

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
ESCUELA DE POSGRADO
Programa de Doctorado en Ingeniería Civil



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

**Propuesta de diseño de concreto con agregado reciclado
y su aplicación en la elaboración de adoquines para el
tránsito vehicular ligero**

**Tesis para optar el grado de Doctor en
Ingeniería Civil**

Autor:

Mg. Castillejo Melgarejo, Raúl Edgar
DNI N° 31613150
Código ORCID: 0000-0001-5568-900X

Asesor:

Dr. Reyes Roque, Reynaldo Melquiades
DNI. N° 31658163
Código ORCID: 0000-0002-9408-0069

Línea de Investigación:

Nuevos materiales para la construcción

Nuevo Chimbote - PERÚ
2026



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

CONSTANCIA DE ASESORAMIENTO DE TESIS

Yo, **Dr. Reynaldo Melquiades Reyes Roque**, mediante la presente certifico mi asesoramiento de la Tesis Doctoral titulada: "**Propuesta de diseño de concreto con agregado reciclado y su aplicación en la elaboración de adoquines para el tránsito vehicular ligero**", por el magister **Raúl Edgar Castillejo Melgarejo**, para obtener el Grado Académico de Doctor en Ingeniería Civil en la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa.

Nuevo Chimbote, marzo del 2026.

Dr. Reyes Roque Reynaldo Melquiades
ASESOR
CODIGO ORCID: 0000-0002-9408-0069
DNI N° 31658163



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR

"Propuesta de diseño de concreto con agregado reciclado y su aplicación en la elaboración de adoquines para el tránsito vehicular ligero"

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR EN INGENIERÍA CIVIL

Revisado y Aprobado por el Jurado Evaluador:



DR. LÓPEZ CARRANZA ATILIO RUBÉN
PRESIDENTE
CODIGO ORCID: 0000-0002-3631-2001
DNI N° 32965940



DRA. FERNÁNDEZ MANTILLA JENISSE DEL ROCÍO
VOCAL
CODIGO ORCID: 0000-0003-3336-4786
DNI N° 33264434



DR. REYES ROQUE REYNALDO MELQUIADES
VOCAL
CODIGO ORCID: 0000-0002-9408-0069
DNI N° 31658163



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

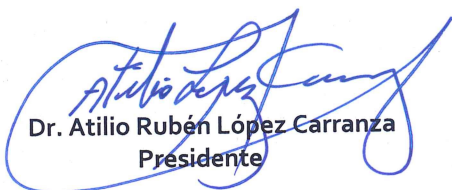
A los veinte días del mes de febrero del año 2026, siendo las 09:00 horas, en el aula P-01 de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador, designados mediante Resolución Directoral N° 798-2025-EPG-UNS de fecha 05.09.2025, conformado por los docentes: Dr. Atilio Rubén López Carranza (Presidente), Dra. Jenisse del Rocío Fernández Mantilla (Secretaria) y Dr. Reynaldo Melquiades Reyes Roque (Vocal); con la finalidad de evaluar la tesis intitulada: **"PROPUESTA DE DISEÑO DE CONCRETO CON AGREGADO RECICLADO Y SU APLICACIÓN EN LA ELABORACIÓN DE ADOQUINES PARA EL TRÁNSITO VEHICULAR LIGERO"**; presentado por el tesista **Raul Edgar Castillejo Melgarejo**, egresado del programa de Doctorado en Ingeniería Civil.

Sustentación autorizada mediante Resolución Directoral N° 102-2026-EPG-UNS de fecha 05 de febrero de 2026.


El presidente del jurado autorizó el inicio del acto académico; producido y concluido el acto de sustentación de tesis, los miembros del jurado procedieron a la evaluación respectiva, haciendo una serie de preguntas y recomendaciones al tesista, quien dio respuestas a las interrogantes y observaciones.

El jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, declara la sustentación como APROBADO, asignándole la calificación de QUINCE.

Siendo las 10:05 horas del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando la presente acta en señal de conformidad.


Dr. Atilio Rubén López Carranza
Presidente


Dra. Jenisse del Rocío Fernández Mantilla
Secretaria


Dr. Reynaldo Melquiades Reyes Roque
Vocal/Asesor

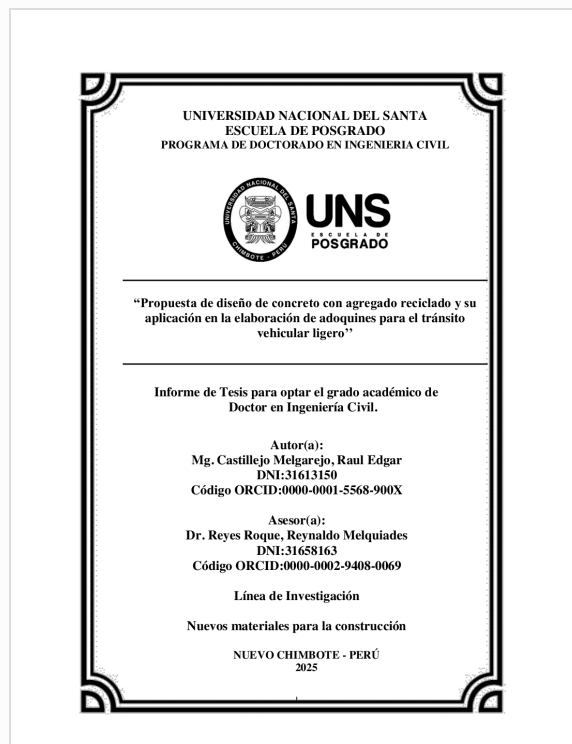


Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Raul Edgar CASTILLEJO MELGAREJO
Título del ejercicio: DOCTORADO 2026
Título de la entrega: TESIS DE DOCTORADO DE LA UNS
Nombre del archivo: Tesis_Corregido_RECM_1804_2026.pdf
Tamaño del archivo: 8.61M
Total páginas: 183
Total de palabras: 36,708
Total de caracteres: 196,786
Fecha de entrega: 21-abr-2026 10:40p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2939888577



TESIS DE DOCTORADO RAUL CASTILLEJO MELGAREJO

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%

INDICE DE SIMILITUD

12%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

11%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
2	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
4	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	1%
6	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	<1%
8	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	<1%
9	repositorio.usanpedro.edu.pe Fuente de Internet	<1%

DEDICATORIA

A Dios, por acompañarme en cada etapa de mi vida y permitiéndome rodearme de personas extraordinarias que impulsan mi desarrollo personal y profesional.

A la memoria de mis queridos padres Demetrio[†], Victoria[†] y mi hermana Carmen[†], quienes desde el cielo guían mis pasos.

A mis hermanos Marcelo, Luis, Ricardo, Carmen y Fredy que más que hermanos son mis verdaderos amigos.

A mis sobrinas y sobrino Roció, Daniela, Ricardo, Ángeles y Carmen, esperando que le sirva de fuente de inspiración e ilumine su camino a cada uno de ellos.

AGRADECIMIENTO

A Dios por estar siempre a mi lado y apoyarme en aquellos momentos de debilidad.

A mi prestigiosa Universidad por haberme brindado los conocimientos y enseñanzas para ser un excelente profesional.

Es, difícil escribir un agradecimiento considerando que han sido tantas las personas que de alguna u otra forma han contribuido en alguna etapa del desarrollo de la presente investigación.

A mi asesor, por su conocimiento, voluntad y paciencia para guiarme en la presente investigación.

A todos mi mayor reconocimiento y gratitud.

Índice general

Dedicatoria	II
Agradecimiento	III
Índice general.....	IV
Índice de tablas.....	VII
Índice de figuras.....	X
Resumen.....	XII
Abstract.....	XIII
I. Introducción.....	14
1.1. Descripción y formulación del problema de investigación	16
1.1.1. Realidad genérica del problema	16
1.1.2. Características de la realidad específica.....	23
1.2. Formulación del problema de investigación	25
1.2.1. Problema general	25
1.2.2. Problema específico	26
1.3. Objetivo de la investigación.....	26
1.3.1. Objetivo general.....	26
1.3.2. Objetivo específico	26
1.4. Hipótesis de la investigación.....	27
1.4.1. Hipótesis general.....	27
1.4.2. Hipótesis específica	27
1.5. Justificación e importancia.....	28
1.6. Delimitaciones	29
1.6.1. Delimitación del estudio	29
1.6.2. Delimitación temporal.....	30
1.7. Variables de la investigación	30
1.7.1. Variable independiente	30
1.7.2. Variable dependiente.....	30
II. Marco teórico	31
2.1. Antecedentes	31
2.1.1. Antecedentes internacionales	31

2.1.2.	Antecedentes nacionales	40
2.2.	Marco teórico	41
2.2.1.	Economía circular	41
2.2.2.	Agregado reciclado de roca caliza	42
2.2.3.	Diseño de mezcla	45
2.2.4.	Adoquines de concreto.....	50
2.3.	Definición de términos.....	61
2.4.	Marco normativo.....	63
III.	Metodología de la investigación.....	64
3.1.	Diseño o esquema de la investigación	64
3.1.1.	Tipo de investigación	64
3.1.2.	Enfoque la investigación.....	64
3.1.3.	Diseño de investigación	64
3.2.	Población y muestra.....	65
3.2.1.	Población.....	65
3.2.2.	Muestra	65
3.3.	Operacionalización de variables	66
3.4.	Técnica e instrumento de recolección de datos.....	69
3.4.1.	Técnica.....	69
3.4.2.	Instrumento	69
3.5.	Procedimiento de recolección de datos.....	69
IV.	Resultados, prueba de hipótesis y discusión.....	90
4.1.	Resultados	90
4.1.1.	Resultado del ensayo al desgaste del agregado por abrasión los ángeles	90
4.1.2.	Resultado del diseño de mezcla $f^c=320 \text{ kg/cm}^2$	91
4.1.3.	Resultado del ensayo a la compresión de las probetas de concreto	92
4.1.4.	Resultado del ensayo a la compresión de adoquines de concreto tipo II	94
4.1.5.	Resultado del ensayo de absorción de los adoquines de concreto tipo II	102
4.1.6.	Resultado del ensayo de resistencia al desgaste.....	109
4.1.7.	Resultado del ensayo de resistencia a la flexión	115
4.2.	Prueba de hipótesis	121
4.2.1.	Prueba hipótesis general.....	121

4.2.2. Prueba hipótesis específica	130
4.3. Discusión.....	132
V. Conclusiones y recomendaciones.....	139
5.1. Conclusiones	139
5.1.1. Conclusión general.....	139
5.1.2. Conclusiones específicas	139
5.2. Recomendaciones	140
VI. Referencias bibliográficas.....	142
ANEXOS.....	148

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de residuos de la construcción.....	18
Tabla 2. Iniciativas públicas de economía circular en América latina.....	22
Tabla 3. Cantera de roca caliza en la provincia de Carhuaz.....	24
Tabla 4. Resumen de ubicación donde se desarrolló la investigación.....	29
Tabla 5. Slumps recomendados.....	46
Tabla 6. Agua de la mezcla aproximada y contenido de aire requerido para diferentes slumps y tamaños máximos nominales de agregado.....	47
Tabla 7. Relación a/c y resistencia a la compresión del concreto.....	48
Tabla 8. Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.....	49
Tabla 9. Clasificación del tipo de cemento Portland.....	52
Tabla 10. Límites permisibles para el agua de mezcla y curado según la norma NTP 339. 088.....	53
Tabla 11. Clasificación de los adoquines de acuerdo con el uso.....	54
Tabla 12. Espesor nominal y resistencia a la compresión de adoquines.....	54
Tabla 13. Tolerancia de las dimensiones de los adoquines.....	55
Tabla 14. Requisitos máximos de absorción.....	55
Tabla 15. Resistencia mínima a la flexión.....	56
Tabla 16. Operacionalización de variable independiente.....	66
Tabla 17. Operacionalización de variable dependiente.....	67
Tabla 18. Cantidad de adoquines que serán sometidos a ensayos de laboratorio.....	68
Tabla 19. Parámetros utilizados para los ensayos de abrasión los ángeles en función al diámetro del agregado.....	71
Tabla 20. Parámetros para el diseño de mezcla mediante la metodología del ACI.....	73
Tabla 21. Contenido de humedad de agregado fino.....	74
Tabla 22. Peso específico y porcentaje de absorción.....	74
Tabla 23. Peso unitario del agregado fino.....	75
Tabla 24. Proceso de tamizado del agregado fino.....	75
Tabla 25. Contenido de humedad de agregado grueso.....	77
Tabla 26. Peso específico y porcentaje de absorción del agregado grueso (piedra chancada)	77
Tabla 27. Peso unitario suelto y peso unitario varillado.....	78
Tabla 28. Proceso de tamizado del agregado grueso (piedra chancada)	78

Tabla 29. Cantidad de insumos para la elaboración de adoquines de concreto.....	85
Tabla 30. Resultado del ensayo de resistencia al desgaste del agregado grueso por abrasión los ángeles.....	90
Tabla 31. Dosificación en peso del diseño mezcla por la metodología del ACI.....	91
Tabla 32. Dosificación en volumen del diseño mezcla por la metodología del ACI.....	92
Tabla 33. Ensayos de resistencia compresión de las probetas de concreto.....	93
Tabla 34. Resistencia a la compresión de los adoquines de concreto del tipo II (Patrón)	94
Tabla 35. Ensayo resistencia a la compresión de los adoquines de concreto de tipo II (patrón)	95
Tabla 36. Resistencia a la compresión de los adoquines de concreto del tipo II (Proporción 1)	96
Tabla 37. Ensayo resistencia a la compresión de los adoquines de concreto de tipo II (proporción 1)	97
Tabla 38. Resistencia a la compresión de los adoquines de concreto del tipo II (Proporción 2) a diferentes edades.....	98
Tabla 39. Ensayo resistencia a la compresión de los adoquines de concreto de tipo II (proporción 2)	99
Tabla 40. Resistencia a la compresión de los adoquines de concreto del tipo II (Proporción 3)	100
Tabla 41. Ensayo resistencia a la compresión de los adoquines de concreto de tipo II (proporción 3)	101
Tabla 42. Ensayo de absorción de los adoquines de concreto tipo II (patrón)	103
Tabla 43. Ensayo de absorción de los adoquines de concreto tipo II (patrón)	103
Tabla 44. Ensayo de absorción de los adoquines de concreto tipo II (proporción 1)	104
Tabla 45. Ensayo de absorción de los adoquines de concreto tipo II (proporción 1)	105
Tabla 46. Ensayo de absorción de los adoquines de concreto tipo II (proporción 2)	106
Tabla 47. Ensayo de absorción de los adoquines de concreto tipo II (proporción 2)	106
Tabla 48. Ensayo de absorción de los adoquines de concreto tipo II (proporción 3)	107
Tabla 49. Ensayo de absorción de los adoquines de concreto tipo II (proporción 3)	108
Tabla 50. Ensayo de desgaste de los adoquines de concreto tipo II (patrón)	109

