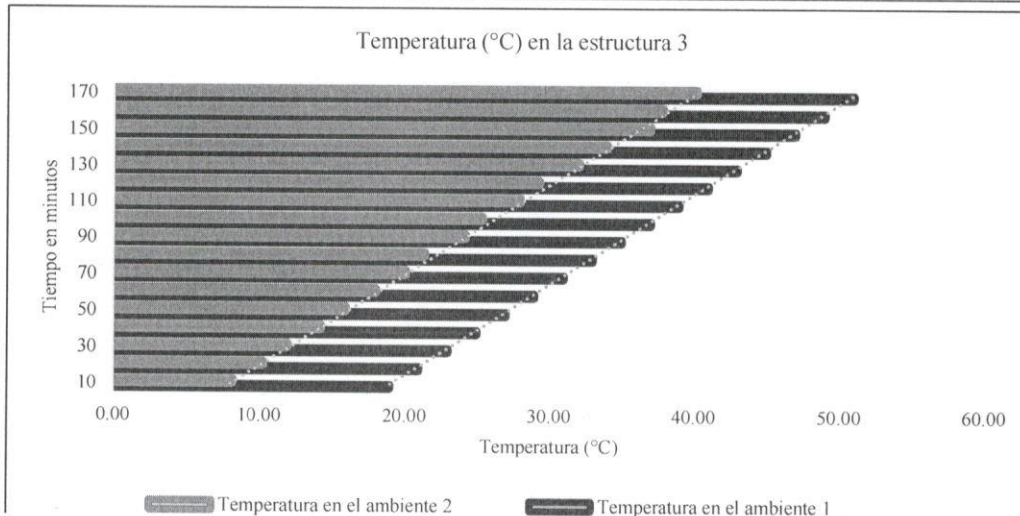
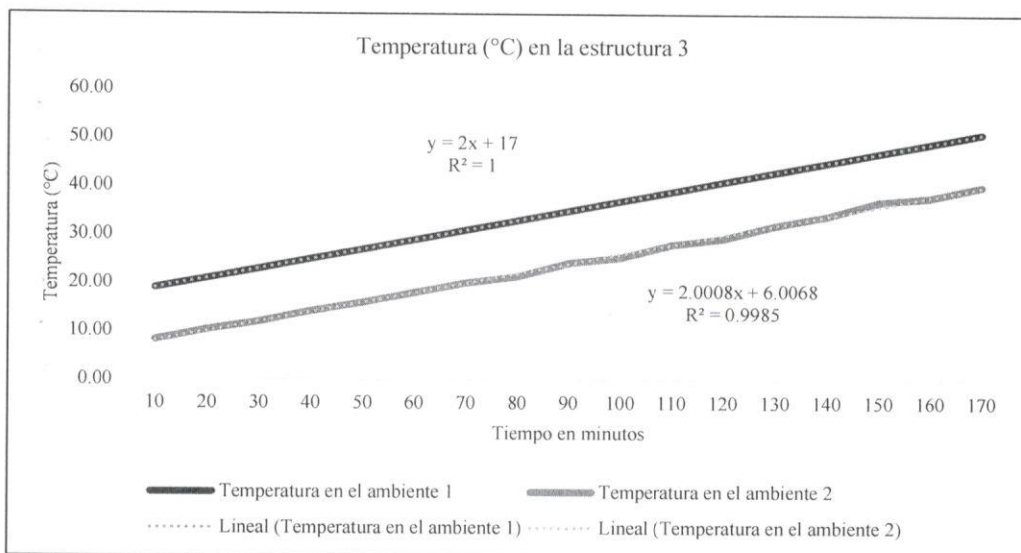
Análisis de la influencia del caucho granular en las propiedades físicas, mecánicas y termoacústicas de concreto liviano, y sus posibles usos en edificaciones de Chota



ENSAYO TÉRMICO EN ESTRUCTURAS A ESCALA

RESPONSABLE:	DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA		
	EDEMER GONZALES IDROGO		
UBICACIÓN:	CHOTA		
AGREGADO FINO:	CANTERA CONCHAN	NÚMERO DE ESTRUCTURA:	1.00
AGREGADO GRUESO:	CANTERA CHUYABAMBA	CAUCHO GRANULAR	25.00%
DISEÑO DE MEZCLAS:	Fc 175 kg/cm ²		
TEMPERATURA INICIAL, AMBIENTE 1 (°C):	19.00	ESPESOR DE MURO (cm):	10.00
TEMPERATURA DE INCREMENTO (°C):	2.00	ÁREA DE ESTRUCTURA (m²):	0.50

ESTRUCTURA A ESCALA CON CONCRETO CON 25% CAUCHO GRANULAR



(Handwritten signatures)



**ENSAYO TÉRMICO
EN ESTRUCTURAS A ESCALA**

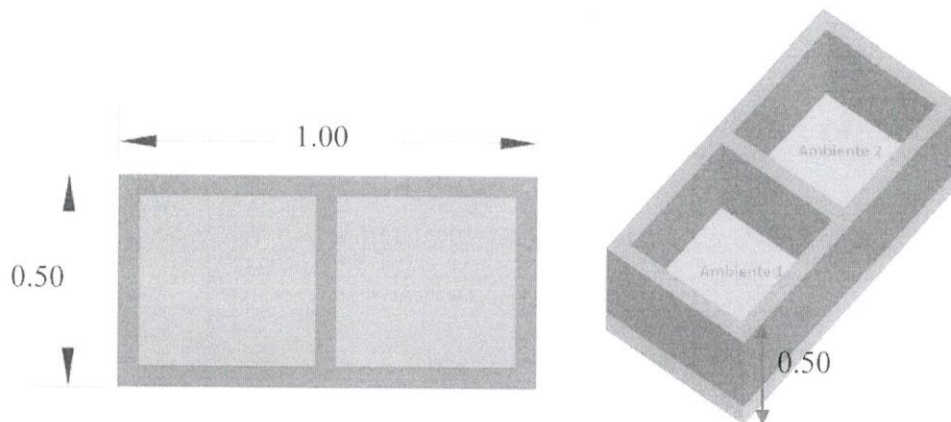
RESPONSABLE:	DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA		
	EDEMER GONZALES IDROGO		
UBICACIÓN:	CHOTA		
AGREGADO FINO:	CANTERA CONCHAN	NÚMERO DE ESTRUCTURA:	1.00
AGREGADO GRUESO:	CANTERA CHUYABAMBA	CAUCHO GRANULAR	25.00%
DISEÑO DE MEZCLAS:	F _c 175 kg/cm ²		
TEMPERATURA INICIAL, AMBIENTE 1 (°C):	19.00	ESPESOR DE MURO (cm):	10.00
TEMPERATURA DE INCREMENTO (°C):	2.00	ÁREA DE ESTRUCTURA (m²):	0.50

ESTRUCTURA A ESCALA CON CONCRETO CON 25% CAUCHO GRANULAR

ITEM	Tiempo acumulado (en minutos)	AMBIENTE 1		AMBIENTE 2	
		Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Temperatura (°C)
1	10	10 min	19.00	10 min	8.20
2	20	10 min	21.00	10 min	10.30
3	30	10 min	23.00	10 min	11.99
4	40	10 min	25.00	10 min	14.23
5	50	10 min	27.00	10 min	15.94
6	60	10 min	29.00	10 min	18.00
7	70	10 min	31.00	10 min	20.10
8	80	10 min	33.00	10 min	21.40
9	90	10 min	35.00	10 min	24.21
10	100	10 min	37.00	10 min	25.36
11	110	10 min	39.00	10 min	28.00
12	120	10 min	41.00	10 min	29.34
13	130	10 min	43.00	10 min	32.10
14	140	10 min	45.00	10 min	34.00
15	150	10 min	47.00	10 min	36.99
16	160	10 min	49.00	10 min	37.88
17	170	10 min	51.00	10 min	40.20

DIMENSIONES Y FORMA DE LA ESTRUCTURA A ESCALA

Estructura	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Espesor de muro (m)
Nº 1	1	0.5	0.5	0.1



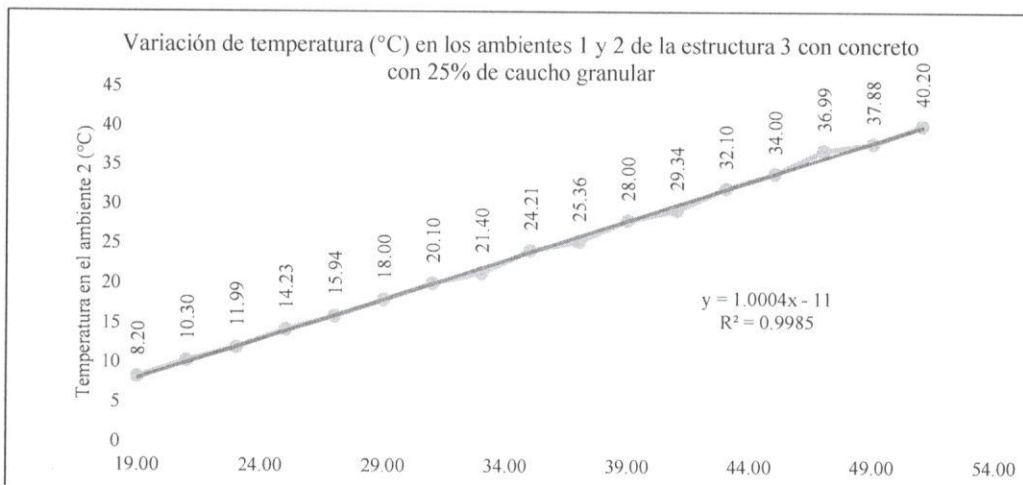
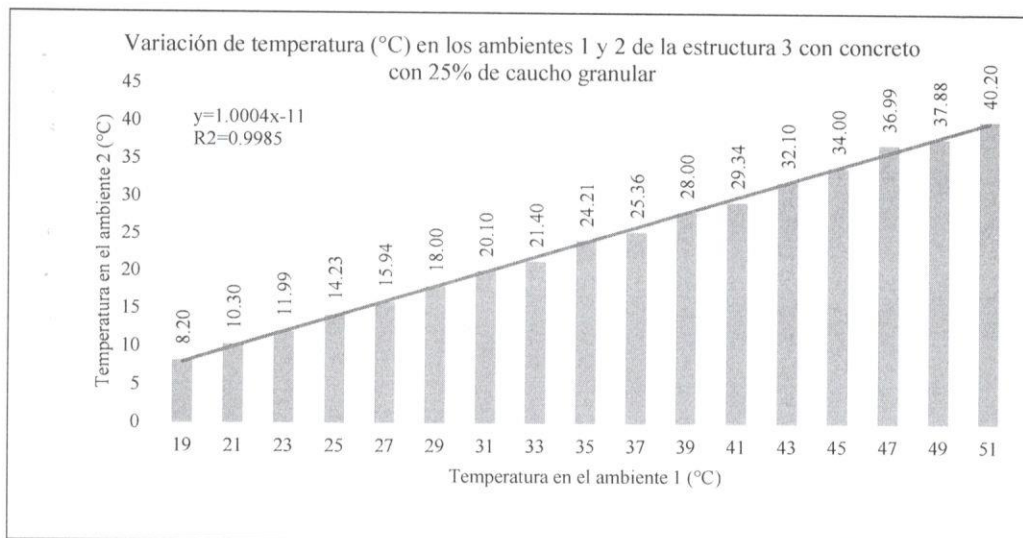


**ENSAYO TÉRMICO
 EN ESTRUCTURAS A ESCALA**

RESPONSABLE:	DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA		
	EDEMER GONZALES IDROGO		
UBICACIÓN:	CHOTA		
AGREGADO FINO:	CANTERA CONCHAN	NÚMERO DE ESTRUCTURA:	1.00
AGREGADO GRUESO:	CANTERA CHUYABAMBA	CAUCHO GRANULAR	25.00%
DISEÑO DE MEZCLAS:	F _c 175 kg/cm ²		
TEMPERATURA INICIAL, AMBIENTE 1 (°C):	19.00	ESPESOR DE MURO (cm):	10.00
TEMPERATURA DE INCREMENTO (°C):	2.00	ÁREA DE ESTRUCTURA (m²):	0.50