Tabla 51. Ensayo de desgaste de los adoquines de concreto tipo II (patrón)	110
Tabla 52. Ensayo de desgaste de los adoquines de concreto tipo II (proporción 1)	111
Tabla 53. Ensayo de desgaste de los adoquines de concreto tipo II (proporción 1)	111
Tabla 54. Ensayo de desgaste de los adoquines de concreto tipo II (proporción 2)	112
Tabla 55. Ensayo de desgaste de los adoquines de concreto tipo II (proporción 2)	113
Tabla 56. Ensayo de desgaste de los adoquines de concreto tipo II (proporción 3)	114
Tabla 57. Ensayo de desgaste de los adoquines de concreto tipo II (proporción 3)	114
Tabla 58. Ensayo de flexión de los adoquines de concreto tipo II (patrón)	115
Tabla 59. Ensayo de flexión de los adoquines de concreto tipo II (patrón)	116
Tabla 60. Ensayo de flexión de los adoquines de concreto tipo II (proporción 1)	117
Tabla 61. Ensayo de flexión de los adoquines de concreto tipo II (proporción 1)	117
Tabla 62. Ensayo de flexión de los adoquines de concreto tipo II (proporción 2)	118
Tabla 63. Ensayo de flexión de los adoquines de concreto tipo II (proporción 2)	118
Tabla 64. Ensayo de flexión de los adoquines de concreto tipo II (proporción 3)	119
Tabla 65. Ensayo de flexión de los adoquines de concreto tipo II (proporción 3)	119
Tabla 66. Resultado de los ensayos de los adoquines de concreto tipo II.....	120
Tabla 67. Prueba de homogeneidad de varianzas.....	122
Tabla 68. Análisis estadístico Anova.....	123
Tabla 69. Diferencia significativa entre las medias de los 4 grupos.....	124
Tabla 70. Análisis de Takey para el ensayo la compresión de los adoquines de concreto tipo II...125	125
Tabla 71. Análisis de Takey para el ensayo a la absorción de los adoquines de concreto tipo II.126	126
Tabla 72. Análisis de Takey para el ensayo al desgaste de los adoquines de concreto tipo II	127
Tabla 73. Análisis de Takey para el ensayo a la flexión de los adoquines de concreto tipo II	128
Tabla 74. Valores promedio de la proporción.....	129

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. El modelo económico lineal: extraer, usar y desechar.....	19
Figura 2. Proceso futuro del sector construcción basado en la economía circular.....	21
Figura 3. Roca caliza en su estado natural.....	42
Figura 4. Agregado reciclado después del proceso de chancado.....	45
Figura 5. Adoquín de concreto tipo II.....	50
Figura 6. Pavimento flexible.....	59
Figura 7. Pavimento rígido.....	60
Figura 8. Pavimento semirrígido o segmentado.....	61
Figura 9. Procedimiento de trabajo en campo y gabinete.....	69
Figura 10. Ubicación del botadero Purhuay.....	70
Figura 11. Procedimiento que se realiza para la eliminación del material contaminante.....	70
Figura 12. Ensayo de desgaste del agregado grueso por abrasión los ángeles.....	71
Figura 13. Procesamiento de la muestra del residuo de roca caliza.....	72
Figura 14. Distribución granulométrica del agregado fino.....	76
Figura 15. Distribuciones granulométricas del agregado grueso.....	79
Figura 16. Elaboración del concreto de acuerdo con la proporción del diseño de mezcla.....	82
Figura 17. Vaciado de concreto en los moldes para la verificación de la resistencia a la compresión.....	83
Figura 18. Ensayo a compresión de las probetas de concreto.....	83
Figura 19. Proceso de la elaboración del adoquín de concreto.....	85
Figura 20. Adoquines de concreto del tipo II.....	86
Figura 21. Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines.....	87
Figura 22. Ensayo de absorción de adoquines de concreto.....	87
Figura 23. Ensayo de Resistencia al desgaste por abrasión.....	88
Figura 24. Ensayo de resistencia a la flexión.....	89
Figura 25. Ensayo de resistencia a la compresión de las probetas de concreto.....	94
Figura 26. Ensayo de resistencia a la compresión de los adoquines de concreto tipo II.....	95
Figura 27. Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines de concreto del tipo II (patrón).....	96
Figura 28. Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines de concreto del tipo II (proporción 1)	97

Figura 29. Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines de concreto del tipo II (proporción 1)	98
Figura 30. Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines de concreto del tipo II (proporción 2)	99
Figura 31. Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines de concreto del tipo II (proporción 2)	100
Figura 32. Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines de concreto del tipo II (proporción 3)	101
Figura 33. Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines de concreto del tipo II (proporción 3)	102
Figura 34. Ensayo de absorción de los adoquines de concreto tipo II (patrón)	104
Figura 35. Ensayo de absorción de los adoquines de concreto tipo II (proporción 1)	105
Figura 36. Ensayo de absorción de los adoquines de concreto tipo II (proporción 2)	107
Figura 37. Ensayo de absorción de los adoquines de concreto tipo II (proporción 3)	108
Figura 38. Resistencia a la abrasión de adoquines de concreto tipo II (patrón)	110
Figura 39. Resistencia a la abrasión de adoquines de concreto tipo II (proporción 1)	112
Figura 40. Resistencia a la abrasión de adoquines de concreto tipo II (proporción 2)	113
Figura 41. Resistencia a la abrasión de adoquines de concreto tipo II (proporción 3)	115
Figura 42. Resistencia a la flexión de adoquines de concreto tipo II (patrón)	116
Figura 43. Resistencia a la flexión de adoquines de concreto tipo II (proporción 1)	117
Figura 44. Resistencia a la flexión de adoquines de concreto tipo II (proporción 2)	118
Figura 45. Resistencia a la flexión de adoquines de concreto tipo II (proporción 3)	119
Figura 46. Grafico de medias para el ensayo a compresión de los adoquines tipo II	125
Figura 47. Gráfico de medias para el ensayo de absorción de los adoquines tipo II	126
Figura 48. Gráfico de medias para el ensayo al desgaste de los adoquines tipo II	127
Figura 49. Gráfico de medias para el ensayo a la flexión de los adoquines tipo II	128

RESUMEN

La presente investigación titulada “Propuesta de diseño de concreto con agregado reciclado y su aplicación en la elaboración de adoquines para el tránsito vehicular ligero”, tuvo como objetivo general evaluar las propiedades mecánicas y físicas de los adoquines tipo II, elaborados con residuos de roca caliza como agregado para el uso del tránsito vehicular ligero y cumpla con los parámetros establecidos en la NTP 399.611. Se desarrollo una investigación del tipo aplica, con enfoque cuantitativo, con diseño cuasi experimental y nivel explicativo. La técnica empleada fue la observación directa y los instrumentos utilizados fueron las fichas técnicas y guías de laboratorio. El diseño de mezcla se realizó según la metodología del ACI. Se elaboraron adoquines de concreto tipo II con residuos de roca caliza como agregado (fino y grueso) con 04 proporciones diferentes del cual resultó la proporción 1 (Cemento: 8.20kg, Agregado grueso: 9.29kg, Agregado fino:12.00kg y Agua:3.09lts) como el óptimo. El procesamiento y análisis de datos se realizó mediante el análisis descriptivo y la contrastación de la hipótesis mediante el análisis inferencial (ANOVA y pruebas post-hoc de TUKEY HSD). Se determinaron las propiedades físicas y mecánicas de los adoquines de concreto tipo II (Resistencia a la Compresión=474.44kg/cm², Absorción=4.02%, Desgaste=0.16% y Resistencia a la Flexión=46.30Kg/cm²). Se concluye la viabilidad técnica y la idoneidad del uso de los residuos de roca caliza como agregado (fino y grueso) para la fabricación de adoquines de concreto Tipo II. El producto resultante cumple con los requisitos mínimos exigidos en la Normativa Técnica Peruana (NTP 399.611), lo que valida su aptitud para el servicio en pavimentos de tránsito vehicular ligero y promueve una solución constructiva sostenible.

Palabra clave: Agregado de residuo de roca caliza, adoquines de concreto, resistencia a compresión, desgaste, absorción y flexión

ABSTRACT

This research, entitled “Proposal for a Concrete Mix Design with Recycled Aggregate and its Application in the Production of Pavers for Light Vehicle Traffic,” aimed to evaluate the mechanical and physical properties of Type II pavers, made with limestone waste as aggregate, for use in light vehicle traffic and in compliance with the parameters established in NTP 399.611. An applied research study was conducted with a quantitative approach, a quasi-experimental design, and an explanatory level. The technique employed was direct observation, and the instruments used were technical data sheets and laboratory guides. The mix design was performed according to the ACI methodology. Type II concrete pavers were produced with limestone waste as aggregate (fine and coarse) in four different proportions, of which proportion 1 (Cement: 8.20 kg, Coarse Aggregate: 9.29 kg, Fine Aggregate: 12.00 kg, and Water: 3.09 liters) proved to be the optimum. Data processing and analysis were performed using descriptive analysis and hypothesis testing through inferential analysis (ANOVA and Tukey HSD post-hoc tests). The physical and mechanical properties of Type II concrete pavers were determined (Compressive Strength = 474.44 kg/cm², Absorption = 4.02%, Wear = 0.16%, and Flexural Strength = 36.30 kg/cm²). The study concludes that the technical feasibility and suitability of using limestone waste as aggregate (fine and coarse) for the manufacture of Type II concrete pavers is proven. The resulting product meets the minimum requirements of the Peruvian Technical Standard (NTP 399.611), validating its suitability for use in light vehicular traffic pavements and promoting a sustainable construction solution.

Keywords: Limestone residue aggregate, concrete pavers, compressive strength, wear, absorption and flexural strength.

I. Introducción

El uso de residuos de roca caliza como agregado en la fabricación de adoquines de concreto surge como una alternativa sostenible, orientada a mitigar el impacto ambiental generado por la sobreexplotación de recursos naturales no renovables. En la actualidad, la industria de la construcción enfrenta el desafío de reducir su huella ecológica, promoviendo soluciones que incorporen materiales reciclados sin comprometer las propiedades mecánicas y físicas de los productos finales.

En este contexto, los agregados reciclados, obtenidos mediante el procesamiento y trituración de residuos de roca caliza procedentes de botaderos informales, se presentan como una opción viable para reemplazar parcial o totalmente los agregados naturales convencionales. Su implementación no solo contribuye a la gestión responsable de desechos, sino que también disminuye la presión sobre los ecosistemas afectados por la extracción de materias primas.

El objetivo principal de esta investigación fue evaluar el desempeño de adoquines de concreto Tipo II elaborados con residuos de roca caliza como agregado, contrastando sus características con los requisitos establecidos en la NTP 339.611.

Los resultados obtenidos de los diferentes ensayos demuestran que este material reciclado cumple con los estándares de durabilidad y calidad exigidos, ofreciendo un potencial significativo para su aplicación en obras de pavimentación sostenible.

Esta propuesta no solo alinea los principios de economía circular en la construcción, sino que también abre nuevas perspectivas para el desarrollo de materiales ecoeficientes sin sacrificar el rendimiento estructural.

A fin de cumplir con los objetivos planteados en la investigación, se va seguir la secuencia de capítulos que a continuación se detallan:

Capítulo I: Se plantea el problema, se define los objetivos, se plantea la hipótesis, se plantea la justificación e importancia y se describe las variables de la investigación.

Capítulo II: Se fundamenta el marco teórico, el marco conceptual y el marco normativo lo que respalda a la investigación para cumplir con los objetivos planteados.

Capítulo III: Se describe la metodología de la investigación, población y muestra, operacionalización de variables, técnica e instrumentos de recolección de datos, procedimiento de recolección de datos.

Capítulo IV: Se describen los principales resultados de los ensayos de laboratorio (compresión, absorción, desgaste y flexión) de los adoquines de concreto con el uso del residuo de roca caliza como agregado.

Capítulo V: Se presentan las conclusiones del uso del residuo de roca caliza como agregado (fino y grueso) para la elaboración del adoquín de concreto tipo II destinados al tránsito vehicular ligero y algunas recomendaciones respecto a los diferentes ensayos realizados en laboratorio.

1.1. Descripción y formulación del problema de investigación

1.1.1. Realidad genérica del problema

El sector de la construcción es uno de los más importantes para el desarrollo económico, es evidente que es uno de los sectores que más genera residuos e impactos ambientales, es por esto que la gestión y disposición de los residuos toma relevancia a nivel mundial “[...]En los países de la Unión Europea como: Dinamarca, Alemania, Holanda, y Reino Unido, se ha reconocido la necesidad de una gestión sostenible de los residuos y del uso de los recursos naturales como materias primas de los materiales de construcción. En consecuencia, se han establecido objetivos para valorar los RCD desde la reutilización, recuperación y reciclado en toda Europa por encima del 70% en el año 2020.” (Suárez Silgado, Betancourt Quiroga, Molina Benavides, & Mahecha Vanegas, 2019).

Con el inicio de la explotación de los recursos, se empezó a notar que estos materiales, sólo eran utilizados una o dos veces para luego, ser desechados, se puede decir que el actual modelo de producción/consumo se compone de cinco principales etapas, desde la extracción de materias primas, su procesamiento, hasta que el producto pasa al consumidor para luego ser convertido en desecho (Páez, 2017, p.30).

En los últimos años, se ha evidenciado que las industrias, tras utilizar ciertos materiales, los consideran inservibles y los desechan. Esta práctica ha llevado a una acumulación progresiva de residuos, ocupando cada vez más espacio en el planeta. Como consecuencia, la contaminación ha aumentado de manera significativa, contribuyendo directamente al cambio climático, un problema global de gran relevancia en la actualidad.

En China, los residuos de construcción y demolición (RCD) constituyen aproximadamente entre el 30% y el 40% de los desechos urbanos totales. Sin embargo, su tasa de reciclaje y

reutilización sigue siendo muy baja, situándose por debajo del 5%. En contraste, algunas naciones industrializadas logran reciclar y reutilizar entre el 70% y el 95% de estos materiales (Beijia Huang, 2017).

En Japón, los desechos de la construcción, como los bloques de hormigón, el asfalto/hormigón y las maderas provenientes de obras, constituyen el 20% del total de residuos industriales. Esta misma proporción se refleja en los volúmenes depositados en vertederos autorizados. Sin embargo, estos materiales representan hasta el 70% de los vertidos ilegales en el país (Ministerio de Medio Ambiente, Gobierno de Japón, 2009).

En los Países Bajos, tanto las autoridades como el sector industrial fomentan activamente el empleo de materias primas secundarias. Este impulso se debe, principalmente, al incremento en los costos de gestión de residuos y a las restricciones en la extracción de recursos naturales dentro del territorio neerlandés. Según Ch.F. Hendriks (2000), la necesidad de materiales primarios para la construcción en el país alcanza aproximadamente 150 millones de toneladas anuales.

En EE. UU. El acelerado desarrollo del sector de la construcción y la urbanización ha generado que, de los desechos anuales de construcción y demolición (CD) a nivel global, cerca del 30% tenga su origen en Estados Unidos. [...] Durante el periodo 2014-2015, este país alcanzó un promedio de reciclaje de residuos CD de alrededor del 70%. Asimismo, en 2017, la cifra más reciente de generación de estos residuos en EE. UU. se situó en 569 millones de toneladas (Muhammad Shahzad Aslam, 2020).

Los residuos pueden categorizarse de diversas maneras, y esta clasificación determinará su manejo final. Entre los criterios utilizados están su composición, el lugar o actividad que los genera, tal como se detalla a continuación:

Tabla 1*Clasificación de residuos de la construcción*

CLASIFICACIÓN	CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
SEGÚN SU NATURALEZA	Residuos inertes	Aquellos que no presentan ningún riesgo de contaminación en general, se asimila a los materiales pétreos. Estos residuos no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas.
	Residuos no peligrosos o no especiales	Son los que por su naturaleza pueden ser tratados o almacenados en las mismas instalaciones que los residuos domésticos. La característica de no peligrosos es la que define sus posibilidades de reciclaje, de hecho, se reciclan en instalaciones industriales juntamente con otros residuos.
	Residuos especiales	Son aquellos formados por materiales que tiene determinadas características perjudiciales para la salud o el medio ambiente
SEGÚN SU FUENTE DE GENERACIÓN Y ORIGEN	Materiales de limpieza de terrenos	Formados por ramas, árboles y capa vegetal en general.
	Materiales de excavación:	Es considerado normalmente como un residuo inerte, natural o artificial. En algunos casos se presenta con contaminantes cuando no corresponde a un suelo virgen.
	Residuos de obras de infraestructura vial	Compuesto por trozos de losas de hormigón en la construcción de caminos, residuos de asfalto y trituraciones del pavimento asfáltico, puentes, renovaciones de materiales.
	Residuos resultantes de construcción nueva, de ampliación o reparación y	Los residuos resultantes de la demolición son los materiales y productos de
	demolición:	construcción que se originan como resultado de las operaciones de desmontaje, desmantelamiento y derribo de edificios y de instalaciones. Se originan gran cantidad de residuos o inertes pétreos.