ESTRUCTURA A ESCALA CON CONCRETO CON 25% CAUCHO GRANULAR

..... Lineal (Temperatura en el ambiente 1) Lineal (Temperatura en el ambiente 2)





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

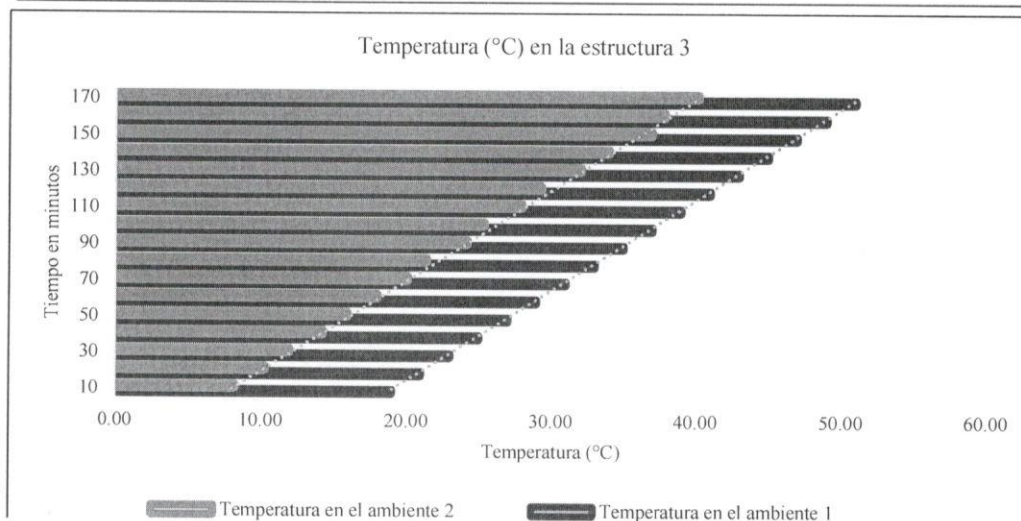
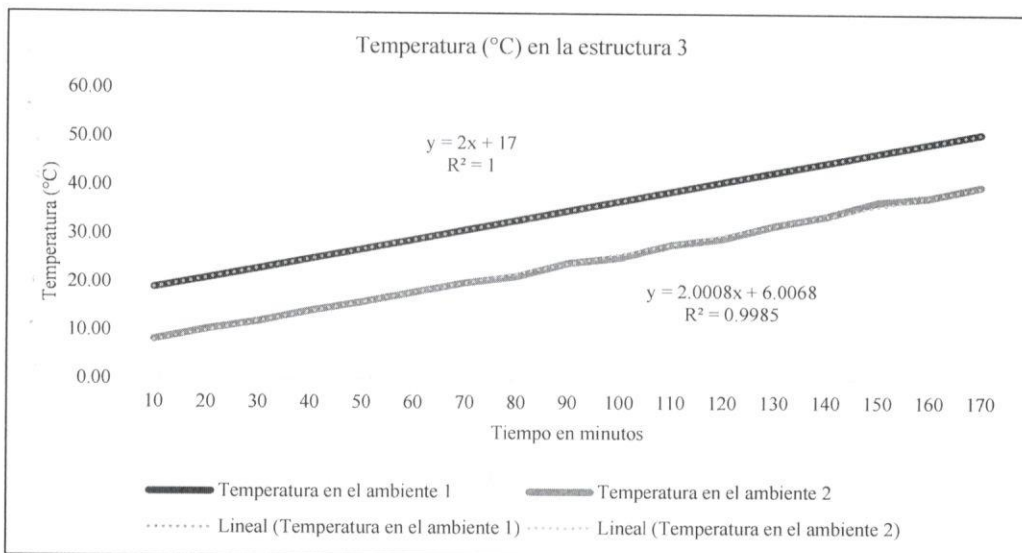
Análisis de la influencia del caucho granular en las propiedades físicas, mecánicas y termoacústicas del concreto liviano, y sus posibles usos en edificaciones de Chota



ENSAYO TÉRMICO EN ESTRUCTURAS A ESCALA

RESPONSABLE:	DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA		
	EDEMER GONZALES IDROGO		
UBICACIÓN:	CHOTA		
AGREGADO FINO:	CANTERA CONCHAN	NÚMERO DE ESTRUCTURA:	1.00
AGREGADO GRUESO:	CANTERA CHUYABAMBA	CAUCHO GRANULAR	25.00%
DISEÑO DE MEZCLAS:	F _c 175 kg/cm ²		
TEMPERATURA INICIAL, AMBIENTE 1 (°C):	19.00	ESPESOR DE MURO (cm):	10.00
TEMPERATURA DE INCREMENTO (°C):	2.00	ÁREA DE ESTRUCTURA (m²):	0.50

ESTRUCTURA A ESCALA CON CONCRETO CON 25% CAUCHO GRANULAR





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

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



**ENSAYO TÉRMICO
EN ESTRUCTURAS A ESCALA**

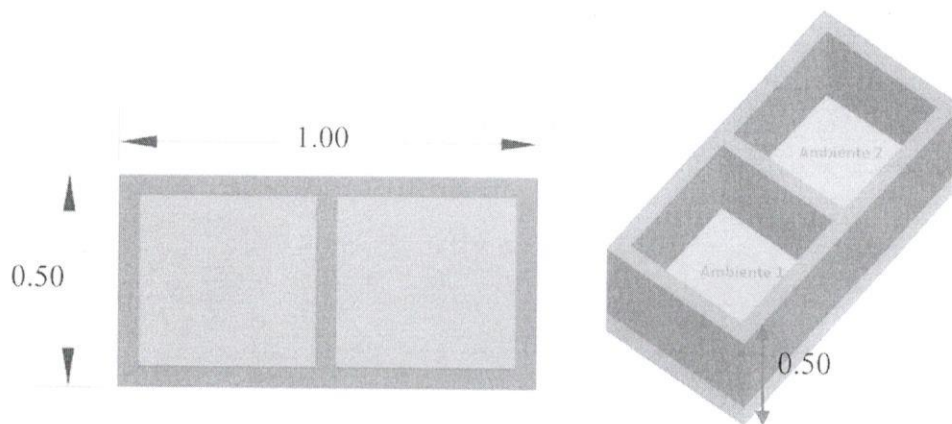
RESPONSABLE:	DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA		
	EDEMER GONZALES IDROGO		
UBICACIÓN:	CHOTA		
AGREGADO FINO:	CANTERA CONCHAN	NÚMERO DE ESTRUCTURA:	1.00
AGREGADO GRUESO:	CANTERA CHUYABAMBA	CAUCHO GRANULAR	25.00%
DISEÑO DE MEZCLAS:	Fc 175 kg/cm ²		
TEMPERATURA INICIAL, AMBIENTE 1 (°C):	19.00	ESPESOR DE MURO (cm):	10.00
TEMPERATURA DE INCREMENTO (°C):	2.00	ÁREA DE ESTRUCTURA (m²):	0.50

ESTRUCTURA A ESCALA CON CONCRETO CON 25% CAUCHO GRANULAR

ITEM	Tiempo acumulado (en minutos)	AMBIENTE 1		AMBIENTE 2	
		Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Temperatura (°C)
1	10	10 min	19.00	10 min	8.20
2	20	10 min	21.00	10 min	10.30
3	30	10 min	23.00	10 min	11.99
4	40	10 min	25.00	10 min	14.23
5	50	10 min	27.00	10 min	15.94
6	60	10 min	29.00	10 min	18.00
7	70	10 min	31.00	10 min	20.10
8	80	10 min	33.00	10 min	21.40
9	90	10 min	35.00	10 min	24.21
10	100	10 min	37.00	10 min	25.36
11	110	10 min	39.00	10 min	28.00
12	120	10 min	41.00	10 min	29.34
13	130	10 min	43.00	10 min	32.10
14	140	10 min	45.00	10 min	34.00
15	150	10 min	47.00	10 min	36.99
16	160	10 min	49.00	10 min	37.88
17	170	10 min	51.00	10 min	40.20

DIMENSIONES Y FORMA DE LA ESTRUCTURA A ESCALA

Estructura	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Espesor de muro (m)
Nº 1	1	0.5	0.5	0.1



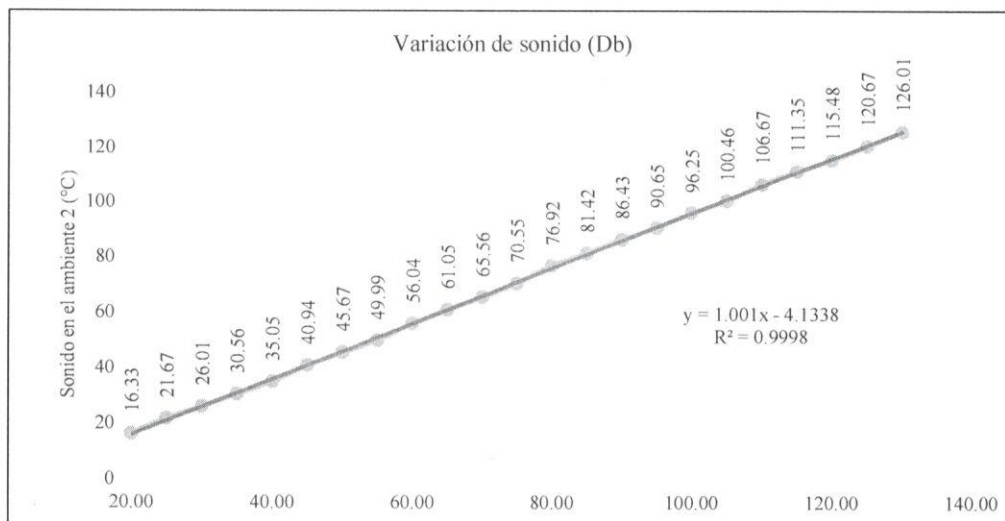
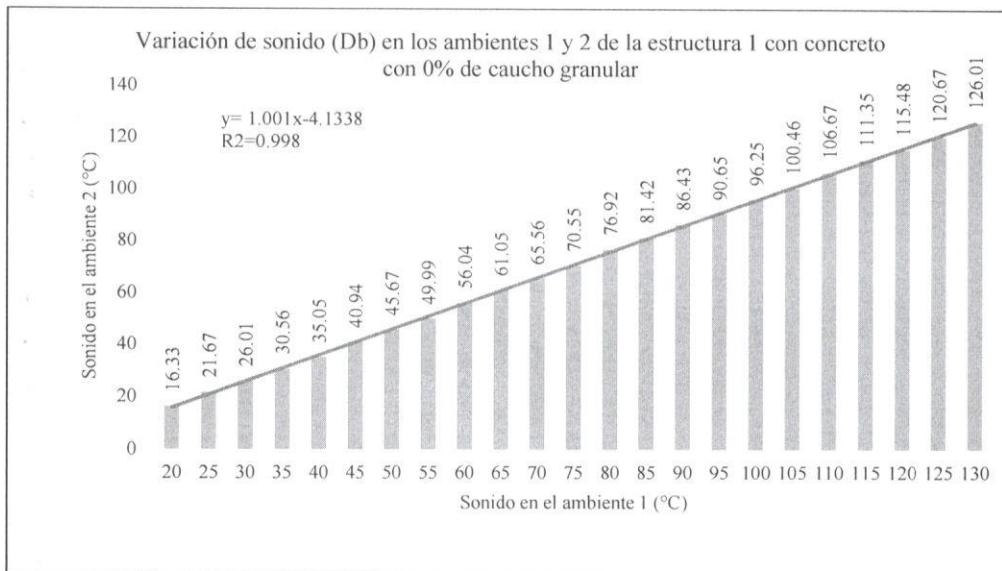
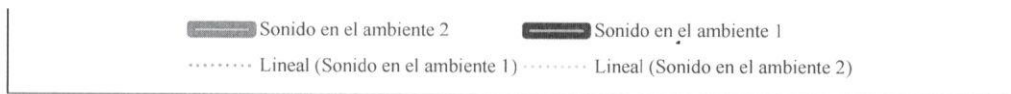
[Handwritten signature in blue ink]