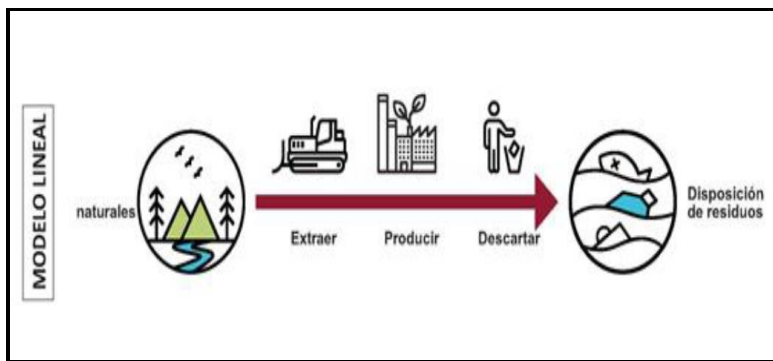
Nota. Extraído de Ramírez (2021, p.21)

Además, se ha observado que solo un pequeño porcentaje de los residuos de construcción y demolición (RCD) son reutilizados o reciclados, lo que provoca que estos materiales ocupen cada vez más espacio y contaminen el medio ambiente.

Considerando esta situación, es evidente que el sector de la construcción funciona bajo un modelo económico lineal (extraer, usar y desechar), lo que hace necesario implementar estrategias que promuevan un mejor aprovechamiento, no solo de los recursos naturales, sino especialmente de los residuos generados por esta industria.

Figura 1

El modelo económico lineal: extraer, usar y desechar



Nota: Extraído Pirraglia (2024, pág. 12)

Esta forma de aprovechar los recursos da paso al concepto de economía circular, entendida como un modelo económico que busca emplear la menor cantidad posible de recursos naturales incluidos el agua y la energía, para atender las necesidades en cada etapa. Este enfoque promueve una selección estratégica de materiales, reduciendo el uso de recursos no renovables y de materias primas críticas, y priorizando la incorporación de materiales reciclados siempre que sea factible. Asimismo, propone una gestión eficiente de los recursos, manteniéndolos dentro del ciclo económico durante el mayor tiempo posible, disminuyendo la generación de residuos, reduciendo los impactos ambientales y contribuyendo a la restauración y regeneración del capital natural. (Fundación Conama, Green Building Council España (GBCe) y RCD Asociación., 2018, P. 11)

En el contexto actual de producción masiva de residuos, es crucial aplicar la economía circular, un sistema que fomenta la sostenibilidad ambiental y estimula la economía nacional. Al

reintroducir materiales que antes se consideraban inútiles, se incrementa su valor económico y se crean empleos adicionales, dado que estos desechos necesitan ser clasificados, procesados y redistribuidos en el mercado.

La transición hacia una economía circular y un uso más eficiente de los recursos no solo genera beneficios económicos, sino también ambientales. No obstante, este proceso aún enfrenta numerosos desafíos. La falta de un marco legal unificado, así como la aplicación desigual de políticas de incentivos en diferentes regiones europeas, obstaculizan la reutilización de desechos y afectan la competitividad industrial, la cual en muchos casos depende en gran medida de los costos asociados a la gestión de residuos (Retuerto, 2015)

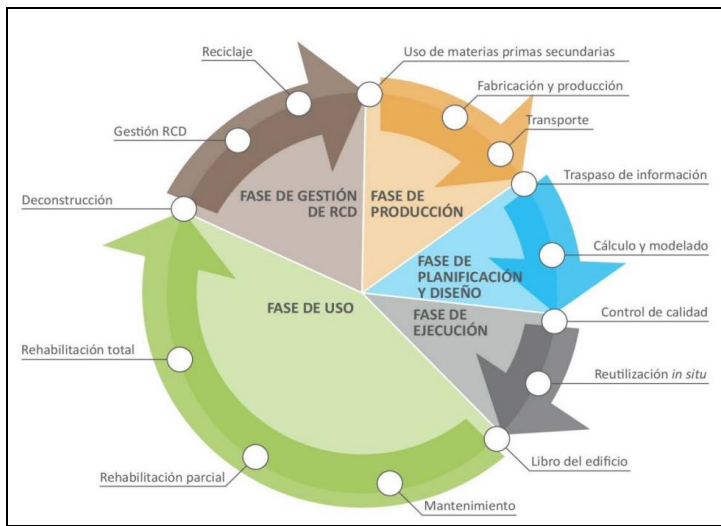
Uno de los principales desafíos en la implementación de modelos de economía circular es el elevado costo asociado a la adaptación de las infraestructuras urbanas. Si bien estas inversiones garantizan un uso más eficiente de los recursos, mejor calidad de vida y beneficios económicos a largo plazo, las limitaciones presupuestarias actuales pueden frenar su ejecución. Ante esto, las alianzas público-privadas emergen como una alternativa viable, aunque requieren una planificación rigurosa para evitar que los errores en su estructuración generen riesgos futuros. Por ello, la capacidad institucional de ambos sectores para gestionar estas inversiones colaborativas se convierte en un factor clave a considerar. (Carretero, 2019)

La economía circular propone sustituir el sistema económico lineal tradicional basado en la extracción de recursos, producción, consumo y posterior descarte por un modelo en el que los materiales y productos permanezcan en circulación el mayor tiempo posible. Esto se logra mediante diseños que priorizan la durabilidad, reutilización, reparación y reciclaje. En este enfoque, los desechos se conciben como recursos valiosos (“nutrientes”) para nuevos ciclos productivos, integrando principios de análisis del ciclo de vida y la filosofía cradle to cradle (de la

cuna a la cuna). Asimismo, este modelo impulsa la adopción de energías renovables como base de su funcionamiento. (Schröder et al., 2020).

Figura 2

Proceso futuro del sector construcción basado en la economía circular



Nota: Extraído Fundación Conama (2024, pág. 11)

La adopción del modelo de economía circular ofrece múltiples ventajas en diversos sectores, como señalan el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y el Ministerio de Turismo, Industria y Comercio (2019). Entre sus beneficios económicos destacan la eficiencia en el uso de recursos (reducción de insumos y residuos) y el aprovechamiento de materiales, agua y energía, lo que permite extraer valor adicional de un mismo recurso en múltiples ciclos. Asimismo, esta estrategia fomenta la creación de mercados innovadores que priorizan criterios ambientales y sociales (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Ministerio de Turismo, Industria y Comercio, 2019, p.25).

La implementación de la economía circular varía según el país, por lo que las metas de reciclaje de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) no son uniformes. Mientras que en Asia y Europa se proyecta alcanzar un aprovechamiento del 100% a corto plazo, en Latinoamérica

la adopción más tardía ha retrasado los avances. Algunos países, como Chile y Brasil, han mostrado un interés reciente por la sostenibilidad, pero al llevar apenas uno o dos años trabajando en ello, aún es prematuro evaluar sus resultados.

La adopción del modelo de economía circular en América Latina presenta un escenario alentador, ya que diversos países están impulsando su implementación desde el ámbito público. Según un estudio del Centro de Innovación y Economía Circular (CIEC), titulado Economía circular y políticas públicas, se han identificado 80 iniciativas públicas relacionadas con este enfoque en la región (Centro de Innovación y Economía Circular CIEC, 2019, pág. 35)

Tabla 2

Iniciativas públicas de economía circular en América Latina.

INICIATIVAS PÚBLICAS DE ECONOMÍA CIRCULAR EN AMÉRICA LATINA			
PAÍS	TOTAL PAÍS	PAÍS	TOTAL PAÍS
Chile	17	Colombia	3
Perú	8	Puerto Rico	3
Ecuador	7	Rep. Dominicana	3
Argentina	6	Bolivia	2
Costa Rica	5	México	2
El Salvador	4	Nicaragua	2
Panamá	4	Cuba	1
Paraguay	4	Guatemala	1
Uruguay	4	Honduras	1
Brasil	3	Venezuela	0

Nota. Extraído Ramírez (2021, pag. 36)

1.1.2. Características de la realidad específica

En el Perú, el sector construcción es una actividad dinámica de gran importancia para el desarrollo de nuestro país, siendo considerada como un verdadero motor que impulsa el progreso y crecimiento de la sociedad. La elevada demanda de los materiales tales como: arena, cemento, piedra, acero y otros insumos para la construcción ejerce una presión considerable sobre los recursos naturales. La extracción continua e intensiva de estos recursos está provocado impacto ambientales significativos, como la alteración de ecosistemas, la pérdida de biodiversidad y el deterioro de la flora y fauna. Frente a esta problemática, surge la necesidad de adoptar enfoques sostenibles en el sector construcción, promoviendo el uso de materiales reciclados y técnicas constructivas responsables que reduzcan el consumo de recursos vírgenes y minimicen los efectos negativos sobre el medio ambiente.

La tecnología ha evolucionado enormemente con el desarrollo activo de la industria de la construcción, por lo que en los últimos años varios investigadores han evaluado el uso del agregado reciclado como insumo para la elaboración del concreto, demostrado ser uno de los materiales disponibles y bajo costo.

El departamento de Ancash en especial, la provincia de Carhuaz cuenta con gran cantidad de recursos naturales no renovables tal como es el caso de la roca caliza. Según el Ingemmet (2017) en la provincia de Carhuaz se encuentran canteras de roca caliza que a la fecha vienen siendo explotadas para la obtención del óxido de calcio (P.173).

Tabla 3*Canteras de roca caliza en la provincia de Carhuaz*

NOMBRE	PROVINCIA	DISTRITO	HOJA	ZONA	NORTE	ESTE
Putaca I	Huaylas	Pamparomas	19-h	18	8991482	178109
Molical S.R.L.	Yungay	Shupluy	19-h	18	8978787	202227
Huacran	Carhuaz	Anta	19-h	18	8967235	213277
Diana-2001	Carhuaz	Carhuaz	19-h	18	8964862	215947
La Inmaculada	Carhuaz	Carhuaz	19-h	18	8964045	216209

Nota. Extraído del Ingemmet (2017)

La roca caliza se obtiene generalmente, por medio de operaciones de minado superficial (perforación y voladura) de donde se obtienen las rocas de diferentes diámetros, los que son llevados de cantera a los puntos de calcinación (horno vertical) para la obtención del óxido de calcio. Para la obtención del óxido de calcio las empresas usan rocas o piedras de diámetro superior a las tres pulgadas (3”) y rocas menores a los diámetros anteriormente mencionados son desechados como desperdicio a botadero y márgenes de río.

Actualmente la producción del óxido de calcio en la provincia de Huaraz y Carhuaz se viene produciendo por el sistema de calcinación, por medio de los hornos verticales. Los diámetros de roca que son utilizados por tal sistema de calcinación son de diámetro superiores a las 3” (tres pulgadas), rocas menores a los diámetros mencionados son desechados como desperdicio. Estos desperdicios vienen siendo llevados a los márgenes del río Santa y botaderos informales, el cual viene afectando al medio ambiente. Estos desperdicios o desmontes vienen generando contaminación ambiental diariamente.

El aprovechamiento de residuos de roca caliza, se presenta como una alternativa eficiente, facilitando la fabricación de adoquines tipo II de muy buena calidad que desempeña un papel

esencial en el desarrollo de las ciudades. Esta estrategia contribuye al establecimiento de una base técnica otorgando el desarrollo de soluciones en el ámbito de la construcción, fomentando el crecimiento económico, así como el bienestar social de las comunidades involucradas.

Es vital importancia para la ecología debido a que se liberan zonas donde se tiene acumulado residuos de roca caliza para recuperar espacios inertes, siendo un aporte valioso a la sociedad y un insumo recuperable de bajo costo para fines constructivos.

Así mismo hacemos mención que las canteras mayormente utilizadas para la extracción de agregado (grueso y fino) se encuentran en el cauce del río Santa e incluso se han instalado chancadoras en los márgenes del río Santa. Cabe mencionar que al no contar con plantas de tratamiento de agua servida entre ellos podemos hacer mención: Huaraz, Jangas, Marcará, Carhuaz entre otros. Estos son directamente vertidos al cauce del río Santa, el cual viene contaminando directamente a las canteras que se encuentran dentro del cauce del río Santa.

Analizando ambos escenarios surge la necesidad de hacer uso como alternativa, el residuo de roca caliza como agregado (fino y grueso) en la elaboración del concreto para la elaboración de adoquines de concreto tipo II.

1.2. Formulación del problema de investigación

1.2.1. Problema general

¿De qué medida el uso de residuo de roca caliza como agregado influye en las propiedades mecánicas y físicas (resistencia a la compresión, absorción, desgaste y resistencia a la flexión) de adoquines de concreto tipo II para el uso del tránsito vehicular ligero en la ciudad de Huaraz?

1.2.2. Problema específico

PE₁: ¿En qué medida el residuo de roca caliza como agregado interviene en la determinación de la resistencia a la compresión del adoquín de concreto tipo II para el uso del tránsito vehicular ligero y cumpla con la NTP 399.611?

PE₂: ¿En qué medida el residuo de roca caliza como agregado interviene en la determinación del porcentaje de absorción del adoquín de concreto tipo II para el uso del tránsito vehicular ligero y cumpla con la NTP 399.611?

PE₃: ¿En qué medida el residuo de roca caliza como agregado interviene en la determinación del porcentaje de desgaste del adoquín de concreto tipo II para el uso del tránsito vehicular ligero y cumpla con la NTP 399.611?

PE₄: ¿En qué medida el residuo de roca caliza como agregado interviene en la determinación de la resistencia a la flexión del adoquín de concreto tipo II para el uso del tránsito vehicular ligero y cumpla con la NTP 399.611?

1.3. Objetivo de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la influencia del uso de residuo de roca caliza como agregado (fino y grueso) en las propiedades mecánicas y físicas (resistencia a la compresión, absorción, desgaste y resistencia a la flexión) de los adoquines de concreto tipo II para el uso en tránsito vehicular ligero en la ciudad de Huaraz.

1.3.2. Objetivo específico

OE₁: Determinar la resistencia a la compresión de los adoquines de concreto tipo II elaborados con los residuos de roca caliza como agregado (fino y grueso) para el uso

del tránsito vehicular ligero y cumpla con los parámetros establecido en la NTP 399.611.

OE₂: Determinar el porcentaje de absorción de los adoquines de concreto tipo II elaborados con los residuos de roca caliza como agregado (fino y grueso) para el uso del tránsito vehicular ligero y cumpla con los parámetros establecido en la NTP 399.611.

OE₃: Determinar el porcentaje de desgaste de los adoquines de concreto tipo II elaborados con los residuos de roca caliza como agregado (fino y grueso) para el uso del tránsito vehicular ligero y cumpla con los parámetros establecido en la NTP 399.611.

OE₄: Determinar la resistencia a la flexión de los adoquines de concreto tipo II elaborados con los residuos de roca caliza como agregado (fino y grueso) para el uso del tránsito vehicular ligero y cumpla con los parámetros establecido en la NTP 399.611.

1.4. Hipótesis de la investigación

Córdova (2012) lo define como: “proposición que anticipa una posible solución a un determinado problema en estudio” (P.57)

1.4.1. Hipótesis general

El uso de residuo de roca caliza como agregado (fino y grueso) en la elaboración de adoquines de concreto tipo II permite alcanzar valores de resistencia a la compresión, absorción, desgaste y resistencia a la flexión dentro de los límites establecidos por la NTP 399.611 para su aplicación en tránsito vehicular ligero en la ciudad de Huaraz.

1.4.2. Hipótesis específica

HE₁: Los adoquines de concreto tipo II elaborados con residuo de roca caliza como agregado (fino y grueso) alcanzan valores de resistencia a la compresión dentro de los límites establecidos por la NTP 399.611 para tránsito vehicular ligero.

HE₂: Los adoquines de concreto tipo II elaborados con residuo de roca caliza como agregado (fino y grueso) presentan valores de absorción dentro de los límites establecidos por la NTP 399.611.

HE₃: Los adoquines de concreto tipo II elaborados con residuo de roca caliza como agregado (fino y grueso) cumplen con los requisitos de resistencia al desgaste establecidos por la NTP 399.611.