ENSAYO ACÚSTICO EN ESTRUCTURAS A ESCALA

RESPONSABLE:	DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA		
	EDEMER GONZALES IDROGO		
UBICACIÓN:	CHOTA		
AGREGADO FINO:	CANTERA CONCHAN	NÚMERO DE ESTRUCTURA:	1.00
AGREGADO GRUESO:	CANTERA CHUYABAMBA	CAUCHO GRANULAR	0.00%
DISEÑO DE MEZCLAS:	F _c 175 kg/cm ²		
SONIDO INICIAL, AMBIENTE 1 (Db):	20.00	ESPESOR DE MURO (cm):	10.00
SONIDO DE INCREMENTO (Db):	5.00	ÁREA DE ESTRUCTURA (m²):	0.50

ESTRUCTURA A ESCALA CON CONCRETO CON 0% CAUCHO GRANULAR

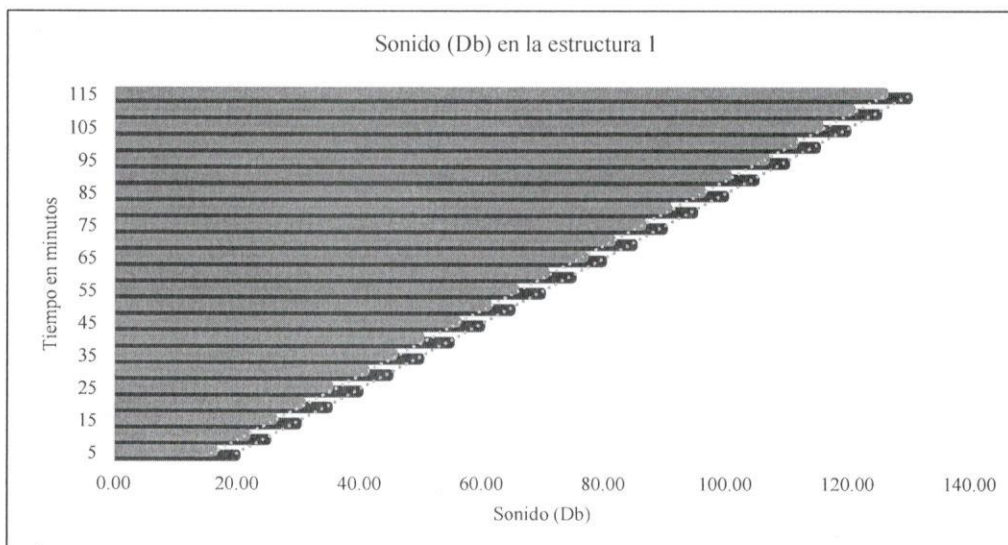
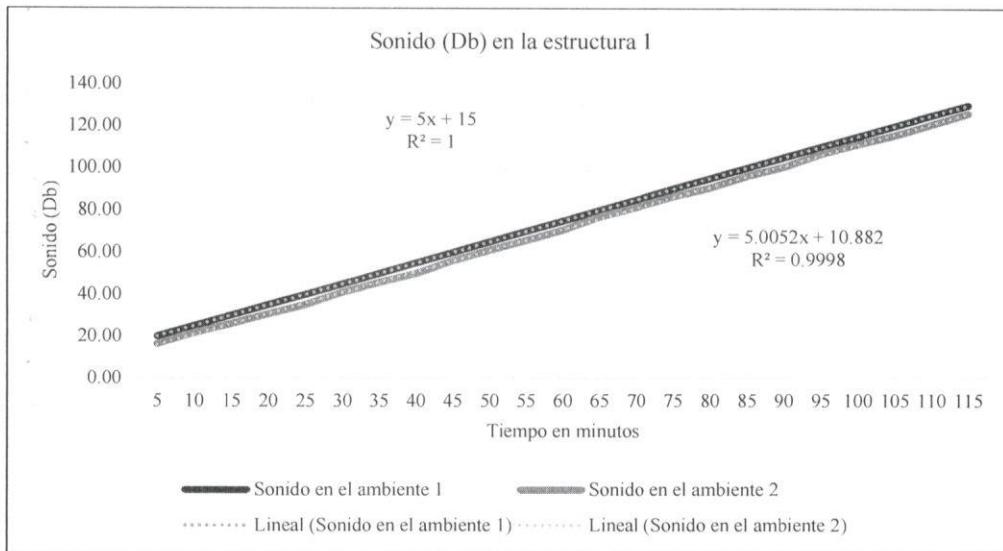




**ENSAYO ACÚSTICO
 EN ESTRUCTURAS A ESCALA**

RESPONSABLE:	DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA		
	EDEMER GONZALES IDROGO		
UBICACIÓN:	CHOTA		
AGREGADO FINO:	CANTERA CONCHAN	NÚMERO DE ESTRUCTURA:	1.00
AGREGADO GRUESO:	CANTERA CHUYABAMBA	CAUCHO GRANULAR	0.00%
DISEÑO DE MEZCLAS:	F _c 175 kg/cm ²		
SONIDO INICIAL, AMBIENTE 1 (Db):	20.00	ESPESOR DE MURO (cm):	10.00
SONIDO DE INCREMENTO (Db):	5.00	ÁREA DE ESTRUCTURA (m²):	0.50

ESTRUCTURA A ESCALA CON CONCRETO CON 0% CAUCHO GRANULAR



[Handwritten signatures and initials]



**ENSAYO ACÚSTICO
EN ESTRUCTURAS A ESCALA**

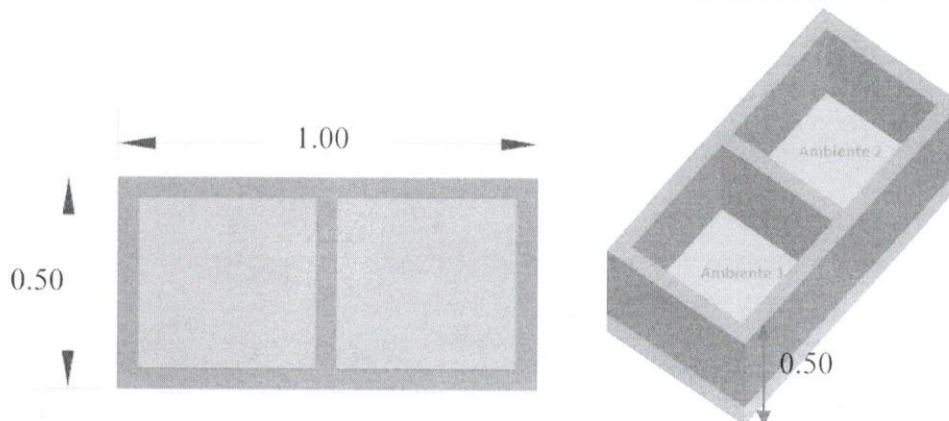
RESPONSABLE:	DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA		
	EDEMER GONZALES IDROGO		
UBICACIÓN:	CHOTA		
AGREGADO FINO:	CANTERA CONCHAN	NÚMERO DE ESTRUCTURA:	1.00
AGREGADO GRUESO:	CANTERA CHUYABAMBA	CAUCHO GRANULAR	0.00%
DISEÑO DE MEZCLAS:	Fc 175 kg/cm ²		
SONIDO INICIAL, AMBIENTE 1 (Db):	20.00	ESPESOR DE MURO (cm):	10.00
SONIDO DE INCREMENTO (Db):	5.00	ÁREA DE ESTRUCTURA (m²):	0.50

ESTRUCTURA A ESCALA CON CONCRETO CON 0% CAUCHO GRANULAR

ITEM	Tiempo acumulado (en minutos)	AMBIENTE 1		AMBIENTE 2	
		Tiempo (min)	Sonido (Db)	Tiempo (min)	Sonido (Db)
1	5	5 min	20.00	5 min	16.33
2	10	5 min	25.00	5 min	21.67
3	15	5 min	30.00	5 min	26.01
4	20	5 min	35.00	5 min	30.56
5	25	5 min	40.00	5 min	35.05
6	30	5 min	45.00	5 min	40.94
7	35	5 min	50.00	5 min	45.67
8	40	5 min	55.00	5 min	49.99
9	45	5 min	60.00	5 min	56.04
10	50	5 min	65.00	5 min	61.05
11	55	5 min	70.00	5 min	65.56
12	60	5 min	75.00	5 min	70.55
13	65	5 min	80.00	5 min	76.92
14	70	5 min	85.00	5 min	81.42
15	75	5 min	90.00	5 min	86.43
16	80	5 min	95.00	5 min	90.65
17	85	5 min	100.00	5 min	96.25
18	90	5 min	105.00	5 min	100.46
19	95	5 min	110.00	5 min	106.67
20	100	5 min	115.00	5 min	111.35
21	105	5 min	120.00	5 min	115.48
22	110	5 min	125.00	5 min	120.67
23	115	5 min	130.00	5 min	126.01

DIMENSIONES Y FORMA DE LA ESTRUCTURA A ESCALA

Estructura	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Espesor muro (m)
N° 1	1	0.5	0.5	0.1



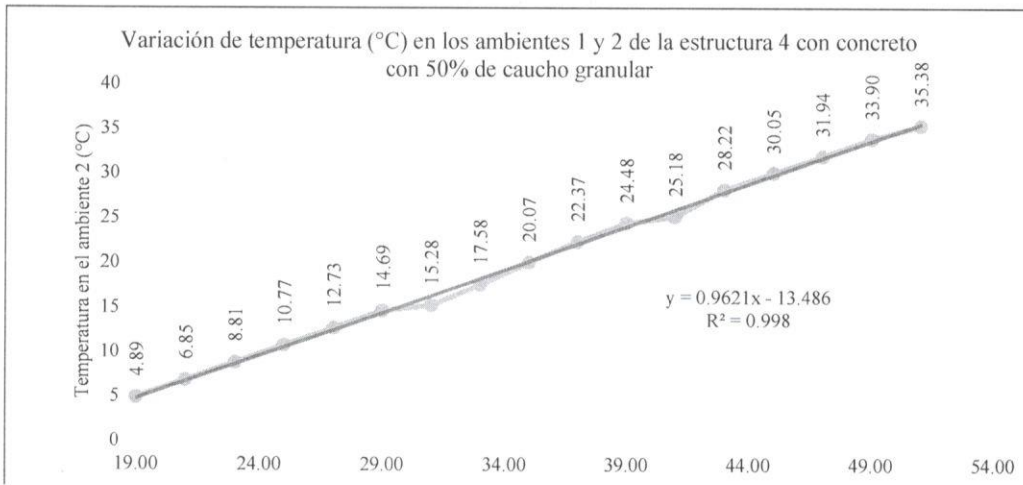
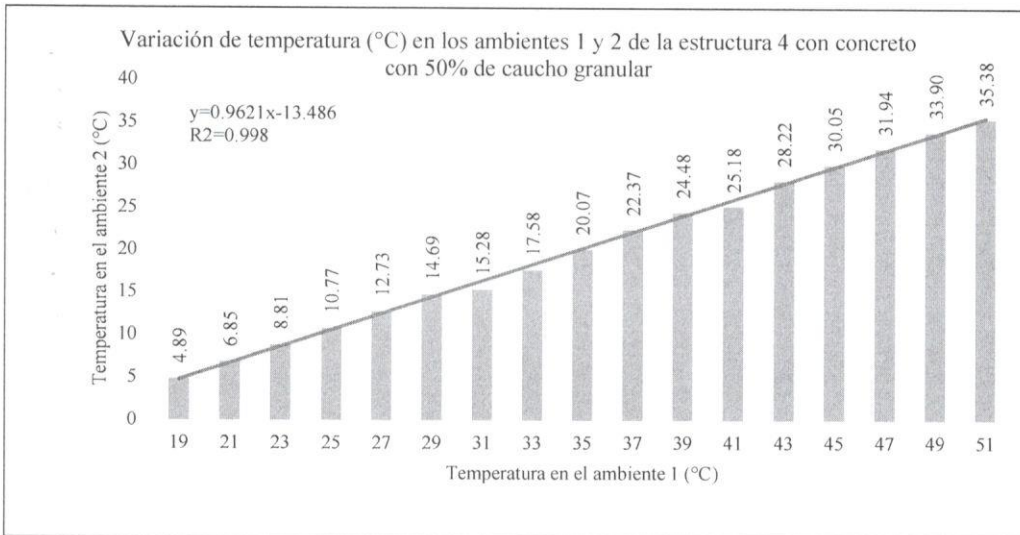


**ENSAYO TÉRMICO
EN ESTRUCTURAS A ESCALA**

RESPONSABLE:	DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA EDEMER GONZALES IDROGO		
UBICACIÓN:	CHOTA		
AGREGADO FINO:	CANTERA CONCHAN	NÚMERO DE ESTRUCTURA:	1.00
AGREGADO GRUESO:	CANTERA CHUYABAMBA	CAUCHO GRANULAR	50.00%
DISEÑO DE MEZCLAS:	F _c 175 kg/cm ²		
TEMPERATURA INICIAL, AMBIENTE 1 (°C):	19.00	ESPESOR DE MURO (cm):	10.00
TEMPERATURA DE INCREMENTO (°C):	2.00	ÁREA DE ESTRUCTURA (m²):	0.50

ESTRUCTURA A ESCALA CON CONCRETO CON.50% CAUCHO GRANULAR

..... Lineal (Temperatura en el ambiente 1) Lineal (Temperatura en el ambiente 2)

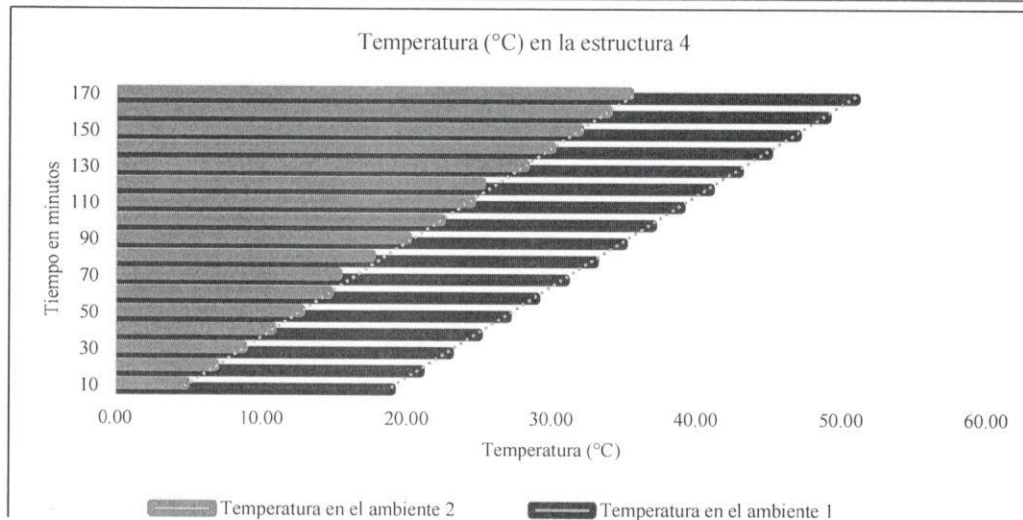
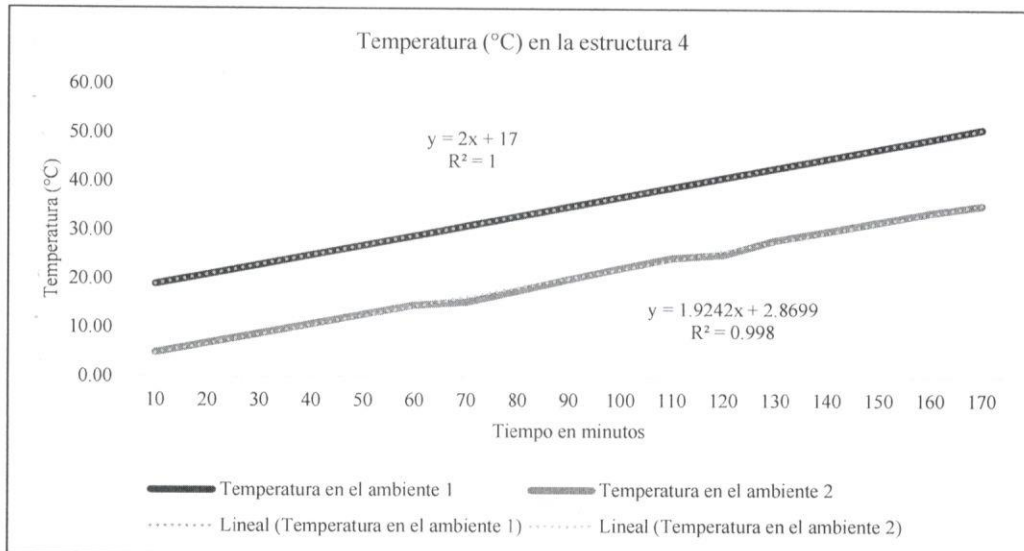




ENSAYO TÉRMICO EN ESTRUCTURAS A ESCALA

RESPONSABLE:	DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA EDEMER GONZALES IDROGO		
UBICACIÓN:	CHOTA		
AGREGADO FINO:	CANTERA CONCHAN	NÚMERO DE ESTRUCTURA:	1.00
AGREGADO GRUESO:	CANTERA CHUYABAMBA	CAUCHO GRANULAR	50.00%
DISEÑO DE MEZCLAS:	F _c 175 kg/cm ²		
TEMPERATURA INICIAL, AMBIENTE 1 (°C):	19.00	ESPESOR DE MURO (cm):	10.00
TEMPERATURA DE INCREMENTO (°C):	2.00	ÁREA DE ESTRUCTURA (m²):	0.50

ESTRUCTURA A ESCALA CON CONCRETO CON 50% CAUCHO GRANULAR





**ENSAYO TÉRMICO
EN ESTRUCTURAS A ESCALA**

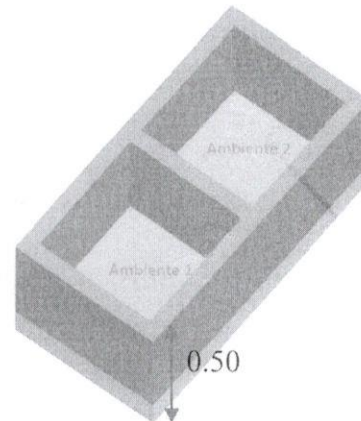
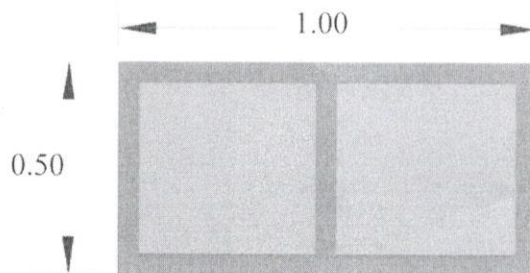
RESPONSABLE:	DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA		
	EDEMER GONZALES IDROGO		
UBICACIÓN:	CHOTA		
AGREGADO FINO:	CANTERA CONCHAN	NÚMERO DE ESTRUCTURA:	1.00
AGREGADO GRUESO:	CANTERA CHUYABAMBA	CAUCHO GRANULAR	50.00%
DISEÑO DE MEZCLAS:	Fc 175 kg/cm ²		
TEMPERATURA INICIAL, AMBIENTE 1 (°C):	19.00	ESPESOR DE MURO (cm):	10.00
TEMPERATURA DE INCREMENTO (°C):	2.00	ÁREA DE ESTRUCTURA (m²):	0.50

ESTRUCTURA A ESCALA CON CONCRETO CON 50% CAUCHO GRANULAR

ITEM	Tiempo acumulado (en minutos)	AMBIENTE 1		AMBIENTE 2	
		Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Temperatura (°C)
1	10	10 min	19.00	10 min	4.89
2	20	10 min	21.00	10 min	6.85
3	30	10 min	23.00	10 min	8.81
4	40	10 min	25.00	10 min	10.77
5	50	10 min	27.00	10 min	12.73
6	60	10 min	29.00	10 min	14.69
7	70	10 min	31.00	10 min	15.28
8	80	10 min	33.00	10 min	17.58
9	90	10 min	35.00	10 min	20.07
10	100	10 min	37.00	10 min	22.37
11	110	10 min	39.00	10 min	24.48
12	120	10 min	41.00	10 min	25.18
13	130	10 min	43.00	10 min	28.22
14	140	10 min	45.00	10 min	30.05
15	150	10 min	47.00	10 min	31.94
16	160	10 min	49.00	10 min	33.90
17	170	10 min	51.00	10 min	35.38

DIMENSIONES Y FORMA DE LA ESTRUCTURA A ESCALA

Estructura	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Espesor de muro (m)
N° 1	1	0.5	0.5	0.1



(Handwritten signatures)

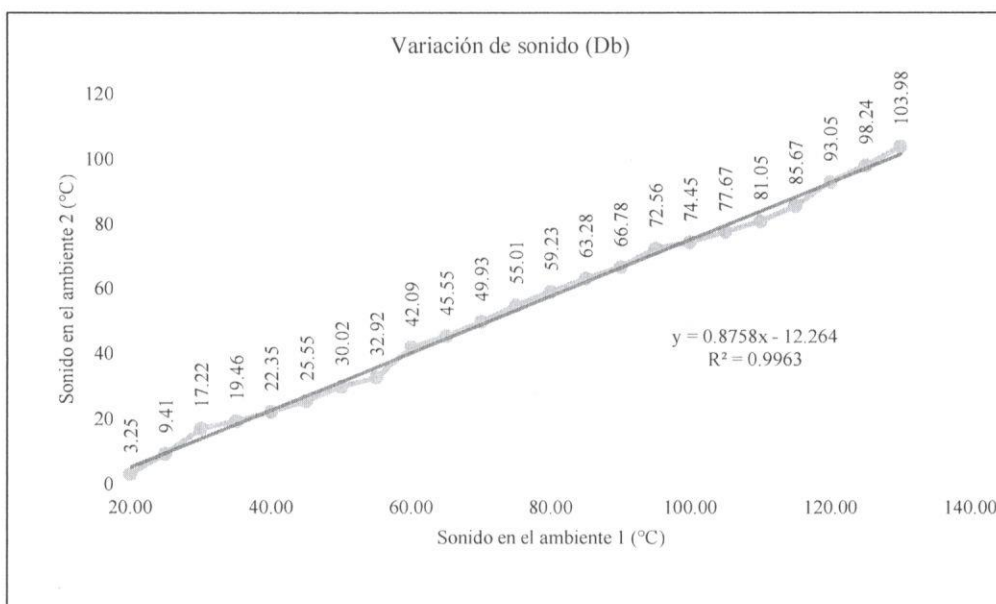
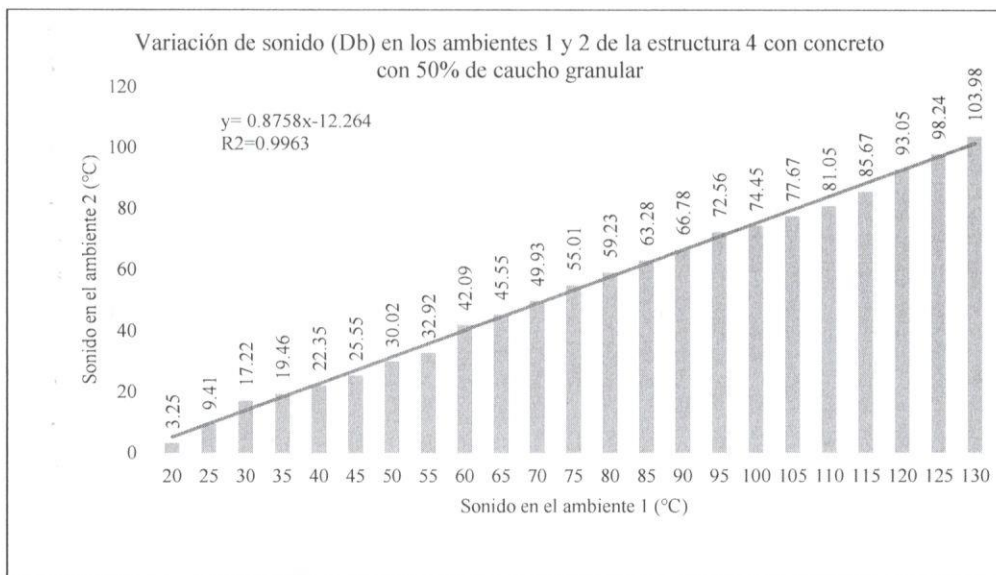