HE₄: Los adoquines de concreto tipo II elaborados con residuo de roca caliza como agregado (fino y grueso) alcanzan valores de resistencia a la flexión dentro de los límites establecidos por la NTP 399.611.

1.5. Justificación e importancia

El empleo de residuos de roca caliza en la fabricación de adoquines de concreto tipo II adquiere relevancia en múltiples dimensiones: ambiental, técnica, económica y social, alineándose con los principios de la economía circular y el desarrollo sostenible.

Ambientalmente, su reutilización mitiga el impacto negativo de los desechos generados por actividades extractivas e industriales. La acumulación inadecuada de estos residuos contamina suelos, degrada paisajes y afecta ecosistemas. Al incorporarlos como agregados en el concreto, se reduce la extracción de recursos naturales no renovables, disminuyendo así la huella ecológica de la industria de la construcción.

Técnicamente, los residuos de roca caliza ofrecen propiedades físicas y mecánicas adecuadas para la producción de adoquines tipo II, siempre que cumplan con los estándares de la NTP 399.611. Evaluar su resistencia a la compresión y absorción de agua permite confirmar su idoneidad para tránsito vehicular ligero, asegurando un desempeño estructural óptimo.

Económicamente, su uso puede abaratar costos de producción al reemplazar agregados convencionales, además de optimizar el aprovechamiento de subproductos locales. Esto reduce gastos en transporte y disposición final de residuos, beneficiando tanto a empresas como a gobiernos municipales.

Socialmente, esta iniciativa promueve prácticas constructivas sostenibles, impulsa la innovación en el sector y puede crear empleos vinculados al procesamiento de residuos. Así, los adoquines fabricados con roca caliza reciclada emergen como una solución técnicamente viable y ambientalmente responsable, en sintonía con las políticas globales de sostenibilidad y gestión eficiente de recursos.

1.6. Delimitaciones

1.6.1. Delimitación del estudio

Las actividades propias de la investigación, se desarrollaron en las diferentes localidades, tal como se detalla en la tabla 4:

Tabla 4

Resumen de ubicación donde se desarrolló la investigación

Distrito	Provincia	Departamento
Marcara	Carhuaz	Ancash
Catac	Catac	Ancash
Jangas	Huaraz	Ancash
Independencia	Huaraz	Ancash

Nota. Se describe los lugares donde se desarrolla la investigación desde el acopio del residuo de roca caliza y ensayo de laboratorio.

1.6.2. Delimitación temporal

El proceso de la investigación, se llevó a cabo del mes de octubre del 2022 al 31 de julio del 2025.

1.7. Variables de la investigación

Córdova (2012) sostiene que: “son características, propiedades o cualidad de un fenómeno que tiende y que es susceptible de ser medido y evaluado” (P.57).

1.7.1. Variable independiente

Uso de residuo de roca caliza como agregado (fino y grueso).

1.7.2. Variable dependiente

Propiedades físicas y mecánicas de los adoquines de concreto tipo II.

II. Marco teórico

2.1. Antecedentes

Córdova (2012) dijo: “Se refiere a otros estudios realizadas con anterioridad por otros autores sobre las variables consideradas en nuestro estudio y que se encuentran plasmadas en tesis, monografía, revistas especializadas, etc.” (P.49).

2.1.1. Antecedentes internacionales

Auliya, N. H., Caronge, M. A., & Tjaronge, M. W. (2025) publicaron el artículo científico titulado “Compressive strength and sustainability indicators of concrete manufactured with recycled refractory brick furnace waste” (Resistencia a la compresión e indicadores de sostenibilidad del concreto fabricado con residuos reciclados de ladrillos refractarios de horno). El uso de agregados reciclados provenientes de estructuras demolidas ofrece una alternativa prometedora y sostenible a los agregados naturales en la producción de concreto, en concordancia con los esfuerzos globales para conservar los recursos y proteger el medio ambiente. Este estudio investiga las ventajas ambientales y estructurales de incorporar residuos de ladrillo refractario de horno (RBF), obtenidos de estructuras de paredes de hornos desmontadas, como sustituto parcial del agregado grueso (CA) en el concreto. Al sustituir el 15 %, 30 % y 50 % del agregado grueso en peso por RBF, la investigación evalúa el desempeño y la sostenibilidad de las mezclas de concretos resultantes. Los resultados revelan que reemplazar hasta el 30 % del agregado grueso con RBF mejora la sostenibilidad ambiental y la viabilidad del concreto en la construcción. A este nivel de sustitución, el concreto mostró una ligera disminución en algunas propiedades en comparación con el concreto de peso normal (NWC). Específicamente, la densidad disminuyó en un 2 %, la resistencia a la compresión en un 13 % y la eficiencia estructural en un 7 %. A pesar de estas reducciones, el concreto con 30 % de RBF mantuvo un desempeño suficiente para cumplir con los requisitos esenciales de construcción. Cabe destacar que el potencial de calentamiento global (GWP) del concreto con 30 % de RBF fue solo un 1 % menor que el del NWC, lo que indica un impacto mínimo en las emisiones de carbono. Además, el

índice de sostenibilidad (SI) del concreto con 30 % de RBF fue un 10 % menor que el del NWC, reflejando un perfil ambiental mejorado sin dejar de satisfacer las demandas estructurales.

Estos resultados resaltan el potencial de los residuos de RBF como un sustituto viable de los agregados naturales, ofreciendo un doble beneficio: reducir el agotamiento de los recursos naturales finitos y minimizar la disposición de residuos en vertederos.

Attri, G. K., Gupta, R. C., & Shrivastava, S. (2021) publicaron el artículo científico titulado “Impact of recycled concrete aggregate on mechanical and durability properties of concrete paver blocks” (Impacto del agregado de concreto reciclado en las propiedades mecánicas y de durabilidad de los adoquines de concreto). La industria de la construcción en India enfrenta una escasez de agregados naturales debido a su limitada disponibilidad y a la prohibición de la extracción de materias primas. En este estudio, el agregado grueso natural (NCA) y la arena de río (RS) en adoquines convencionales fueron reemplazados por agregados de concreto reciclado (RCA). Se investigaron las propiedades mecánicas y de durabilidad, es decir, la densidad, la resistencia a la compresión, la absorción de agua, la resistencia a la abrasión y la velocidad de pulso ultrasónico de los adoquines.

Contreras Llanes, M., Romero Pérez, M., Gázquez González, M.J. et al. (2022) publicaron el artículo científico titulado “Construction and demolition waste as recycled aggregate for environmentally friendly concrete paving” (Residuos de construcción y demolición como agregado reciclado para pavimento de concreto ecológico.). Los agregados reciclados (RA), provenientes de residuos de construcción y demolición (RCD), en lugar de agregados naturales (AN), fueron analizados en la fabricación de nuevo concreto ecológico. Se utilizaron agregados reciclados finos (FRA) y gruesos (CRA) en diferentes porcentajes como sustitutos de la arena y la grava naturales, respectivamente.

Los resultados revelaron que el uso de RA en porcentajes de hasta 50 % en peso es viable. Además, los RA se emplearon para producir adoquines de acuerdo con los requisitos industriales. Así, se obtuvieron valores de absorción de agua menores al 6.0 % y resistencias a la tracción superiores a 3.6 MPa, los cuales son similares a los de una muestra de referencia y se encuentran dentro de los límites establecidos por las normativas.

Estos resultados se lograron reduciendo la incorporación de cemento, lo que permitió disminuir los costos de producción y minimizar el impacto ambiental. Se encontró que el agregado reciclado grueso puede reemplazar hasta el 45 % del agregado grueso natural (NCA), y el agregado reciclado fino puede sustituir hasta el 40 % de la arena de río (RS) sin tener un impacto significativo en las propiedades de los adoquines.

Jamshidi, A. (2024) publicaron el artículo científico titulado “A laboratory study on the durability of limestone wastes in harsh environments for their suitability as aggregate in concrete” (Estudio de laboratorio sobre la durabilidad de residuos de piedra caliza en ambientes severos para su idoneidad como agregado en el concreto). Uno de los problemas ambientales críticos en el área de Chegeni (provincia de Lorestan, en el oeste de Irán) es la producción de un gran volumen de residuos de roca caliza durante las operaciones de explotación en canteras. La disposición de estos residuos en las zonas cercanas a las canteras ha causado un deterioro visual del entorno, así como efectos adversos en la calidad del suelo, el agua superficial y el agua subterránea utilizadas con fines agrícolas y de consumo humano. Una posible solución a este problema es el reciclaje de los residuos de roca caliza para la producción de materiales de construcción. En el presente estudio, se planteó un programa integral de laboratorio para evaluar la durabilidad de estos residuos bajo condiciones ambientales severas, con el fin de determinar su idoneidad como agregado en el concreto. Para ello, se realizaron cinco ensayos de envejecimiento: ciclos de congelamiento-deshielo (F-T), cristalización de sales (SC), ataque ácido (AA), humedecimiento-secado (WD) y calentamiento-enfriamiento (HC), aplicados a muestras de roca caliza hasta completar 60 ciclos. Cada 10 ciclos se determinaron las características físico-mecánicas de las muestras, incluyendo la porosidad (n), la resistencia a la tracción indirecta o brasileña (BTS), el índice de carga puntual (PLI) y la velocidad de onda P (V_p). Además, se analizó la modificación de la estructura de poros de las muestras sometidas a los ensayos de envejecimiento mediante microscopía electrónica de barrido (SEM). Los análisis de datos revelaron que las muestras son altamente vulnerables a los procesos de ataque ácido (AA) y cristalización de sales (SC), pero presentan buena durabilidad frente a los ciclos de congelamiento-deshielo (F-T), humedecimiento-secado (WD) y calentamiento-enfriamiento (HC). Estos resultados coinciden con los

datos obtenidos mediante SEM, mostrando que las muestras expuestas a AA y SC experimentaron mayores cambios en su estructura de poros en comparación con las sometidas a F-T, WD y HC. Entre las características físico-mecánicas evaluadas, la velocidad de onda P (V_p) presentó la mayor precisión, mientras que el índice de carga puntual (PLI) mostró la menor precisión en la evaluación de la durabilidad de las muestras sometidas a envejecimiento. Con base en el análisis de datos, los residuos de roca caliza pueden utilizarse como agregado en el concreto en ambientes donde existan condiciones de congelamiento-deshielo (F-T), humedecimiento-secado (WD) y calentamiento-enfriamiento (HC). Sin embargo, este tipo de concreto no es adecuado para condiciones donde se presenten procesos de ataque ácido (AA) y cristalización de sales (SC).

Finalmente, además de reducir los impactos ambientales negativos en el área de estudio, el uso de residuos de roca caliza como agregado en la producción de concreto representa una solución viable para el desarrollo sostenible desde un punto de vista económico. Los resultados del presente estudio pueden ser utilizados para evaluar residuos de roca caliza generados en otras regiones de Irán y del mundo.

Kencanawati et al. (2024) publicaron el artículo científico titulado “A comprehensive assessment of concrete with recycled coarse aggregate treated by a combination of heating, grinding, and acid-soaking process” (Una evaluación integral del concreto con agregado grueso reciclado tratado mediante una combinación de calentamiento, trituración y remojo en ácido). Investigación realizada en Indonesia, su objetivo fue obtener el agregado reciclado producido mediante una combinación de procesos térmicos, mecánicos y químicos. Evaluándose las propiedades físicas del agregado reciclado, las propiedades mecánicas y microestructurales del concreto y el costo de producción del concreto elaborado a partir de estos agregados reciclados. Adicionalmente este análisis se contrasta con hormigón elaborado a partir de áridos naturales.

Mohtasham Moein, M., Saradar, A., Zekriyapanah Gashti, M., Mohtasham Moein, A., Akhavan Tabassi, A., & Rigby, S. E. (2026) publicaron el artículo científico titulado “Transforming waste into strength: Analyzing concrete performance with recycled brick aggregates through fuzzy logic and Weibull distribution under varied curing conditions” (Transformando residuos en resistencia: análisis del

desempeño del concreto con agregados de ladrillo reciclado mediante lógica difusa y distribución de Weibull bajo condiciones de curado variables). La industria de la construcción enfrenta crecientes desafíos ambientales y de sostenibilidad, incluyendo el agotamiento de los recursos naturales y la gestión de los residuos de construcción y demolición. El reciclaje de residuos de ladrillo como agregado en el concreto ofrece una solución prometedora a estos desafíos, al tiempo que puede reducir la huella ambiental de la producción de concreto. Este estudio investiga el desempeño del concreto que incorpora agregados reciclados de ladrillo (RBA), mejorado con fibras de polipropileno y de carbono, bajo condiciones de curado tanto húmedas como secas. El RBA se sustituyó en proporciones que varían del 0% al 100%, mientras que el refuerzo con fibras se añadió en dosificaciones de 0.3% y 0.5%. El programa experimental evaluó las propiedades mecánicas mediante ensayos de carga estática (resistencia a la compresión, tracción y flexión) y resistencia al impacto a los 7 y 28 días. Se desarrolló un modelo de lógica difusa para predecir la resistencia a la compresión, y los datos de resistencia al impacto se analizaron utilizando la distribución de Weibull. La sustitución del 25% de los agregados naturales por RBA en mezclas de concreto, cuando se curaron en condiciones húmedas, resultó en una disminución de las resistencias a la compresión, tracción y flexión de 4.84%, 6.91% y 5.85%, respectivamente. Con una sustitución del 100% de RBA, las tasas de reducción alcanzaron 43.12%, 39.65% y 40.03%, respectivamente. La incorporación de fibras en las mezclas de concreto con RBA mitigó eficazmente los efectos negativos del RBA, mostrando las fibras de carbono un desempeño superior en comparación con las fibras de polipropileno. Específicamente, el refuerzo de mezclas que contienen 25% de RBA con 0.5% de fibras de carbono produjo mejoras en las resistencias a la compresión, tracción y flexión de 3.53%, 5.33% y 4.28%, respectivamente. Además, la incorporación de fibras de carbono incrementó significativamente tanto la resistencia a la primera fisura como la resistencia a la falla de la mezcla con 25% de RBA, registrando aumentos de 11.43% y 14.29%, respectivamente. En contraste, la misma mezcla de RBA sin refuerzo de fibras presentó reducciones en la resistencia a la primera fisura y a la falla de 8.58% y 7.15%, respectivamente. El modelo de lógica difusa demostró alta precisión en la predicción de la resistencia a la compresión ($R^2 = 0.9763$), mientras que la distribución de Weibull caracterizó eficazmente el comportamiento al impacto ($R^2 > 0.88$). Estos resultados

proporcionan información valiosa para la incorporación de RBA en aplicaciones de concreto, especialmente cuando se mejora con refuerzo de fibras, contribuyendo a prácticas de construcción más sostenibles.

Pizoň, J., Matýsková, K., Hornáková, M., Gołaszewska, M., & Kratošová, G. (2025) publicaron el artículo científico titulado “Recycled concrete paving block waste as a selected sustainable substitute for natural aggregate in cement composites” (Residuos de adoquines de concreto reciclado como sustituto sostenible seleccionado del agregado natural en compuestos de cemento). Este estudio examina el impacto de sustituir los agregados naturales por agregados provenientes de adoquines de concreto (CPB) clasificados de segunda calidad en morteros y concretos. Los niveles de sustitución variaron desde 0 % hasta 100 % para agregados finos en morteros y 50 % para agregados finos y/o gruesos en concretos. La investigación analizó las propiedades del material de desecho, incluyendo la distribución granulométrica, la porosidad, la absorción de agua y la densidad. Para los morteros y concretos, los parámetros evaluados abarcaron la trabajabilidad, la consistencia, la densidad, la resistencia a la compresión, la resistividad eléctrica y la microestructura. Los resultados indican que los morteros que incorporan agregados de CPB requieren mayores dosificaciones de superplastificantes para alcanzar la trabajabilidad deseada. Este requerimiento se atribuye al mayor contenido de cemento por unidad de volumen y al tamaño más fino de las partículas de los agregados reciclados. La resistencia a la compresión temprana de los morteros alcanza su valor máximo con un 50 % de contenido de agregado reciclado debido a una reducción en la relación agua/cemento efectivo, mientras que una sustitución del 100 % del agregado fino provoca una disminución significativa en la resistencia a la compresión. Los concretos con agregados reciclados presentan una resistencia a la compresión temprana comparable o superior en relación con el concreto de referencia; sin embargo, después de 28 días, todos los concretos con agregados reciclados muestran menor resistencia. Las resistencias a la compresión a los 28 días son de 65.9 MPa, 64.8 MPa y 62.3 MPa para un reemplazo del 50 % por agregados finos, gruesos y una combinación de ambos, respectivamente. Estos resultados superan los obtenidos en estudios similares.