**ENSAYO ACÚSTICO
EN ESTRUCTURAS A ESCALA**

RESPONSABLE:	DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA EDEMER GONZALES IDROGO		
UBICACIÓN:	CHOTA		
AGREGADO FINO:	CANtera CONCHAN	NÚMERO DE ESTRUCTURA:	1.00
AGREGADO GRUESO:	CANtera CHUYABAMBA	CAUCHO GRANULAR	50.00%
DISEÑO DE MEZCLAS:	F _c 175 kg/cm ²		
SONIDO INICIAL, AMBIENTE 1 (Db):	20.00	ESPESOR DE MURO (cm):	10.00
SONIDO DE INCREMENTO (Db):	5.00	ÁREA DE ESTRUCTURA (m²):	0.50

ESTRUCTURA A ESCALA CON CONCRETO CON 50% CAUCHO GRANULAR

..... Línea (sonido en el ambiente 1) Línea (sonido en el ambiente 2)

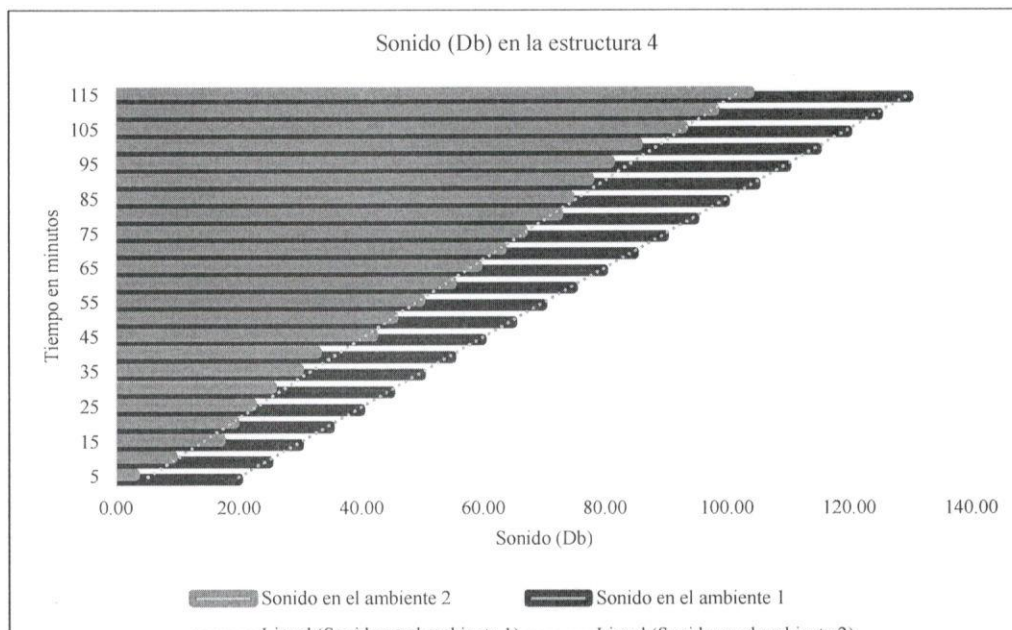
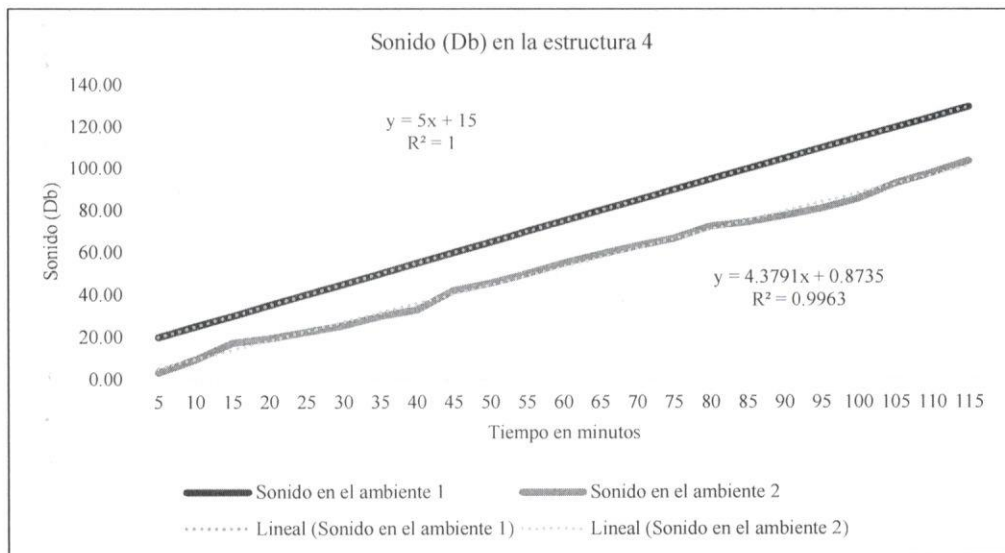




**ENSAYO ACÚSTICO
EN ESTRUCTURAS A ESCALA**

RESPONSABLE:	DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA EDEMER GONZALES IDROGO		
UBICACIÓN:	CHOTA		
AGREGADO FINO:	CANTERA CONCHAN	NÚMERO DE ESTRUCTURA:	1.00
AGREGADO GRUESO:	CANTERA CHUYABAMBA	CAUCHO GRANULAR	50.00%
DISEÑO DE MEZCLAS:	Fc 175 kg/cm ²		
SONIDO INICIAL, AMBIENTE 1 (Db):	20.00	ESPESOR DE MURO (cm):	10.00
SONIDO DE INCREMENTO (Db):	5.00	ÁREA DE ESTRUCTURA (m²):	0.50

ESTRUCTURA A ESCALA CON CONCRETO CON 50% CAUCHO GRANULAR



(Handwritten signatures)



**ENSAYO ACÚSTICO
EN ESTRUCTURAS A ESCALA**

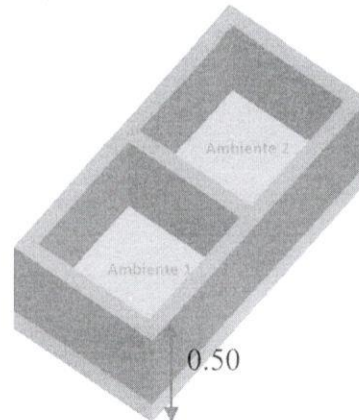
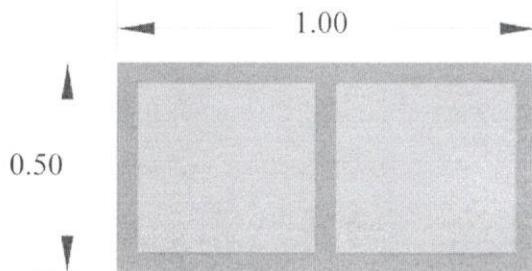
RESPONSABLE:	DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA EDEMER GONZALES IDROGO		
UBICACIÓN:	CHOTA		
AGREGADO FINO:	CANTERA CONCHAN	NÚMERO DE ESTRUCTURA:	1.00
AGREGADO GRUESO:	CANTERA CHUYABAMBA	CAUCHO GRANULAR	50.00%
DISEÑO DE MEZCLAS:	F _c 175 kg/cm ²		
SONIDO INICIAL, AMBIENTE 1 (Db):	20.00	ESPESOR DE MURO (cm):	10.00
SONIDO DE INCREMENTO (Db):	5.00	ÁREA DE ESTRUCTURA (m²):	0.50

ESTRUCTURA A ESCALA CON CONCRETO CON 50% CAUCHO GRANULAR

ITEM	Tiempo acumulado (en minutos)	AMBIENTE 1		AMBIENTE 2	
		Tiempo (min)	Sonido (Db)	Tiempo (min)	Sonido (Db)
1	5	5 min	20.00	5 min	3.25
2	10	5 min	25.00	5 min	9.41
3	15	5 min	30.00	5 min	17.22
4	20	5 min	35.00	5 min	19.46
5	25	5 min	40.00	5 min	22.35
6	30	5 min	45.00	5 min	25.55
7	35	5 min	50.00	5 min	30.02
8	40	5 min	55.00	5 min	32.92
9	45	5 min	60.00	5 min	42.09
10	50	5 min	65.00	5 min	45.55
11	55	5 min	70.00	5 min	49.93
12	60	5 min	75.00	5 min	55.01
13	65	5 min	80.00	5 min	59.23
14	70	5 min	85.00	5 min	63.28
15	75	5 min	90.00	5 min	66.78
16	80	5 min	95.00	5 min	72.56
17	85	5 min	100.00	5 min	74.45
18	90	5 min	105.00	5 min	77.67
19	95	5 min	110.00	5 min	81.05
20	100	5 min	115.00	5 min	85.67
21	105	5 min	120.00	5 min	93.05
22	110	5 min	125.00	5 min	98.24
23	115	5 min	130.00	5 min	103.98

DIMENSIONES Y FORMA DE LA ESTRUCTURA A ESCALA

Estructura	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Espesor muro (m)
N° 1	1	0.5	0.5	0.1



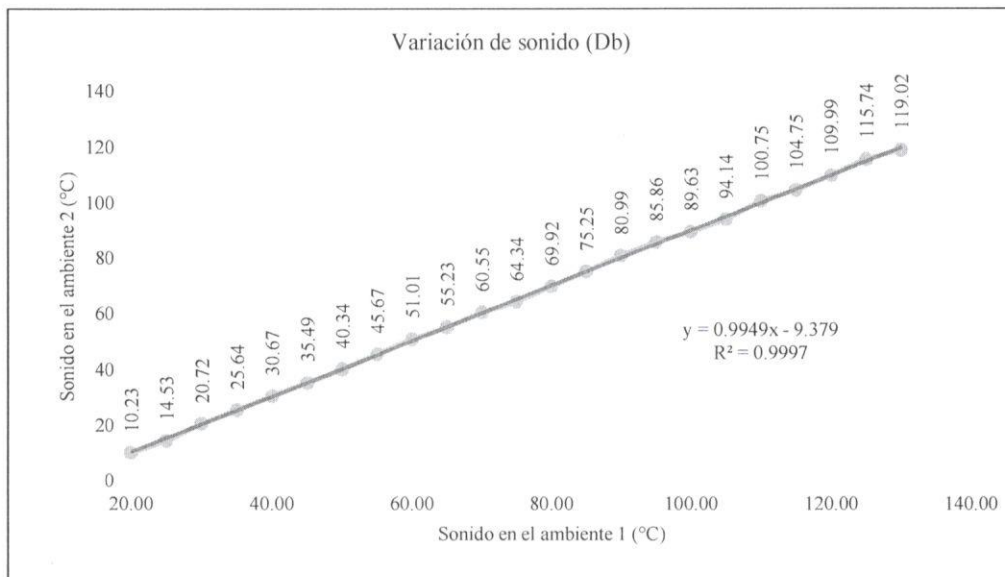
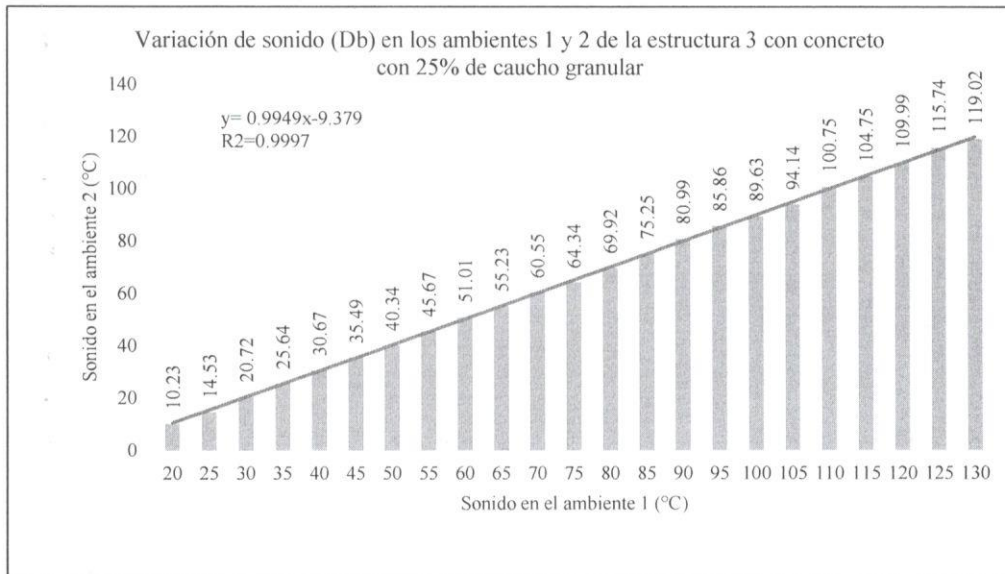
(Handwritten signatures)