Las evaluaciones de durabilidad sugieren que las mezclas de concreto con CPB presentan tendencias comparables al concreto de referencia, indicando una resistencia moderada a la penetración de

cloruros. En general, los resultados sugieren que el uso de agregados de CPB clasificados constituye una alternativa viable para sustituir agregados naturales en morteros y concretos.

Safiee, N.A., Hassan, A.H., Nasir, N.A.M. et al. (2025) publicaron el artículo científico titulado “Sustainable paving blocks incorporated with hybrid-treated recycled concrete aggregate” (Bloques de pavimentación sostenibles incorporados con agregado de concreto reciclado tratado de forma híbrida). Los residuos de construcción y demolición saturan los vertederos, lo que impulsa la necesidad de soluciones sostenibles como el reciclaje del concreto. Este estudio investiga el uso de agregados de concreto reciclado (RCA) como sustitutos de los agregados naturales en adoquines de concreto, enmarcándose en un enfoque de economía circular. Se analizan diversos niveles de reemplazo de RCA (0 %, 20 %, 30 %, 40 % y 50 % para agregados gruesos, y un 40 % constante para agregados finos) en relación con las propiedades mecánicas (resistencia a la compresión, tracción por división y flexión) y la durabilidad (absorción de agua y resistencia al deslizamiento), con el fin de cumplir los requisitos de los adoquines. El tratamiento híbrido del RCA combina enfoques químicos y mecánicos mediante la inmersión en ácido clorhídrico al 1 % y un proceso de mezclado en dos etapas, mostrando efectividad en la mejora de sus propiedades. El agregado grueso reciclado tratado (TRCA) presentó propiedades mejoradas, con una reducción de la tasa de absorción en 0.67 % y un incremento de la gravedad específica en 6 % en comparación con el RCA sin tratar. Las mezclas de concreto con 40 % de TRCA y agregado fino reciclado (RCFA) cumplieron con las normas BS EN 1338 (2003) e IS 15658:2006, alcanzando una resistencia a la compresión de 51.07 MPa, que satisface el requisito mínimo para aplicaciones de adoquines. El estudio sugiere que el RCA es una alternativa viable para la fabricación de adoquines ecológicos.

Setiawan, A., Rahmawati, R., & Adnan, A. (2024) publicaron el artículo “The Effect Of Using Concrete Waste As (Fine Aggregate) On The Test Of Paving Block Compressive Strength” (El efecto del uso de residuos de concreto como agregado fino en el ensayo de resistencia a la compresión de adoquines). En Indonesia, el uso de los residuos de construcción generalmente no se aprovecha adecuadamente; en su mayoría, estos son simplemente depositados en campos abiertos, y algunos se utilizan como material de relleno. La disponibilidad de estos materiales es abundante. El propósito de esta investigación es determinar

el valor de la resistencia a la compresión de los adoquines que utilizan residuos de concreto con variaciones en su contenido, a saber: 0%, 10%, 20% y 30%, así como el valor de la absorción de agua en adoquines que incorporan residuos de concreto con las mismas variaciones: 0%, 10%, 20% y 30%.

Los resultados de los ensayos mostraron que, a los 28 días de curado, la resistencia a la compresión de los adoquines convencionales fue de 16.15 MPa; con un 10% de sustitución de residuos de concreto por polvo de piedra fue de 29.17 MPa; con un 20% de sustitución fue de 39.32 MPa; y con un 30% de sustitución fue de 22.66 MPa. A partir de los resultados del ensayo de absorción, se encontró que el valor de absorción de los adoquines convencionales fue de 3.88%; con un 10% de sustitución de residuos de concreto fue de 2.30%; con un 20% de sustitución fue de 1.89%; y con un 30% de sustitución fue de 2.80%.

Soares, V. A., Effting, C., Leite, L. R., & Schackow, A. (2025) publicaron el artículo científico titulado “Life Cycle Assessment (LCA) of Paving Blocks. Buildings” (Evaluación del ciclo de vida (ACV) de los adoquines). La industria de la construcción desempeña un papel crucial en el desarrollo socioeconómico, pero también es uno de los sectores con mayor impacto ambiental debido a la intensa extracción de recursos, la alta demanda energética y las emisiones de gases de efecto invernadero. El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta estratégica para cuantificar y comparar los impactos ambientales asociados a productos y procesos a lo largo de sus diferentes etapas. Este estudio analiza la aplicación del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) en adoquines mediante una revisión sistemática de la literatura, enfocándose en los indicadores ambientales y las composiciones comunes de los bloques.

Los resultados muestran que el uso de residuos industriales como sustitutos de materiales convencionales mejora la sostenibilidad en la producción de adoquines. Se observó una tendencia creciente de estudios que abordan la sustitución parcial de cemento y agregados, reflejando prácticas de economía circular en la construcción. El Potencial de Calentamiento Global y la Demanda Energética Acumulada fueron los indicadores de impacto más reportados. Estos hallazgos destacan que la incorporación de materiales reciclados es un enfoque eficaz para mitigar los impactos ambientales en el sector de la construcción.

Wang, X., Chin, C. S., & Xia, J. (2023) publicaron el artículo científico titulado “Study on the properties variation of recycled concrete paving block containing multiple waste materials” (Estudio sobre la variación de las propiedades de adoquines de concreto reciclado que contienen múltiples materiales de desecho). Los materiales de desecho se utilizan ampliamente en productos de concreto; sin embargo, la variación de las propiedades de los productos de concreto que contienen múltiples materiales reciclados no ha sido suficientemente estudiada. Esta investigación tiene como objetivo analizar exhaustivamente las propiedades de los adoquines de concreto, incluyendo la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción por división, la absorción de agua, la resistencia al deslizamiento y la resistencia a la abrasión, mediante la sustitución de los agregados naturales por agregado grueso de concreto reciclado (RCCA), vidrio triturado (CG), agregado fino de concreto reciclado (RCFA) y escoria granulada de alto horno molida (GGBS). Se adoptaron diseños experimentales ortogonales y se realizaron análisis de microestructura para revelar los mecanismos subyacentes. Los resultados demuestran que el RCCA deterioró significativamente la resistencia a la tracción por división, la absorción de agua y la resistencia a la abrasión de los bloques que contienen múltiples materiales reciclados, mientras que el CG casi no afectó las propiedades evaluadas. El RCFA tuvo un efecto adverso en las cinco propiedades de los bloques y se comprobó que presenta un impacto altamente negativo en la resistencia a la tracción por división y la absorción de agua. En un nivel óptimo de sustitución, el GGBS fue capaz de mejorar la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción por división y la absorción de agua. Además, no solo se investigaron los niveles límite de sustitución de los materiales de desecho en el bloque específico, sino que también se evaluaron y verificaron exitosamente dos niveles óptimos de reemplazo para los bloques de concreto que contenían múltiples materiales de desecho:

1. 20 % de RCCA, 0 % de RCFA y 30 % de GGBS;
2. 20 % de CG, 0 % de RCFA y 30 % de GGBS.

Finalmente, en esta investigación se derivó por primera vez una serie de ecuaciones de índices, las cuales pueden utilizarse como métodos eficaces para predecir las propiedades de los bloques de concreto que contienen múltiples materiales de desecho en estudios futuros.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Alva et al.(2023) publicaron el artículo científico titulado “Compressive Strength of Concrete $f'_c=210$ kg/cm² with Coarse Aggregate Substitution at 20%, 25%, and 30% Using Recycled Concrete, Cajamarca 2023” (Resistencia a Compresión del Concreto $f'_c=210$ kg/cm² con Sustitución del Agregado Grueso por Concreto Reciclado al 20%, 25% y 30%, Cajamarca 2023), su objetivo fue evaluar la resistencia a compresión del concreto con resistencia de diseño $f'_c=210$ kg/cm², sustituyendo el agregado grueso natural por agregado grueso de concreto reciclado (AGCR) en proporciones del 20%, 25% y 30%. Se determinaron las propiedades físicas y mecánicas de los agregados reciclados y naturales, y se diseñaron mezclas de concreto utilizando el método del ACI. La investigación experimental comparó un grupo control (probetas base) con tres grupos experimentales con AGR. Un total de 96 especímenes cilíndricos que fueron evaluados en resistencia a la compresión a los 7, 14, 21 y 28 días. Los resultados mostraron una mejora promedio del 16.63% en la resistencia a compresión en todos los niveles de sustitución, logrando una media de $f'_{cr}=340.58$ kg/cm², superando la resistencia de diseño objetivo. Estos hallazgos confirman la idoneidad del AGCR para su uso en aplicaciones de concreto estructural, reduciendo los desechos de construcción y promoviendo la sostenibilidad en proyectos de ingeniería civil.

Santos et al. (2025) publicaron el artículo científico titulado “Evaluation of the physical and mechanical behavior of concrete $f'_c = 28$ MPa with partial replacement of coarse recycled aggregate in paving stones, Trujillo” (Evaluación del comportamiento físico mecánico del concreto $f'_c=28$ MPa con sustitución parcial de agregado reciclado grueso en adoquines, Trujillo), tuvo como objetivo fue evaluar el impacto de sustituir parcialmente el agregado grueso natural (AGN) por agregado reciclado grueso (ARG) en porcentajes de 10%, 30%, 40% y 50%. El estudio tuvo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado experimental, y utilizó un diseño de investigación

experimental. La muestra consistió en 120 adoquines de concreto 28MPa sometidos a ensayos de compresión, flexión, abrasión, absorción y variación dimensional. Los resultados del adoquín de concreto con 10% de ARG, alcanzó una resistencia a compresión superior a la muestra patrón. Al incrementar el ARG a 30, 40 y 50%, las propiedades mecánicas disminuyeron su resistencia. Así mismo las características físicas varían proporcionalmente al reemplazo del ARG. El uso del ARG resulta una alternativa viable, en la elaboración de adoquines para pavimento peatonal, que cumplen con NTP 399.611 y contribuyen a la reducción del del impacto ambiental.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Economía circular

La Economía Circular representa un enfoque empresarial sustentable que prioriza el reciclaje, la reutilización y la minimización del uso de recursos naturales. Este modelo surge como respuesta al impacto ambiental generado desde la Revolución Industrial, donde la producción masiva de bienes ha fomentado un consumo excesivo, acumulando desechos que contaminan el medio ambiente debido a la falta de procesos adecuados de gestión posterior (Arroyo Morocho, 2018, p. 1).

El término de economía circular fue utilizado por primera vez en el estudio de Pearce y Turner (1990) en el que destacan la relación entre la economía y el medio ambiente, basado en el principio “everything is an input to everything else” (todo es un input para todo lo demás). A diferencia del concepto tradicional de sostenibilidad que trata de reducir o eliminar los efectos negativos sobre el medio ambiente como consecuencia de la actividad humana, se pretende a través de un sistema de circuito cerrado, lograr un impacto positivo sobre el medioambiente, incrementando el valor, la productividad y la calidad de los recursos materiales. (Rodríguez Martín, 2020).

2.2.2. Agregado reciclado de roca caliza

Caliza

Según Polo (2016), lo define la caliza como una roca sedimentaria compuesta principalmente por carbonato de calcio (Ca_2CO_3), generalmente calcita. Se formaron por la acumulación de restos orgánicos (como conchas y esqueletos de organismos marinos) o por precipitación química del carbonato en ambientes acuáticos (pag.102)

Figura 3

Roca caliza en su estado natural



Nota. Extraído Ribera (2011, pag.171)

Agregado

La NTP 400.011 lo define como: “Conjunto de partículas de origen natural o artificial, que pueden ser tratados o elaborados, y cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados por esta NTP. Se les llama también áridos” (INACAL,2020, p.2).

Según Rivva (2023), lo define como conjunto de partículas inorgánicas de origen natural o artificial cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados NTP 400.037. (pag.22).

Agregado grueso

Según Rivva (2023), lo define como agregado grueso al material retenido en el tamiz NTP 4.75 mm (N°4) y cumple los límites establecidos en la norma NTP 400.037. (pag.27).

Agregado fino

Según Rivva (2023), lo define como agregado fino a aquel, proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, que pasa el tamiz NTP 9.5mm (3/8”) y que cumple los límites establecidos en la norma NTP 400.037. (pag.24)

Análisis granulométrico

De acuerdo con la norma técnica peruana el análisis granulométrico viene a ser una muestra de agregado seco, de masa conocida, que es separada a través de una serie de tamices que van progresivamente de una abertura mayor a una menor, para determinar la distribución del tamaño de las partículas.

Granulometría del agregado fino

El agregado fino consiste en arena natural, arena manufacturada o una combinación de ellas, que pasa el tamiz normalizado 9,5 mm (3/8 pulg) y queda retenido en el tamiz normalizado 74 μm (N° 200).

Granulometría del agregado grueso

“El agregado grueso consistirá en grava, piedra chancada, concreto reciclado, o la combinación de ellos” (NTP 400.037,2018, p.12). Este deberá ser retenido en el tamiz 4,75 mm (N° 4).

Módulo de fineza

Es un parámetro que permite estimar de manera aproximada el tamaño medio de las partículas del agregado. Valores bajos del índice indican una mayor proporción de partículas finas, mientras que valores altos reflejan la predominancia de partículas gruesas. Si bien este parámetro no describe la distribución granulométrica en detalle, constituye una herramienta útil para el control de la uniformidad del agregado, en concordancia con los límites establecidos por las normas granulométricas vigentes.

Generalmente se aplica para las arenas. Se recomienda para las arenas un módulo de fineza entre 2.3 y 3.1.

La determinación del módulo de fineza de un agregado se obtiene sumando los porcentajes acumulados retenidos en las mallas estándar y son: 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N° 04, N° 08, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100; dividido entre 100.

Agregado reciclado

Son agregados que se obtienen a partir de la limpieza, selección y trituración de los residuos de roca caliza y que se usa como materia prima para la elaboración del concreto, para su uso deberán ser verificado de acuerdo NTP 400.075. Son utilizados para reemplazar parcial o totalmente, los agregados naturales en la elaboración de concreto u otro material.

Figura 4

Agregado reciclado después del proceso de chancado



Nota. El proceso mecánico de chancado permite reducir el tamaño de las rocas extraídas, obteniendo un material granular apto para su reutilización. En la imagen de la izquierda se aprecia la manipulación del material durante la etapa de procesamiento, mientras que en la imagen de la derecha se observa el agregado reciclado resultante.

2.2.3. Diseño de mezcla

El método de diseño de mezclas de concreto estipulado por el Instituto Americano del Concreto en su guía ACI 211.1 se caracteriza por su enfoque lógico y secuencial. Este procedimiento técnico integra variables clave de diseño, tales como la relación agua-cemento, la resistencia mecánica, el asentamiento, el tamaño máximo del agregado, los contenidos de cemento y aire, así como las propiedades específicas de los aglomerantes, aditivos y agregados. El siguiente apartado expone de manera detallada la secuencia de pasos propuesta por esta normativa reconocida internacionalmente:

Paso 1. Selección de slump

Cuando las especificaciones de un proyecto no definen el asentamiento requerido para el diseño de la mezcla de concreto, es posible determinar un valor apropiado consultando la Tabla 3 de la guía ACI 211.1. Esta tabla proporciona los rangos de asentamiento recomendados según el tipo de elemento estructural y el método de colocación previsto.

Tabla 5

Slumps recomendados

Types of construction	Slump, in.	
	Maximum+	Minimum
Reinforced foundation walls and footings	3	1
Plain footings, caissons, and substructure walls	3	1
Beams and reinforced walls	4	1
Building columns	4	1
Pavements and slabs	3	1
Mass concrete	2	1

*Slump may be increased when chemical admixtures are used, provided that the admixture-treated concrete has the same or lower water-cement or water-cementitious material ratio and does not exhibit segregation potential or excessive bleeding.

*May be increased 1 in. for methods of consolidation other than vibration.

Nota. Fuente comité del ACI 211.1-91

Paso 2. Selección del tamaño máximo del agregado

Los agregados con un tamaño máximo nominal grande y una adecuada gradación presentan una menor proporción de vacíos en su estructura. Esta característica reduce directamente la demanda de pasta de cemento requerida para recubrir las partículas y llenar los espacios entre ellas por unidad de volumen de concreto. El valor resultante de este cálculo es un parámetro fundamental para determinar subsecuentemente otras variables críticas en el diseño de la mezcla.

Paso 3. Estimación del agua para la mezcla y contenido de aire

El requerimiento de agua por metro cúbico de concreto necesario para alcanzar un asentamiento (slump) específico está en función del tamaño máximo nominal, la forma de las partículas y la gradación de los agregados. La tabla adjunta proporciona valores de referencia para el contenido de agua estimado en mezclas con distintos tamaños máximos nominales con y sin aire incorporado.

Tabla 6

Agua de la mezcla aproximada y contenido de aire requerido para diferentes slumps y tamaños máximos nominales de agregado

Water, lb/yd ³ of concrete for indicated nominal maximum sizes of aggregate								
Slump, in.	¾ in.*	½ in.*	¾ in.*	1 in.*	1-½ in.*	2 in.* [†]	3 in. ^{†‡}	6 in. ^{†‡}
Non-air-entrained concrete								
1 to 2	350	335	315	300	275	260	220	190
3 to 4	385	365	340	325	300	285	245	210
6 to 7	410	385	360	340	315	300	270	—
More than 7*	—	—	—	—	—	—	—	—
Approximate amount of entrapped air in non-air-entrained concrete, percent	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Air-entrained concrete								
1 to 2	305	295	280	270	250	240	205	180
3 to 4	340	325	305	295	275	265	225	200
6 to 7	365	345	325	310	290	280	260	—
More than 7*	—	—	—	—	—	—	—	—
Recommended averages [†] total air content, percent for level of exposure:								
Mild exposure	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5** ^{††}	1.0** ^{††}
Moderate exposure	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5** ^{††}	3.0** ^{††}
Severe exposure ^{‡‡}	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5** ^{††}	4.0** ^{††}

Nota. Fuente ACI 211.1-91

Paso 4. Elección de la relación a/c

La determinación de la relación agua-cemento (a/c) no se fundamenta únicamente en los criterios de resistencia mecánica, sino que también está gobernada por exigencias de durabilidad. Cuando esta relación no está especificada, el método ACI 211.1 ofrece, a través de sus tablas, valores estimados y notablemente conservadores. Estos valores

tabulados, derivados de extensos estudios, ensayos de laboratorio y probetas curadas estandarmente por 28 días, predicen las resistencias esperadas para materiales convencionales. Es crucial destacar que, bajo condiciones de exposición severas, el límite superior de la relación a/c debe restringirse a un valor bajo, aun cuando los requisitos de resistencia mecánica permitirían una relación más elevada.

Tabla 7

Relacion a/c y resistencia a la compresión del concreto

Compressive strength at 28 days, psi*	Water-cement ratio, by weight	
	Non-air-entrained concrete	Air-entrained concrete
6000	0.41	—
5000	0.48	0.40
4000	0.57	0.48
3000	0.68	0.59
2000	0.82	0.74

Nota. Fuente ACI 211.1-91

Paso 5. Cálculo de la cantidad de cemento

Una vez conocida cuánta agua, obtenida en el paso 3, se requiere para la mezcla, se calcula el contenido de cemento, mediante la relación a/c definida en el paso 4. Este valor se obtiene dividiendo la cantidad de agua de mezclado requerida entre la relación a/c.

Paso 6. Cálculo del contenido de agregado grueso

Para este paso, el ACI maneja una tabla donde nos indica un volumen de agregado grueso en estado seco y compactado para un metro cúbico de concreto. Este valor depende del tamaño máximo del agregado grueso y del módulo de fineza de la arena. Este volumen mencionado es seco y varillado para un cubo de concreto, por tanto, si queremos hallar la cantidad de material requerido multiplicamos dicho valor por su peso volumétrico seco varillado.

Tabla 8*Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto*

Nominal maximum size of aggregate, in.	Volume of oven-dry-rodded coarse aggregate* per unit volume of concrete for different fineness moduli of fine aggregate+			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4	0.66	0.64	0.62	0.60
1	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2	0.75	0.73	0.71	0.69
2	0.78	0.76	0.74	0.72
3	0.82	0.80	0.78	0.76
6	0.87	0.85	0.83	0.81

Nota. Fuente ACI 211.1-91**Paso 7. Cálculo del volumen de agregado fino**

Una vez determinadas las cantidades de agua, cemento, aire y agregado grueso, el contenido de agregado fino se calcula por diferencia, completando así el volumen absoluto de todos los componentes de la mezcla. Es crucial considerar que cualquier ajuste posterior en las proporciones de cemento, agregado grueso o fino debe realizarse manteniendo invariable la relación inicial entre los agregados establecida en la dosificación. Este balance final puede expresarse en función del peso o del volumen absoluto de los materiales.

Paso 8. Ajuste de la mezcla por humedad de agregados

Para el octavo y último paso, se ajusta la mezcla, como dice el título, por humedad. El agua añadida a la mezcla se debe reducir en proporciones iguales a la humedad libre que aporta el agregado, en palabras simples, la humedad total menos su absorción.

2.2.4. Adoquines de concreto

Adoquín

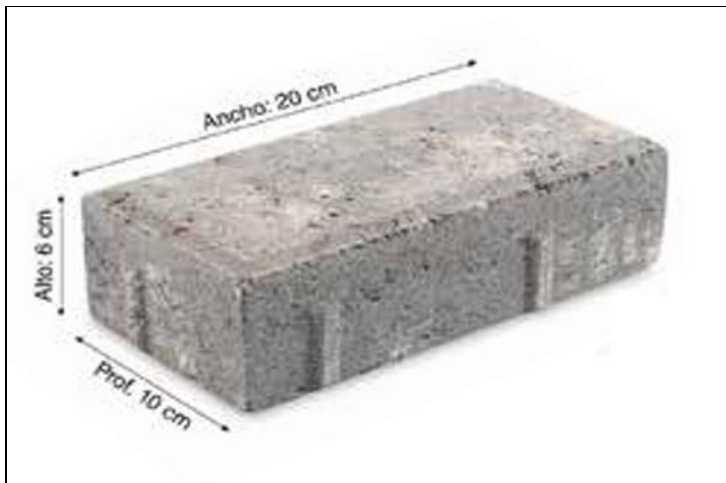
Según Cabezas (2014), afirma que los adoquines como materiales compuestos prefabricados, elaborados de concreto, que es un conglomerado fabricado artificialmente compuesto de cemento, agregados (fino y grueso) y agua, que resisten bastante bien las cargas de compresión, absorción, flexión y desgaste entre otros (pag.1)

La norma técnica peruana NTP 399.611, INACAL (2017) lo define como una pieza de concreto simple, de forma nominal prefabricada.

Los adoquines de concreto se pueden elaborar de diferentes formas y medidas, entre las más típicas encontramos los adoquines rectangulares, ondulares, hexagonal y adogras.

Figura 5

Adoquín de concreto tipo II



Nota. Dimensiones del adoquín de concreto tipo II, elaborados con residuos de roca caliza como agregado (fino y grueso).

Componente de los adoquines

Los insumos más utilizados en la elaboración del concreto son: cemento, agregado (fino y grueso) y agua

Agregados

Según Torre (2004), a firma que es un conjunto de particular inorgánicas de origen natural o artificial cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la NTP 400.001 (pag.43).

Agregado fino

Según Torre (2004), lo define como aquel que pasa el tamiz 3/8" y queda retenido en la malla N°200, el más usual es la arena producto resultante de la desintegración de las rocas (pag.44).

Agregado grueso

Según Torre (2004), indica que es aquel que queda retenido en el tamiz N°4 y proviene de la desintegración de las rocas, puede a su vez clasificarse en piedra chancada y grava. (pag.44).

Según Polo (2016), a firma que el cemento es un conglomerado formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecer al contacto con el agua. (pag.185)

Agregado reciclado

El agregado reciclado es un material pétreo producto de la trituración de los residuos de roca caliza proveniente de canteras informales. Se pueden clasificar en agregados reciclados finos y gruesos, dependiendo del tamaño. La clasificación de estos agregados se realiza acorde a los parámetros dados para un agregado natural.

Cemento Pórtland

Según Polo (2016), lo sostiene que el cemento Pórtland es un conglomerado o cemento hidráulico que cuando se mezcla con áridos, agua y fibras de acero discontinuas

y discretas tiene la propiedad de con formar una pasa pétreo resistente y duradera denominada en otros países como hormigo (p.187).

Clasificación del cemento Portland estándar

De acuerdo con uso se clasifican tal como se indica en la tabla 9:

Tabla 9

Clasificación del tipo de cemento Portland

Tipo	Uso
I	Cemento de uso general, empleado en obras donde no se requieren propiedades especiales de resistencia frente a agentes agresivos como sulfatos, cloruros o elevadas temperaturas generadas por el calor de hidratación.
II	Cemento utilizado cuando se requiere resistencia moderada al ataque de sulfatos y un control moderado del calor de hidratación.
III	Cemento de alta resistencia inicial, que desarrolla elevadas resistencias mecánicas a edades tempranas (3 y 7 días), ideal para obras que requieren rápida habilitación
IV	Cemento de bajo calor de hidratación, utilizado en estructuras masivas donde es necesario minimizar el incremento de temperatura para evitar fisuración térmica
V	Cemento con alta resistencia al ataque de sulfatos, empleado en ambientes altamente agresivos, como suelos o aguas con alta concentración de sulfatos.

Nota. Adaptado de normas técnicas de clasificación del cemento Portland.

Agua

Según Torre (2024), lo indica que el agua que a de ser empleada en la preparación del concreto deberá cumplir con los requisitos de la NTP 339.088y ser, de preferencia potable. Asi mismo esta norma lo considera aptas para la preparación y curado del concreto, aquellas aguas cuyas propiedades y contenidos de sustancias disueltas este comprendidos dentro de los siguientes limites:

Tabla 10

Limites permisibles para el agua de mezcla y curado según la norma NTP 339.088

Descripción	Limites permisibles		
Sólidos en suspensión (residuo insoluble)	5000	ppm	Máximo
Material orgánico	3	ppm	Máximo
Alcalinidad (NaCHCO ₃)	1000	ppm	Máximo
Sulfatos (ion SO ₄)	600	ppm	Máximo
Cloruro (ion Cl ⁻)	1000	ppm	Máximo
PH	5 a 8		Máximo

Nota. Adaptado de la Norma Técnica Peruana NTP 339.088 sobre requisitos del agua para mezcla y curado del concreto.

Concreto

El concreto es una mezcla compuesta de un medio ligado que se encuentra embebida en un medio ligante. El medio ligante se denomina pasta y está conformada por la unión del material cementante y agua, mientras que el medio ligado viene a ser el agregado natural y/o artificial. El concreto tiene 2 fases: la fase continua es la pasta, dado que siempre está unida con algo de ella misma a través de todo el conjunto de este. Y la fase discontinua es el agregado dado que estas no se encuentran unidas entre sí, sino están separadas por capas de pasta (Rivva,2000).

Clasificación de los adoquines

De acuerdo con la NTP 399.611, estas se clasifican en tres tipos tal como se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 11*Clasificación de los adoquines de acuerdo con el uso*

Tipo	Uso
I	Adoquines para pavimento de uso peatonal.
II	Adoquines para pavimentos de tránsito vehicular ligero.
III	Adoquines para pavimentos de tránsito vehicular pesado, patios industriales y contenedores.

Nota. Fuente Norma Técnica Peruana 399.611**Espesor nominal y resistencia a la compresión**

De acuerdo con la NTP 399.611, el espesor nominal y resistencia a la compresión, se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 12*Espesor nominal y resistencia a la compresión de adoquines*

Tipo	Espesor nominal (mm)	Resistencia a la compresión, min. Mpa (kg/cm ²)	
		Promedio de 3 unidades	Unidad Individual
I (Peatonal)	40	31 (320)	28 (290)
	60	31 (320)	28 (290)
II (Vehículo ligero)	60	41 (420)	37 (380)
	80	37 (380)	33 (340)
	100	35 (360)	32 (325)
III (Vehículo pesado, patios industriales o de contenedores)	≥ 80	55 (561)	50 (510)

Nota. Fuente Norma Técnica Peruana 399.611**Tolerancia dimensional de los adoquines**

De acuerdo con la NTP 399.611, los adoquines de los diferentes tipos, deberán tener una tolerancia dimensional tal como lo indica la siguiente tabla:

Tabla 13*Tolerancia de las dimensiones de los adoquines*

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

Nota. Fuente Norma Técnica Peruana 399.611

Absorción de los adoquines

De acuerdo con la NTP 399.611, los adoquines deberán cumplir con los requisitos de máxima absorción indicados en la siguiente tabla:

Tabla 14*Requisitos máximos de absorción*

Tipo de adoquín	Absorción, máx. (%)	
	Promedio de 3 unidades	Unidad individual
I y II	6	7.5
III	5	7

Nota. Fuente Norma Técnica Peruana 399.611

Resistencia a la abrasión de los adoquines

De acuerdo con lo indicado NTP 399.625, los especímenes deberán tener una pérdida de volumen no mayor de $15 \text{ cm}^3/50\text{cm}^2$. La pérdida del espesor promedio no debe exceder los 3mm.

Resistencia a la flexión

De acuerdo con lo indicado NTP 399.611, la resistencia mínima debe tenerse detallada en el siguiente cuadro:

Tabla 15*Resistencia mínima a la flexión*

Tipo de adoquín	Resistencia mínima a flexión	
	Mpa (Kg/cm ²)	
	Promedio de 3 unidades	Unidad individual
I	5.4 (55)	4.6 (46.8)
II	4.1 (42)	3.5 (35.7)
III	4.1 (42)	3.5 (35.7)

Nota. Fuente Norma Técnica Peruana NTP 399.611, establece que se debe asegurar que el adoquín soporte los máximos esfuerzos de flexión sin llegar a la rotura

Dimensiones del adoquín

Según Cabezas (2014) indica que los adoquines pueden tener dimensiones muy variadas según el modelo que se fabrique, pero se debe controlar que cada tipo cumpla con uniformidad en las dimensiones, porque variaciones apreciables perjudican el aspecto del pavimento y afectan la transferencia de cargas a través de las juntas. Se recomienda que en los adoquines rectangulares la relación longitud/ancho en el plano no sea mayor de 2.0 y la relación espesor /largo no debe ser menor de 0.20 ni mayor de 0.50 (pag.19)

Peso del adoquín

Según Cabezas (2014) indica que los adoquines tienen un peso característico en función a las dimensiones y materiales utilizados en su fabricación. (pag.21)

Textura del adoquín

Según Cabezas (2014) sostiene que debido a a los agregados que se emplean en la fabricación de adoquines, se obtiene acabados superficiales con diferentes rugosidades, adaptándose a las necesidades específicas del usuario (pag.21)

Color del adoquín

Según Cabezas (2014) sostiene que el color en los adoquines debe permanecer inalterable con el tiempo y uso y se debe comprobar que el pigmento utilizado no altere las propiedades del concreto (pag.21)

Proceso de fabricación del adoquín del concreto

El proceso de fabricación consta de las siguientes etapas: dosificación, mezclado, moldeado, fraguado, curado, almacenamiento y secado:

Dosificación del adoquín

Según Hidalgo y Poveda (2013) lo sostiene que la dosificación es el primer paso en el proceso de fabricación del adoquín. Consiste en diseñar la mezcla, es decir establecer las proporciones de cada uno de los componentes del concreto. El objetivo es que el producto final adquiera propiedades adecuadas, principalmente cumpliendo con la resistencia a la compresión según su aplicación. La dosificación del cemento, agua y agregados depende de factores tales como: granulométrica, propiedades físico-mecánicas de los agregados, tipo de cemento, relación agua/cemento, etc. Por la cantidad de variables a controlar, el proceso se torna complejo, y lo maneja de manera experimental (pag.23)

Moldeado

Según Hidalgo y Poveda (2013) indica que la mezcla es vertida en moldes, previamente limpios, para luego ser vibro-compactados a través de apisonadores. La duración, frecuencia y amplitud de la vibración es igual a la presión de compactación se determina experimentalmente. Finalmente se retiran los adoquines del molde evitando fracturarlos o deformarlos. (pag.23)

Fraguado

Según Hidalgo y Poveda (2013) señala que el fraguado es la reacción química entre el cemento y el agua mediante el cual se produce el endurecimiento del concreto. Para que el fraguado ocurra satisfactoriamente, los adoquines deben permanecer protegidos del sol y del viento, a fin de evitar que el agua contenida en estos se evapore y detenga este proceso, en cuyo caso se tendrá una resistencia a la compresión baja (pag.23)

Curado

Según Hidalgo y Poveda (2013) señala que el curado consiste en mantener la humedad del concreto, para lo cual se agrega agua periódicamente, consiguiendo así la reacción química del cemento continúe. Para esto, los adoquines se agrupan con la separación suficiente para que puedan humedecer totalmente por toda su superficie (pag.24).