**ENSAYO ACÚSTICO
 EN ESTRUCTURAS A ESCALA**

RESPONSABLE:	DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA EDEMER GONZALES IDROGO		
UBICACIÓN:	CHOTA		
AGREGADO FINO:	CANTERA CONCHAN	NÚMERO DE ESTRUCTURA:	1.00
AGREGADO GRUESO:	CANTERA CHUYABAMBA	CAUCHO GRANULAR	25.00%
DISEÑO DE MEZCLAS:	F'c 175 kg/cm ²		
SONIDO INICIAL, AMBIENTE 1 (Db):	20.00	ESPESOR DE MURO (cm):	10.00
SONIDO DE INCREMENTO (Db):	5.00	ÁREA DE ESTRUCTURA (m²):	0.50

ESTRUCTURA A ESCALA CON CONCRETO CON 25% CAUCHO GRANULAR

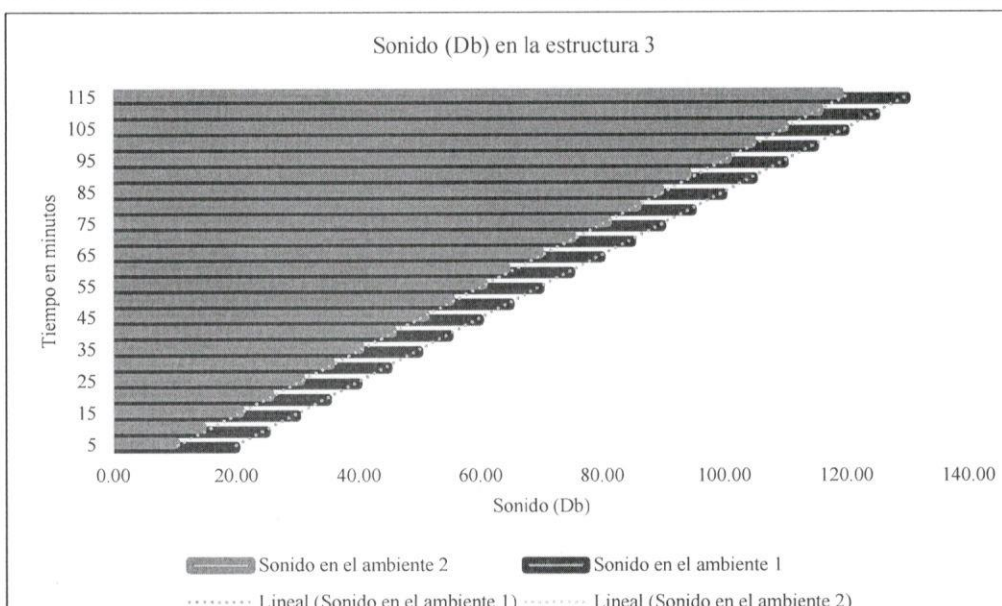
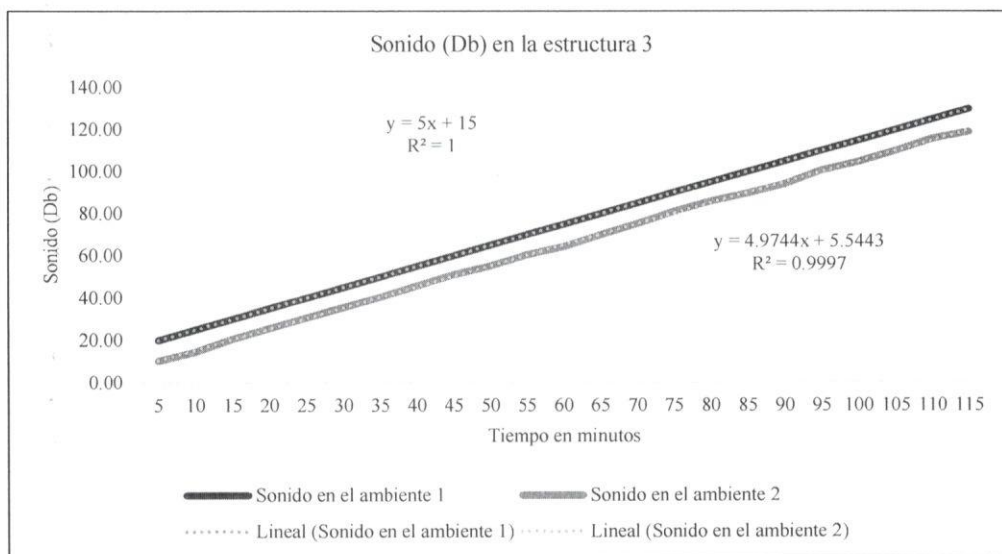




**ENSAYO ACÚSTICO
 EN ESTRUCTURAS A ESCALA**

RESPONSABLE:	DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA EDEMER GONZALES IDROGO		
UBICACIÓN:	CHOTA		
AGREGADO FINO:	CANTERA CONCHAN	NÚMERO DE ESTRUCTURA:	1.00
AGREGADO GRUESO:	CANTERA CHUYABAMBA	CAUCHO GRANULAR	25.00%
DISEÑO DE MEZCLAS:	F'c 175 kg/cm ²		
SONIDO INICIAL, AMBIENTE 1 (Db):	20.00	ESPESOR DE MURO (cm):	10.00
SONIDO DE INCREMENTO (Db):	5.00	ÁREA DE ESTRUCTURA (m²):	0.50

ESTRUCTURA A ESCALA CON CONCRETO CON 25% CAUCHO GRANULAR



(Handwritten signatures)



**ENSAYO ACÚSTICO
EN ESTRUCTURAS A ESCALA**

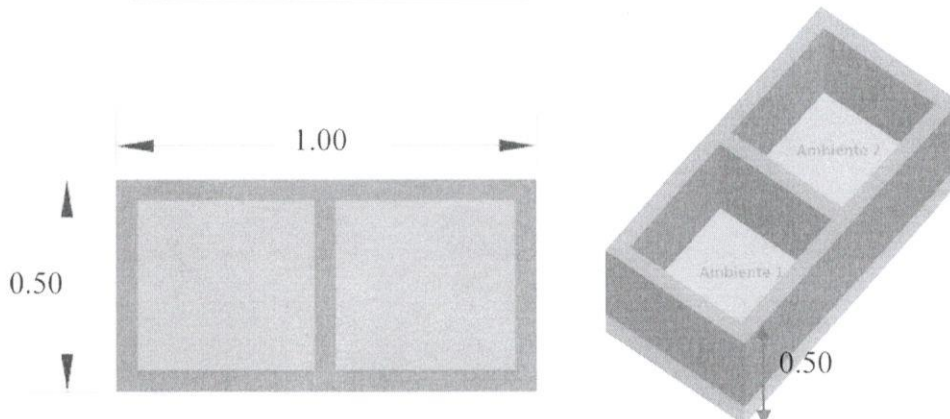
RESPONSABLE:	DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA EDEMER GONZALES IDROGO		
UBICACIÓN:	CHOTA		
AGREGADO FINO:	CANTERA CONCHAN	NÚMERO DE ESTRUCTURA:	1.00
AGREGADO GRUESO:	CANTERA CHUYABAMBA	CAUCHO GRANULAR	25.00%
DISEÑO DE MEZCLAS:	Fc 175 kg/cm ²		
SONIDO INICIAL, AMBIENTE 1 (Db):	20.00	ESPESOR DE MURO (cm):	10.00
SONIDO DE INCREMENTO (Db):	5.00	ÁREA DE ESTRUCTURA (m²):	0.50

ESTRUCTURA A ESCALA CON CONCRETO CON 25% CAUCHO GRANULAR

ITEM	Tiempo acumulado (en minutos)	AMBIENTE 1		AMBIENTE 2	
		Tiempo (min)	Sonido (Db)	Tiempo (min)	Sonido (Db)
1	5	5 min	20.00	5 min	10.23
2	10	5 min	25.00	5 min	14.53
3	15	5 min	30.00	5 min	20.72
4	20	5 min	35.00	5 min	25.64
5	25	5 min	40.00	5 min	30.67
6	30	5 min	45.00	5 min	35.49
7	35	5 min	50.00	5 min	40.34
8	40	5 min	55.00	5 min	45.67
9	45	5 min	60.00	5 min	51.01
10	50	5 min	65.00	5 min	55.23
11	55	5 min	70.00	5 min	60.55
12	60	5 min	75.00	5 min	64.34
13	65	5 min	80.00	5 min	69.92
14	70	5 min	85.00	5 min	75.25
15	75	5 min	90.00	5 min	80.99
16	80	5 min	95.00	5 min	85.86
17	85	5 min	100.00	5 min	89.63
18	90	5 min	105.00	5 min	94.14
19	95	5 min	110.00	5 min	100.75
20	100	5 min	115.00	5 min	104.75
21	105	5 min	120.00	5 min	109.99
22	110	5 min	125.00	5 min	115.74
23	115	5 min	130.00	5 min	119.02

DIMENSIONES Y FORMA DE LA ESTRUCTURA A ESCALA

Estructura	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Espesor muro (m)
N° 1	1	0.5	0.5	0.1



(Handwritten signatures)

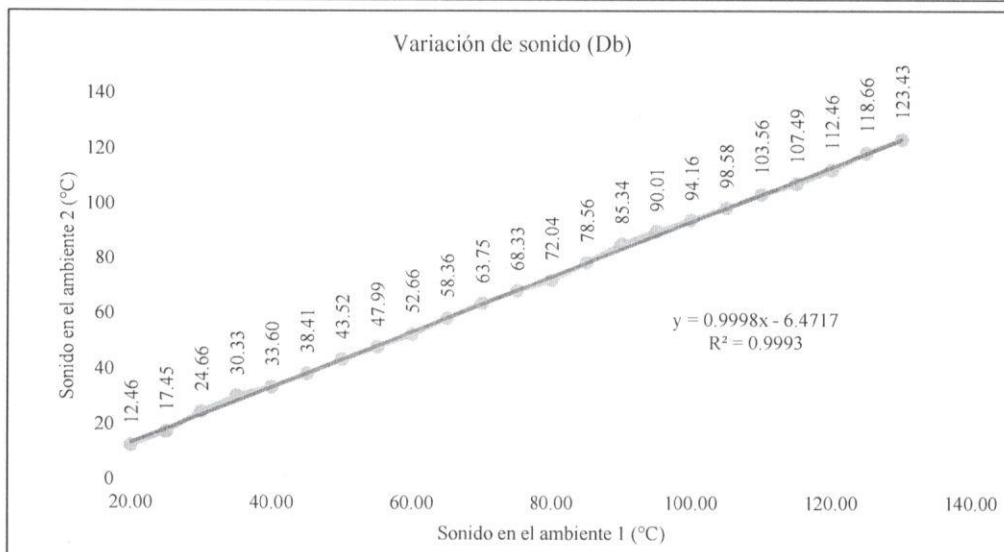
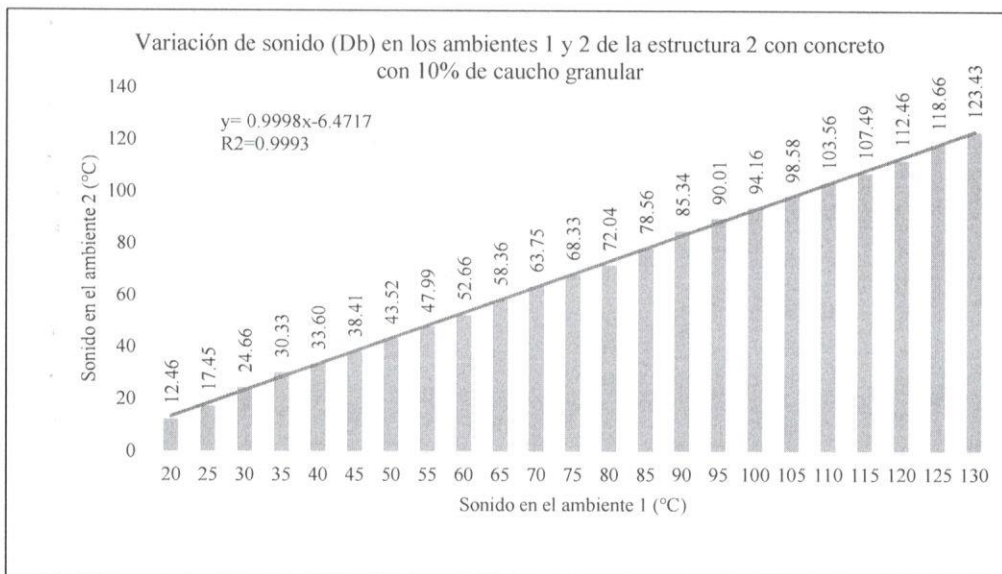


ENSAYO ACÚSTICO EN ESTRUCTURAS A ESCALA

RESPONSABLE:	DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA EDEMER GONZALES IDROGO		
UBICACIÓN:	CHOTA		
AGREGADO FINO:	CANTERA CONCHAN	NÚMERO DE ESTRUCTURA:	1.00
AGREGADO GRUESO:	CANTERA CHUYABAMBA	CAUCHO GRANULAR	10.00%
DISEÑO DE MEZCLAS:	F _c 175 kg/cm ²		
SONIDO INICIAL, AMBIENTE 1 (Db):	20.00	ESPESOR DE MURO (cm):	10.00
SONIDO DE INCREMENTO (Db):	5.00	ÁREA DE ESTRUCTURA (m²):	0.50

ESTRUCTURA A ESCALA CON CONCRETO CON 10% CAUCHO GRANULAR

..... Lineal (Sonido en el ambiente 1) Lineal (Sonido en el ambiente 2)

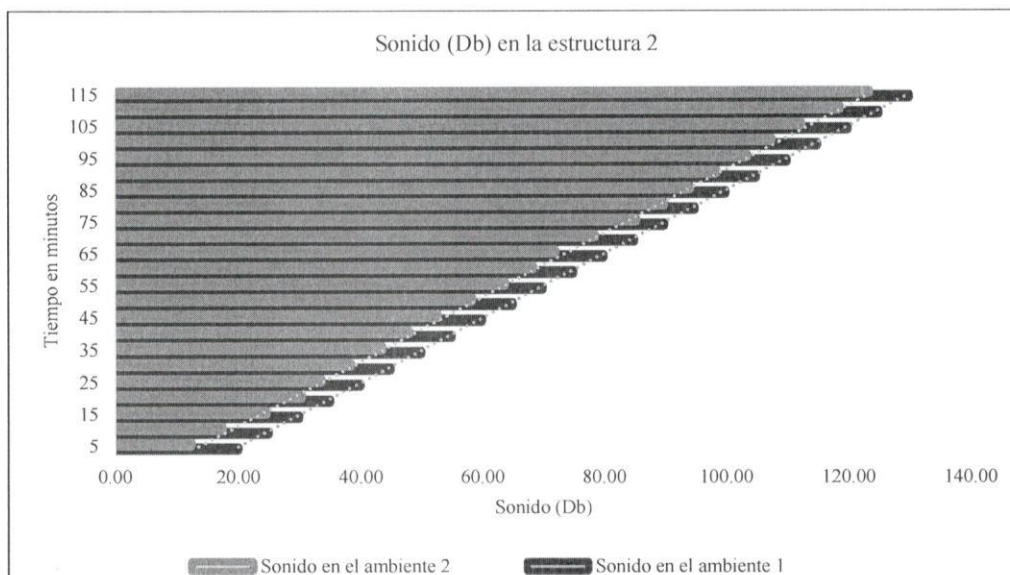
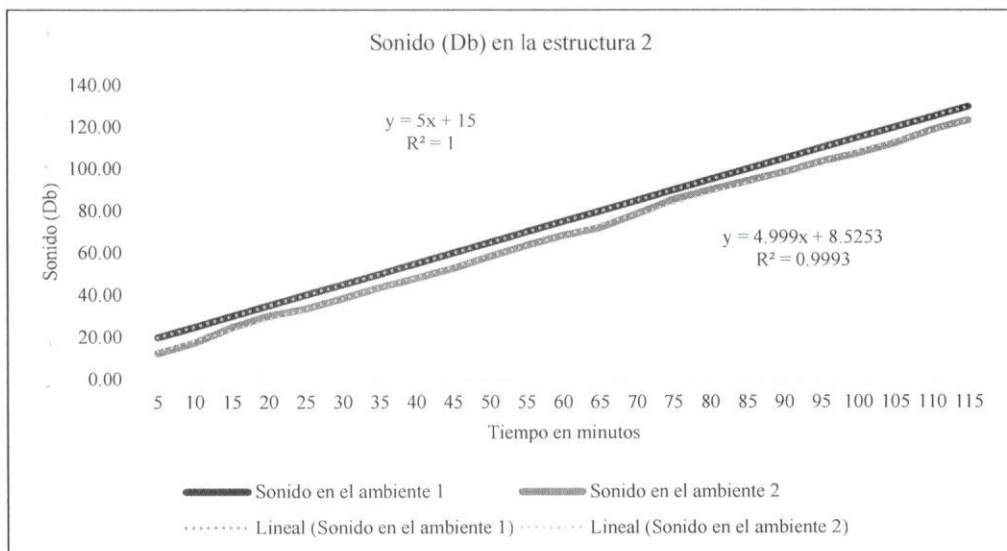




ENSAYO ACÚSTICO EN ESTRUCTURAS A ESCALA

RESPONSABLE:	DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA EDEMER GONZALES IDROGO		
UBICACIÓN:	CHOTA		
AGREGADO FINO:	CANTERA CONCHAN	NÚMERO DE ESTRUCTURA:	1.00
AGREGADO GRUESO:	CANTERA CHUYABAMBA	CAUCHO GRANULAR	10.00%
DISEÑO DE MEZCLAS:	Fc 175 kg/cm ²		
SONIDO INICIAL, AMBIENTE 1 (Db):	20.00	ESPESOR DE MURO (cm):	10.00
SONIDO DE INCREMENTO (Db):	5.00	ÁREA DE ESTRUCTURA (m²):	0.50

ESTRUCTURA A ESCALA CON CONCRETO CON 10% CAUCHO GRANULAR





ENSAYO ACÚSTICO EN ESTRUCTURAS A ESCALA

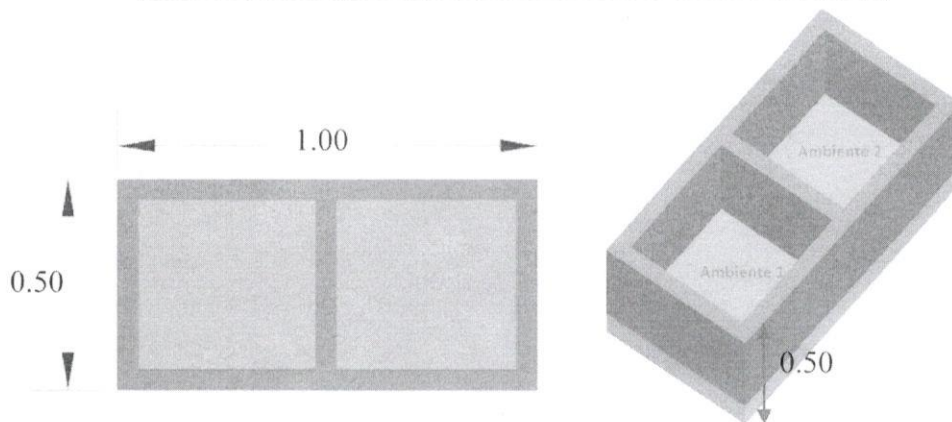
RESPONSABLE:	DIXON ANTONY ASENJO GUEVARA EDEMER GONZALES IDROGO		
UBICACIÓN:	CHOTA		
AGREGADO FINO:	CANTERA CONCHAN	NÚMERO DE ESTRUCTURA:	1.00
AGREGADO GRUESO:	CANTERA CHUYABAMBA	CAUCHO GRANULAR	10.00%
DISEÑO DE MEZCLAS:	F _c 175 kg/cm ²		
SONIDO INICIAL, AMBIENTE 1 (Db):	20.00	ESPESOR DE MURO (cm):	10.00
SONIDO DE INCREMENTO (Db):	5.00	ÁREA DE ESTRUCTURA (m²):	0.50

ESTRUCTURA A ESCALA CON CONCRETO CON 10% CAUCHO GRANULAR

ITEM	Tiempo acumulado (en minutos)	AMBIENTE 1		AMBIENTE 2	
		Tiempo (min)	Sonido (Db)	Tiempo (min)	Sonido (Db)
1	5	5 min	20.00	5 min	12.46
2	10	5 min	25.00	5 min	17.45
3	15	5 min	30.00	5 min	24.66
4	20	5 min	35.00	5 min	30.33
5	25	5 min	40.00	5 min	33.60
6	30	5 min	45.00	5 min	38.41
7	35	5 min	50.00	5 min	43.52
8	40	5 min	55.00	5 min	47.99
9	45	5 min	60.00	5 min	52.66
10	50	5 min	65.00	5 min	58.36
11	55	5 min	70.00	5 min	63.75
12	60	5 min	75.00	5 min	68.33
13	65	5 min	80.00	5 min	72.04
14	70	5 min	85.00	5 min	78.56
15	75	5 min	90.00	5 min	85.34
16	80	5 min	95.00	5 min	90.01
17	85	5 min	100.00	5 min	94.16
18	90	5 min	105.00	5 min	98.58
19	95	5 min	110.00	5 min	103.56
20	100	5 min	115.00	5 min	107.49
21	105	5 min	120.00	5 min	112.46
22	110	5 min	125.00	5 min	118.66
23	115	5 min	130.00	5 min	123.43

DIMENSIONES Y FORMA DE LA ESTRUCTURA A ESCALA

Estructura	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Espesor muro (m)
N° 1	1	0.5	0.5	0.1



(Handwritten signatures)

Anexo E. Costo Unitario del concreto con caucho granular

COSTO DE PRODUCCIÓN DE 1 M3 DE CONCRETO CON CAUCHO GRANULAR

Costo del caucho granular 2.5 soles/kg

Dosificación de materiales para 1 m3 de concreto

Para 1 m3 de concreto						
Caucho granular	Cemento bolsas	Arena (m3)	Caucho (m3)	Agua (m3)	Caucho (kg)	Grava (m3)
0%	7.22	0.299	0.000	0.193		0.394
10%	7.22	0.299	0.039	0.193	21.87	0.355
25%	7.22	0.299	0.099	0.193	54.67	0.296
50%	7.22	0.30	0.197	0.193	109.34	0.197