Almacenamiento

Según Hidalgo y Poveda (2013) señala que es necesario almacenar el producto en un lugar aislado de la lluvia, del viento y de la luz solar, a fin de garantizar el curado y evitar posibles fisuras (pag.24).

Pavimento

Según Montejo (2006) define que el pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas

de tránsito le transmiten durante el periodo para el cual fue diseñada la estructura del pavimento (pag.1).

Clasificación de pavimentos

Según Menéndez (2016) indica que se llaman pavimento rígido y flexible por la forma que transiten los esfuerzos y deformaciones a las capas inferiores que depende de la relación de rigideces relativa de las capas (pag.20)

Pavimento flexible

Según Montejo (2006) señala que los pavimentos flexibles están formados por una capa bituminosa apoyada generalmente sobre capas no rígidas, la base y subbase. No obstante, puede prescindir de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra (pag.2).

Figura 6

Estructura del pavimento flexible



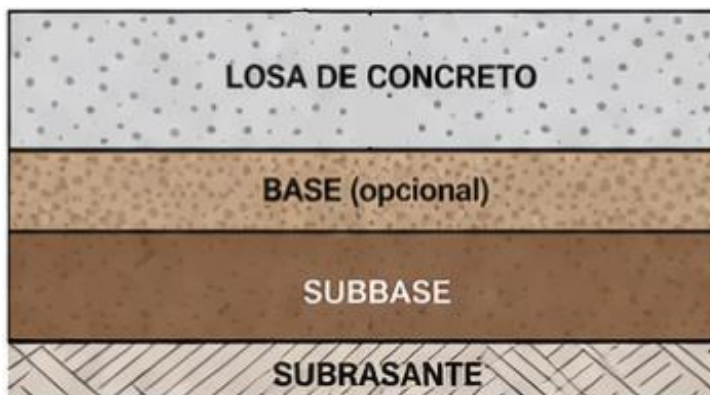
Nota. La figura muestra la estructura de un pavimento flexible, compuesta por varias capas que trabajan conjuntamente para distribuir las cargas del tránsito. En la parte superior se encuentra la carpeta asfáltica, que proporciona la superficie de rodadura. Debajo se ubica la base granular, seguida de la subbase, las cuales contribuyen a la resistencia estructural y al adecuado drenaje

Pavimento rígido

Según Menéndez (2016) señala que los pavimentos rígidos están conformados por una losa de concreto hidráulico con o sin refuerzo que sirve como superficie de rodadura y como componente principal del pavimento. La losa se apoya en una capa de material de préstamo con o sin estabilización y en algunos casos directamente sobre el suelo de fundación compactado (pag.21).

Figura 7

Estructura del pavimento rígido



Nota. La figura presenta la estructura típica de un pavimento rígido, conformada por una losa de concreto que actúa como principal elemento estructural y distribuye las cargas del tránsito. Debajo de esta se encuentra una base (opcional), seguida de la subbase, que contribuye a la uniformidad del soporte y al drenaje.

Pavimento compuesto

Según Menéndez (2016) señala que los pavimentos compuestos son resultado de la combinación de un pavimento flexible con un pavimento rígido. (pag.21).

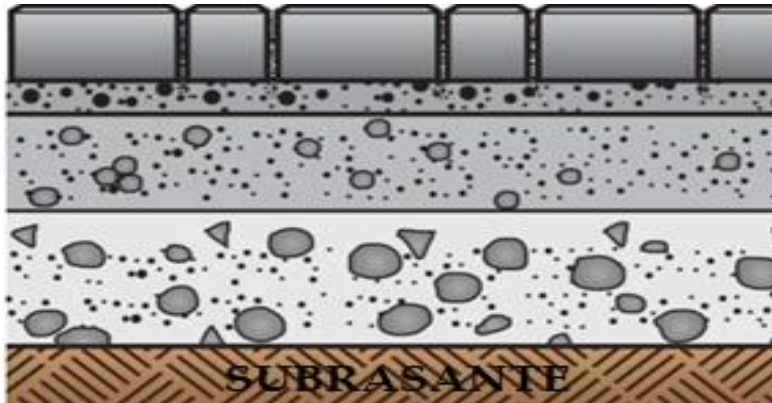
Pavimento semirrígidos o segmentados

Según Menéndez (2016) señala que estos pavimentos están compuestos por una superficie de rodadura conformado por unidades de piedra, concreto hidráulico, ladrillo o

madera que son colocados sobre una capa de arena, apoyada en una o varias capas granulares: pueden ser del tipo, adoquinado, empedrado y emboquillado (pag.22).

Figura 8

Estructura del pavimento semirrígido o segmentado



Nota. La figura muestra, la composición estructural de un pavimento semirrígido o segmentado, conformado por capas superpuestas. En la parte superior se observan los adoquines de concreto, seguidos por una capa de asiento y una base granular que distribuye las cargas. Finalmente, se presenta la subrasante, que actúa como soporte del sistema. Esta configuración permite una adecuada transmisión de esfuerzos hacia el terreno natural, garantizando estabilidad y durabilidad bajo tránsito vehicular ligero.

2.3. Definición de términos

Absorción de agua: Es la cantidad en porcentaje de agua que puede absorber el adoquín.

Agua: Según Torre (2004), Indica que el agua que a de ser empleada en la preparación del concreto deberá cumplir con los requisitos de la NTP 339.088 y ser, de preferencia potable. (pag.31)

Agregado: Según Torre (2004), lo define como agregado al conjunto de partículas inorgánicas de origen natural o artificial cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados NTP 400.011. (pag.43)

Cemento: Material pulverizado que por adición de una cantidad conveniente de agua forma una pasta aglomerante capaz de endurecer, tanto bajo el agua como en el aire (Abanto, 16).

Concreto: Es una estructura compuesta por cemento portland, agregados, agua y aire, en proporciones adecuadas, que permiten obtener un elemento que cumpla las propiedades de durabilidad y de resistencia a la compresión, entre otras (Abanto,19)

Diseño de mezcla: Según Torre (2004), lo define como el proceso que, en base a la aplicación técnica y practica de los conocimientos científicos sobre sus componentes y la interacción entre ellos, permite lograr un material que satisfaga de la manera más eficiente y económico. (pag.88).

Desgaste por abrasión: Según (NTP 399.624) lo define como: “El desgaste abrasivo o abrasión se refiere a la pérdida de material causada, entre otras cosas, por la acción mecánica de un agente de fricción o por un medio fluido”.

Ensayo de laboratorio: La selección de las proporciones de una mezcla de concreto, pueden ser verificados eficazmente mediante ensayos de laboratorio, los cuales sirven para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales empleados.

Propiedades mecánicas: Se refiere a la capacidad de los mismos de resistir acciones de carga o fuerza (Polo, 33).

Resistencia a la compresión: Es la capacidad para soportar las cargas verticales sin sufrir daños.

Resistencia al desgaste: Es la capacidad para resistir el desgaste causado por el tráfico.

Roca caliza: Polo (2016) define que la roca sedimentaria química más abundante que está constituido esencialmente por CaCO_3 (P.102).

2.4. Marco normativo

NTP 400.611: Unidades de Albañilería. Adoquines de concreto para pavimentos

Esta norma define los criterios que se debe desempeñar un adoquín prefabricado de concreto para ser utilizado en la construcción de pavimentos de diferentes flujos de tránsito pesado, ligero o peatonal.

NTP 400.012: Agregados. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global

La norma establece requisitos para poder determinar el tamaño de las partículas de los agregados mediante tamizado, es decir pasar el agregado por una serie de mallas que establecidos en la norma.

NTP 400.050: Manejo de residuos de la construcción

Esta norma establece directrices para el manejo adecuado de los residuos de la construcción. Esta norma define los tipos de residuos, clasifica los mismos, y ofrece alternativas para su reutilización, reciclaje o disposición final, considerando aspectos técnicos y ambientales.

NTP 400.020: Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaño grande por Abrasión e Impacto en la Máquina de Los Ángeles

Esta Norma Técnica Peruana establece el procedimiento para ensayar agregados gruesos de tamaños mayores que 19 mm (3/4") para determinar resistencia a degradación utilizando la máquina de los Ángeles.

III. Metodología de la investigación

3.1. Diseño o esquema de la investigación

3.1.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es **aplicada** por que trata buscar soluciones a un problema planteado, es así que, partiendo de la obtención del agregado (grueso y fino) de residuos de roca caliza, se pretende a elaborar adoquines de concreto del tipo II y los que deben cumplir NTP 399.611. El tipo de investigación es aplicada, por lo que se genera un conocimiento, aplicando directamente una solución al problema que se ha detectado en la investigación, con la finalidad de generar un beneficio productivo a la sociedad (Lozada, 2014)

3.1.2. Enfoque la investigación

El enfoque de la investigación es **cuantitativo**, porque nos brinda datos numéricos que, a través de los ensayos en laboratorios se va a determinar las características y propiedades de los adoquines de concreto del tipo II, tales como: compresión, absorción, desgaste y flexión, los que deben cumplir NTP 399.611. Así mismo, según su alcance, es de tipo **descriptiva**, pues se presentará una descripción detallada de los resultados obtenidos de los diferentes ensayos de laboratorio.

3.1.3. Diseño de investigación

El diseño de esta investigación es **cuasi - experimental**, ya que se realizaron diferentes ensayos de laboratorio (compresión, absorción, desgaste y flexión) con el propósito de determinar la cantidad óptima de residuo de roca caliza como agregado (fino y grueso) en la elaboración del adoquín de concreto del tipo II, y que debe cumplir con lo establecido en NTP 399.611.

El diseño de la investigación es cuasi - experimental, puesto que se pretende manipular deliberadamente la variable independiente y observar sus efectos en la variable dependiente, bajo condiciones contraladas (Hernández-Sampieri, Fernández-Collado, & Batista, 2014).

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La torre (2003) sostiene que: “La población como el conjunto de todos los individuos (objetos, personas, eventos) en los que se desea estudiar el fenómeno. Estos deben reunir las características de los que es objeto de estudio” (p.37).

En la presente investigación titulada “Propuesta de diseño de concreto con agregado reciclado y su aplicación en la elaboración de adoquines para el tránsito vehicular ligero”. La población del proyecto de investigación está conformada por todas las unidades de adoquines de concreto tipo II, el cual se distribuye de la siguiente manera: 09 probetas de concreto de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura y 78 adoquines de concreto del tipo II de dimensiones: 20 cm de largo, 10 cm de ancho y 6 cm de alto. De acuerdo con la NTP 399.611

3.2.2. Muestra

La muestra es una fracción de la población, cuyas cualidades esenciales son el reflejo idéntico e imparcial de ella. En la presente investigación, la muestra será no probabilístico intensional. Según la NTP 399.611 las unidades de albañilería (adoquines de concreto para pavimentos), no deben ser menores a tres unidades por ensayos (compresión, absorción, desgaste y flexión). En la presente investigación se utilizaron un 120 adoquín de concreto del tipo II, tal como se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 16

Cantidad de adoquines del tipo II, que serán sometidos a ensayos de laboratorio

Muestra	Ensayos de laboratorio			
	Compresión	Absorción	Desgaste	Flexión
A-II (Patrón)	15	5	5	5
A-II (Proporción 1)	15	5	5	5
A-II (Proporción 2)	15	5	5	5
A-II (Proporción 3)	15	5	5	5
Total	60	20	20	20

Interpretación. Muestra la cantidad de adoquines del tipo II, que serán utilizados para los diferentes ensayos tales como: resistencia a la compresión, absorción, desgaste y flexión.

3.3. Operacionalización de variables

Córdova (2012) sostiene que: “Consiste en identificar sus dimensiones con sus respectivos indicadores” (P.66).

R-----O-----X

R: Agregado de residuos de roca caliza

O: Observación

X: Aporte estructural

Tabla 17*Operacionalización de variable independiente*

Variable independiente	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Medición
Uso de residuos de roca caliza como agregado	El uso busca sustituir totalmente los agregados naturales convencionales, con la finalidad de optimizar recursos, reducir impactos ambientales y mantener o mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto.	Se refiere a la incorporación controlada de residuos de roca caliza como sustituto total del agregado fino y/o grueso en la mezcla de concreto, evaluada mediante diferentes proporciones de reemplazo y su influencia en las propiedades del adoquín	Propiedades del agregado grueso y fino de residuo de roca caliza.	Peso unitario seco y compactado del agregado fino y grueso.	Ensayo en laboratorio (kg/cm ³): NTP 400.037
				Contenido de humedad del agregado fino y grueso	Ensayo en laboratorio (kg/cm ³): NTP 400.037
				Granulometría del agregado fino y grueso	Ensayo en laboratorio (kg/cm ³): NTP 400.012
				Dosificación del residuo de la caliza como agregado	En peso del agregado fino y grueso. Balanza (kg). NTP 399.621.

Tabla 18*Operacionalización de variable dependiente*

Variable dependiente	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Medición		
Propiedades físicas y mecánicas de los adoquines de concreto tipo II	Conjunto de características intrínsecas del material que determinan su capacidad para resistir las fuerzas externas (mecánicas) y su comportamiento frente a agentes ambientales (físicas), garantizando su funcionalidad y durabilidad en pavimentos destinados al tránsito vehicular ligero	Conjunto de indicadores, procedimientos y unidades de medio que son observables y cuantificables.	Propiedades mecánicas	Resistencia a la compresión	Ensayo en laboratorio (kg/cm ²): NTP 399.621		
				Resistencia a la Flexión	Ensayo en laboratorio (kg/cm ²): NTP 399.621		
				Resistencia al Desgaste	Ensayo en laboratorio (%): NTP 399.624		
			Propiedades físicas			Dimensiones	Regla graduada (cm): NTP 399.621
						Peso	Balanza (kg): NTP 399.611
						Absorción	Balanza, horno, depósito de agua (%): NTP 399.611

3.4. Técnica e instrumento de recolección de datos

3.4.1. Técnica

Es un conjunto de proceso sistematizado con la finalidad de recolectar datos a fin de medir una o más variables. La técnica utilizada en presente investigación es la observación directa.