Costo de producción de 1 m3 de concreto en losa aligerada de f'c 175 kg/cm2 (CAPECO, 2006)

Costo unitario de 1 m3 de concreto

Rendimiento	m3/día	25	EQ	25		
Descripción del recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
<i>Mano de obra</i>						
Operario	hh	3.000	0.960	10.59	10.166	
Operador de equipo liviano	hh	3.000	0.960	10.59	10.166	
Oficial	hh	2.000	0.640	8.30	5.312	
Peón	hh	11.000	3.520	7.48	26.312	
					51.957	
<i>Materiales</i>						
Cemento	bls		7.22	30.00	216.706	
Arena	m3		0.30	80.00	23.920	
Piedra	m3		0.39	70.00	27.580	
Caucho granular	kg		0.00	2.50	0.000	
Agua (m3)	m3		0.19	5.00	0.965	
					269.171	
<i>Equipos</i>						
Herramientas manuales	%mo		3.00	51.96	1.559	
Mezcladora de 9-11 p3	hm	1.000	0.320	15.00	4.800	
Vibrador de 2.0", 4HP	hm	1.000	0.320	10.00	3.200	
					9.559	
Costo unitario directo					330.69	

Costo unitario de 1 m3 de concreto, 10% caucho granular

Rendimiento	m3/día	25	EQ	25		
Descripción del recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
<i>Mano de obra</i>						
Operario	hh	3.000	0.960	10.59	10.166	
Operador de equipo liviano	hh	3.000	0.960	10.59	10.166	
Oficial	hh	2.000	0.640	8.30	5.312	
Peón	hh	11.000	3.520	7.48	26.312	
					51.957	
<i>Materiales</i>						
Cemento	bls		7.22	30.00	216.706	
Arena	m3		0.30	80.00	23.920	
Piedra	m3		0.35	70.00	24.822	
Caucho granular	kg		21.87	2.50	54.668	
Agua (m3)	m3		0.19	5.00	0.965	
					321.080	
<i>Equipos</i>						
Herramientas manuales	%mo		3.00	51.96	1.559	
Mezcladora de 9-11 p3	hm	1.000	0.320	15.00	4.800	
Vibrador de 2.0", 4HP	hm	1.000	0.320	10.00	3.200	
					9.559	
Costo unitario directo					382.60	

Costo unitario de 1 m3 de concreto, 25% caucho granular

Rendimiento	m3/día	25	EQ	25		
Descripción del recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
<i>Mano de obra</i>						
Operario	hh	3.000	0.960	10.59	10.166	
Operador de equipo liviano	hh	3.000	0.960	10.59	10.166	
Oficial	hh	2.000	0.640	8.30	5.312	
Peón	hh	11.000	3.520	7.48	26.312	
						51.957
<i>Materiales</i>						
Cemento	bls		7.22	30.00	216.706	
Arena	m3		0.30	80.00	23.920	
Piedra	m3		0.30	70.00	20.685	
Caucho granular	kg		54.67	2.50	136.669	
Agua (m3)	m3		0.19	5.00	0.965	
						398.945
<i>Equipos</i>						
Herramientas manuales	%mo		3.00	51.96	1.559	
Mezcladora de 9-11 p3	hm	1.000	0.320	15.00	4.800	
Vibrador de 2.0", 4HP	hm	1.000	0.320	10.00	3.200	
						9.559
Costo unitario directo						460.46

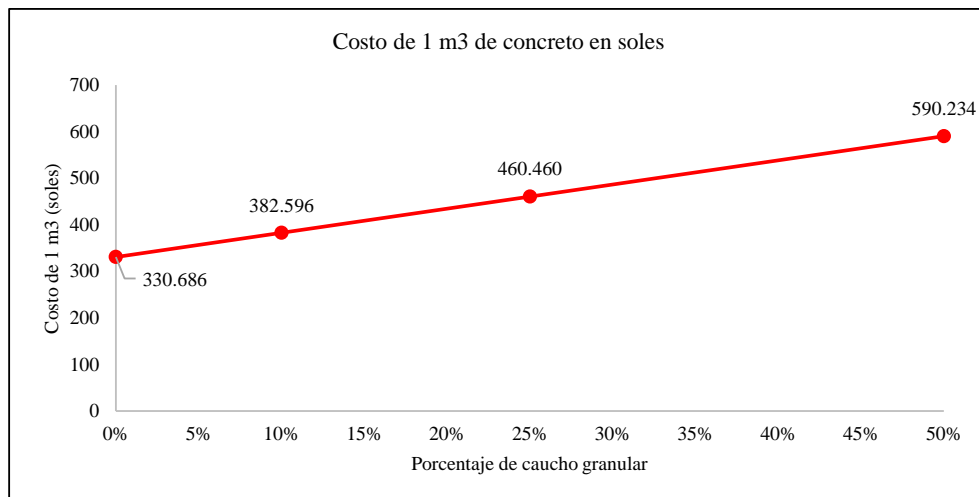
Costo unitario de 1 m3 de concreto, 50% caucho granular

Rendimiento	m3/día	25	EQ	25		
Descripción del recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
<i>Mano de obra</i>						
Operario	hh	3.000	0.960	10.59	10.166	
Operador de equipo liviano	hh	3.000	0.960	10.59	10.166	
Oficial	hh	2.000	0.640	8.30	5.312	
Peón	hh	11.000	3.520	7.48	26.312	
						51.957
<i>Materiales</i>						
Cemento	bls		7.22	30.00	216.706	
Arena	m3		0.30	80.00	23.920	
Piedra	m3		0.20	70.00	13.790	
Caucho granular	kg		109.34	2.50	273.338	
Agua (m3)	m3		0.19	5.00	0.965	
						528.718
<i>Equipos</i>						
Herramientas manuales	%mo		3.00	51.96	1.559	
Mezcladora de 9-11 p3	hm	1.000	0.320	15.00	4.800	
Vibrador de 2.0", 4HP	hm	1.000	0.320	10.00	3.200	
						9.559
Costo unitario directo						590.23

COMPARACIÓN ECONÓMICA

<i>Costo unitario de 1 m3 de concreto</i>	330.69
<i>Costo unitario de 1 m3 de concreto, 10% caucho granular</i>	382.60
<i>Costo unitario de 1 m3 de concreto, 25% caucho granular</i>	460.46
<i>Costo unitario de 1 m3 de concreto, 50% caucho granular</i>	590.23

Porcentaje de caucho granular	Costo unitario de 1 m ³ de concreto (soles)	Costo de incremento (soles)	
0%	330.686	0.000	
10%	382.596	-51.910	115.70%
25%	460.460	-77.864	139.24%
50%	590.234	-129.774	178.49%



CÁLCULO DEL COSTO DE CONSTRUCCIÓN DE LA LOSA ALIGERADA

La losa aligerada tendrá dimensiones de 1 m x 1 m x 0.17 m

Costo unitario de Ladrillos huecos de arcilla de 15x30x30 cm

Rendimiento	pza/día	1600	EQ	1600		
Descripción del recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
<i>Mano de obra</i>						
Operario	hh	0.025	0.008	10.59	0.085	
Oficial	hh	0.250	0.080	8.30	0.664	
Peón	hh	0.500	0.160	7.48	1.196	
					1.945	
<i>Materiales</i>						
Ladrillo hueco 15x30x30 cm	pz		1.05	2.70	2.835	
					2.835	
<i>Equipos</i>						
Herramientas manuales	% mo		3.00	1.94	0.058	
					0.058	
Costo unitario directo					4.84	

Costo de 1 m² de losa aligerada de techo con ladrillo hueco

Para una losa de 1 m² de 0.17 m de espesor ingresan 12 ladrillos de techo

Partida	Unidad	Metrado	Costo unitario	Parcial
Concreto	m ³	0.0215	330.69	7.11
Ladrillo	pza	12	4.84	58.06
				65.17

Costo de 1 m² de losa aligerada de techo con concreto de 10% de caucho granular

Para una losa de 1 m² de 0.17 m solamente con concreto con 10% de caucho granular

Partida	Unidad	Metrado	Costo unitario	Parcial
Concreto	m ³	0.17	382.60	65.04

CÁLCULO DEL COSTO DE PRODUCCIÓN DE LADRILLOS PORTANTES

Los ladrillos portantes tienen dimensiones de 23x12.5x9 cm, siendo un volumen de 0.0026

Altura	9	0.0900
Largo	23	0.2300
Ancho	12.5	0.1250
Volumen		0.0026

Costo unitario del concreto con 10% de caucho granular 382.60 soles

Número de ladrillos que se elaboran con 1 m³ de concreto 386.5 ladrillos
386 ladrillos

Costo unitario de 1 ladrillo de concreto con 10% de caucho granu 0.99 soles

Anexo F. Ficha técnica y cotización del caucho granular



CAUCHO GRANULADO

FICHA TÉCNICA

CAUCHO GRANULADO

Descripción: Caucho granulado SBR color negro y con granulometría de 2.5 mm, recomendado por **FIFA** - importado de Bélgica y testeado en laboratorio especializado.

El tipo más recomendado y preferido para el óptimo rebote del balón en grass sintético.

Identificación:

Proveedor: GEOMETRIK TARGET.

Producto: Granulado de caucho SBR, EPDM, TPV.

Código: 8.GC.SBR.

Descripción: Caucho granulado de 8mm SBR.

Rendimiento: 4kg / m².



www.tecnograssperu.com



CAUCHO GRANULADO

FICHA TÉCNICA

Uso

Campo deportivo, campos infantiles, paseos públicos, etc.

Color

Negro

Composición Química: Por tratarse de un producto procedente del caucho criogenico, resulta imposible determinar exactamente su composición por lo que los datos especificados son aproximados.

CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN
Contenido Caucho	55% +/- 5%
Negros de Carbono	32% +/- 3%
Alquitranes	1 - 3%
Extracto Acetónico	10% +/- 3%
Oxido de Zinc	1 - 3%
Cenizas	0.5 +/- 3%
Catalizadores	0,4 - 0,7%
Protectores - antioxidantes	< 0,5%
Relleno 1	90% del Caucho
Relleno 2	10% del Caucho

Propiedades Físicas:

Dureza	65 +/- 5 Shore A.
Densidad aparente	0.50 +/- 0.02 kg/l.
Peso específico	1,1 + 0,2 kg. / D m ³





COTIZACIÓN

MZ. M LT. E10 - AV RESIDENCIAL LOS SAUCES
PUENTE PIEDRA - LIMA



+51 955 145 461 / +51 926 884 120



VENTAS1@TECNOGRASSPERU.COM



WWW.TECNOGRASSPERU.COM



Fecha: 22/07/2024

Cotización: TGPDEP-1-2207241027

1 1707071009192216

Cotizado a:
EDEMER GONZALES IDROGO
CHOTA - CAJAMARCA
2

Cotizado por:
Diego Varas
955 145 461
ventas1@tecnograssperu.com



Ancho	,00 m	Área Total	,00 m2
Largo	,00 m		

Cantidad	Modelo	Descripción	Peso	Prec. Uni	Importe Total
-	Caucho granulado	caucho granulado importado - granulometria 2.5mm - especial para grass sintético.	1 TN	1,8	S/ 1.800,00
-	Forma-Pago	10% para separacion. 90% a la entrega de caucho.	-	-	-



SOLES:
CUENTA CORRIENTE (BCP): 191-2516594-0-40
CCI (BCP): 002-191-002516594040-51

DOLARES:
CUENTA CORRIENTE (BCP): 191-2516611-1-22
CCI (BCP): 002-191-002516611122-56

SOLES:
CUENTA CORRIENTE (BBVA): 0011-0312-0100025414
CCI (BBVA): 011-312-000100025414-62

DOLARES:
CUENTA CORRIENTE (BBVA): 0011-0312-0100025422
CCI (BBVA): 011-312-000100025422-65

SUB-TOTAL	S/	1.525,42
I.G.V.	S/	274,58
TOTAL	S/	1.800,00

TECNOGRASS_PERU

@TECNOGRASSPERU