3.4.2. Instrumento

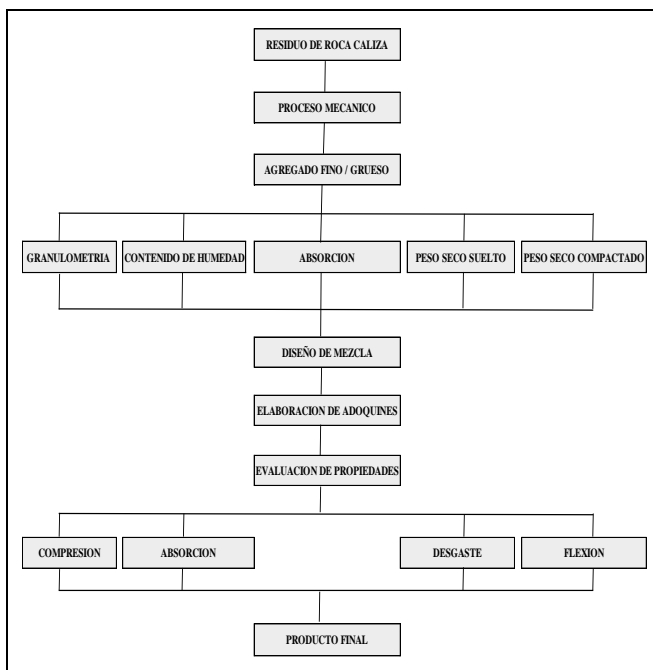
Los instrumentos utilizados en la presente investigación son: las fichas técnicas y guías de los ensayos de laboratorio, los cuales se encuentran establecidos en la NTP 339.611, NTP 399.604 y NTP 399.613

3.5. Procedimiento de recolección de datos

Consiste en recolectar datos pertinentes sobre las atribuciones, conceptos o variables de la unidad de análisis. (Hernández, 2010)

Figura 9

Procedimiento de trabajo de campo y gabinete



Nota. Proceso para la obtención de datos para la ejecución de la investigación desde el acopio de residuos de roca caliza hasta la elaboración del adoquín de concreto tipo II.

a) Obtención del agregado (residuos de roca caliza)

Primero: Se identifico el botadero denominado PURHUAY del cual se tomó la muestra representativa para la investigación.

Figura 10

Ubicación del botadero Purhuay



Nota. Fuente tomado de Google Maps (2022)

Segundo: Selección, lavado y secado de la muestra (residuo de roca caliza)

Figura 11

Procedimiento que se realiza para la eliminación del material contaminante



Nota. Muestra procedimientos básicos para la eliminación del material contaminante polvo, arcilla, materiales orgánicos.

Tercero: Determinación de desgaste del agregado grueso por abrasión los ángeles. Este ensayo es fundamental para evaluar durabilidad del agregado grueso simulando el deterioro que sufrirá el pavimento (rígido o flexible) y otras estructuras sujetas a tráfico o fricción.

Figura 12

Ensayo de desgaste del agregado grueso por abrasión los ángeles



Nota. Se observa el desgaste el material mediante el ensayo de abrasión de los ángeles.

Tabla 19

Parámetros utilizados para los ensayos de abrasión los ángeles en función al diámetro del agregado

TAMAÑO DE MALLA		PESO DE LOS TAMAÑOS INDICADOS EN GRAMOS (g)						
PASA EL TAMIZ	RETENIDO EN EL TAMIZ	GRADO "A" (12)	GRADO "B" (11)	GRADO "C" (8)	GRADO "D" (6)	GRADO "1" (12)	GRADO "2" (12)	GRADO "3" (12)
3"	2 1/2"					2500±50		
2 1/2"	2"					2500±50		
2"	1 1/2"					5000±50	5000±50	
1 1/2"	1"	1250±25					5000±25	5000±25
1"	3/4"	1250±25						5000±25
3/4"	1/2"	1250±10	2500±10					
1/2"	3/8"	1250±10	2500±10					
3/8"	N°3			2500±10				
N°3	N°4			2500±10				
N°4	N°8				5000±10			

Nota. Extraído del Manual de Ensayo de Materiales del MTC

Cuarto: Proceso de reducción del diámetro de la roca (residuo de roca caliza). En este proceso se ha utilizado una chancadora del tipo Quijada con la finalidad de obtener un material homogéneo para la elaboración del concreto para los adoquines.

Figura 13

Procesamiento de la muestra del residuo de roca caliza



Nota. En este proceso se reduce el diámetro de la muestra (residuo de roca caliza), para ser utilizado como agregado en la elaboración del concreto para los adoquines.

Quinto: Diseño de mezcla mediante la metodología del ACI. Para la elaboración del concreto, se debe tener en cuenta las recomendaciones hechas por el instituto colombiano de productores de cemento donde hace mención: Que el agregado fino agregado fino es el material que pasa el tamiz N°4 y el agregado grueso material retenido en el tamiz N°4, preferiblemente un agregado grueso con un tamaño máximo de 3/8" en ningún momento sobrepase a 1/2".

En la tabla 19 se muestra los parámetros necesarios para el diseño de mezcla de concreto mediante la metodología del ACI.

Tabla 20*Parámetros para el diseño de mezcla mediante la metodología del ACI*

Concreto:
f'c - Resistencia a compresión (kg/cm ²)
Slump (")
Cemento
Tipo
Peso Específico Cemento (gr/cm ³)
Agregado fino
Peso unitario suelto (kg/m ³)
Peso unitario compactado (kg/m ³)
Peso Específico (kg/m ³)
Módulo de Fineza
% de absorción
% de humedad
Agregado grueso
Perfil
Peso unitario suelto (kg/m ³)
Peso unitario compactado (kg/m ³)
Peso Específico (kg/m ³)
Módulo de Fineza
Tamaño máximo nominal (")
% de absorción
% de humedad
Agua
Peso Específico Agua (kg/m ³):

Nota. En la tabla 20, se muestra las características principales de los agregados (fino y grueso) para ser utilizados en el diseño de mezcla

Propiedades del agregado fino (residuo de roca caliza): material pasante la malla N°4

Tabla 21

Contenido de humedad de agregado fino

POZO	C-01	
MUESTRA	MA-01 (A. Fino)	
MATERIAL	ARENA GRUESA	
FRASCO N°	1	2
(1) Pfr + P.S.H. (gr)	262.52	257.90
(2) Pfr+ P.S.S. (gr)	258.72	254.10
(3) Pagua (gr)	(1) - (2)	3.80
(4) Pfr (gr)		49.70
(5) P.S.S. (gr)	(2) - (4)	209.02
(6) C. Humedad (%)	(3) / (5)	1.82
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO	1.80%	

Nota. Proceso para la determinación del contenido de humedad del agregado fino

Tabla 22

Peso específico y porcentaje de absorción

Identificación (Agregado)	FINO	
Tamaño Máximo de la muestra	Malla # 4	
Tipo de Frasco Utilizado	Fiola	
Peso Frasco + Agua	=(A)	648.50
Peso mat. y Sup. Seca en Aire	=(B)	200.00
Mat. Sat. + Agua + Frasco: A+B	=(C)	848.50
Peso Global con Desplaz. de Vol.	=(D)	772.50
Peso Vol. Masa + Vol. Vacíos: C-D	=(E)	76.00
Peso Mat. Sat. y Sup. Seca en Agua	=(F)	-----
Peso Secado en Estufa a 105°C	=(G)	-----
Peso del Vol. De la Masa: E-(B-C)	=(H)	-----
P.E. Bulk (Base Seca)	=G/E	-----
P.E. Bulk (Base Saturada)	=B/E	2.63
P.E. Aparente o Relativo	=G/H	-----
N° de Tarro	1	
Peso del Tarro + Mat. SSS en Aire	=(a)	110.55

Peso del Tarro + Mat. Secado en Estufa	=(b)	108.96
Peso del Agua (a-b)	=(c)	1.59
Peso del Tarro	=(d)	23.24
Peso del Material Secado en Estufa (b-d)	=(e)	85.72
Porcentaje de Absorción	=(c)x100/e	1.85

Nota. Proceso para la determinación del peso específico y porcentaje de absorción del agregado fino

Tabla 23

Peso unitario del agregado fino

TIPO DE PESO UNITARIO	PESO UNITARIO SUELTO			PESO UNITARIO VARILLADO		
	1	2	3	1	2	3
MUESTRA N°						
PESO MATERIAL + MOLDE	5290.00	5285.00	5289.00	5538.00	5537.00	5586.00
PESO DEL MOLDE	3908.00	3908.00	3908.00	3908.00	3908.00	3908.00
PESO DEL MATERIAL	1382.00	1377.00	1381.00	1630.00	1629.00	1678.00
VOLUMEN DEL MOLDE	936.83	936.83	936.83	936.83	936.83	936.83
PESO UNITARIO	1.475	1.470	1.474	1.740	1.739	1.791
PESO UNITARIO PROMEDIO		1.473			1.757	

Tabla 24

Proceso de tamizado del agregado fino

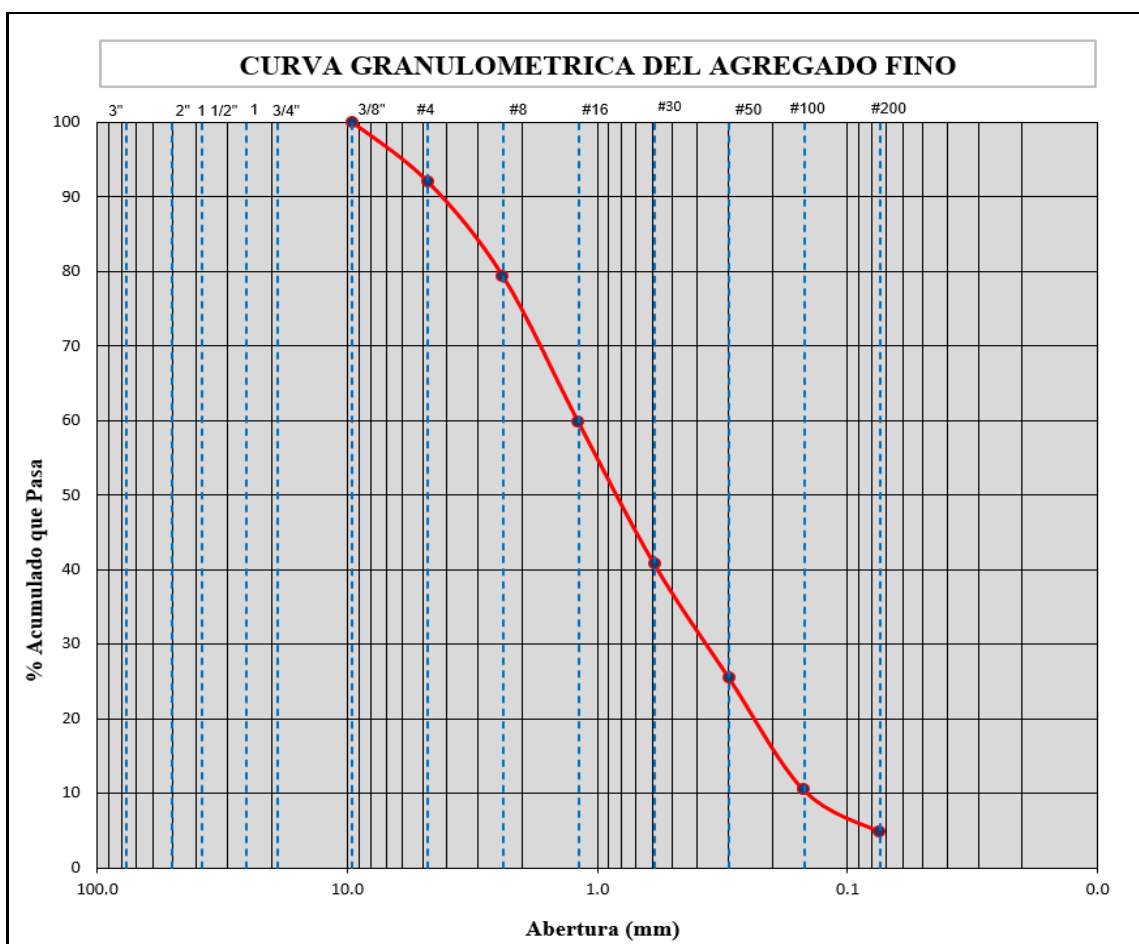
PESO INICIAL SECO:	1728.00	grs	% QUE PASA MALLA No 200:	4.90	
PESO LAVADO SECO:	1646.00	grs	% RETENIDO MALLA 3" :	0.00	
			%		
Tamices	Abertura	Peso	% Retenido	Retenido	% Acumulado
ASTM	(mm)	Retenido	Parcial	Acumulado	Que
		(grs)			Pasa
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00
1 ½"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00
¾"	19.050	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
No 4	4.760	137.40	7.95	7.95	92.05
No 8	2.380	219.20	12.69	20.64	79.36
No 16	1.190	337.00	19.50	40.14	59.86
No 30	0.590	330.20	19.11	59.25	40.75
No 50	0.297	262.80	15.21	74.46	25.54
No 100	0.149	260.10	15.05	89.51	10.49
No 200	0.074	96.60	5.59	95.10	4.90
> No 200	0.000	2.70	0.16	95.25	

TOTAL	1646.00	95.25
Nota: Limite máximos de finos = 5%		

Nota. Proceso para la determinación para la granulometría del agregado fino

Figura 14

Distribución granulométrica del agregado fino (residuo de roca caliza)



Nota. La curva granulométrica presentada muestra la distribución de tamaños de partículas del material analizado, evidenciando un predominio significativo de la fracción fina.

**Propiedades del agregado grueso (piedra chancada): material pasante la malla 3/8”
retenido en la malla N°4**

Tabla 25

Contenido de humedad de agregado grueso

POZO		C-02	
MUESTRA		MA-01 (A. Grueso)	
MATERIAL		PIEDRA CHANCADA	
FRASCO N°		3	4
(1) Pfr + P.S.H. (gr)		235.27	196.58
(2) Pfr+ P.S.S. (gr)		234.01	195.30
(3) Pagua (gr)	(1) - (2)	1.26	1.28
(4) Pfr (gr)		37.17	38.03
(5) P.S.S. (gr)	(2) - (4)	196.84	157.27
(6) C. Humedad (%)	(3) / (5)	0.64	0.81
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO		0.73%	

Nota. Proceso para la determinación del contenido de humedad del agregado grueso

Tabla 26

Peso específico y porcentaje de absorción del agregado grueso (piedra chancada)

Identificación (Agregado)		GRUESO
Tamaño Máximo de la muestra		1/2"
Tipo de Frasco Utilizado		Probeta
Peso Frasco + Agua	=(A)	1667.00
Peso mat. y Sup. Seca en Aire	=(B)	500.00
Mat. Sat. + Agua + Frasco: A+B	=(C)	2167.00
Peso Global con Desplaz. de Vol.	=(D)	1976.20
Peso Vol. Masa + Vol. Vacíos: C-D	=(E)	190.80
Peso Mat. Sat. y Sup. Seca en Agua	=(F)	-----
Peso Secado en Estufa a 105°C	=(G)	-----
Peso del Vol. De la Masa: E-(B-C)	=(H)	-----
P.E. Bulk (Base Seca)	=G/E	-----
P.E. Bulk (Base Saturada)	=B/E	2.62
P.E. Aparente o Relativo	=G/H	-----

N° de Tarro		2
Peso del Tarro + Mat. SSS en Aire	=(a)	125.37
Peso del Tarro + Mat. Secado en Estufa	=(b)	124.50
Peso del Agua (a-b)	=(c)	0.87
Peso del Tarro	=(d)	22.98
Peso del Material Secado en Estufa (b-d)	=(e)	101.52
Porcentaje de Absorción	=(c)x100/e	0.86

Nota. Proceso para la determinación del peso específico y porcentaje de absorción del agregado grueso (piedra chancada).

Tabla 27

Peso unitario suelto y peso unitario varillado - Peso unitario de piedra chancada

TIPO DE PESO UNITARIO	PESO UNITARIO SUELTO			PESO UNITARIO VARILLADO			
	MUESTRA N°	1	2	3	1	2	3
PESO MATERIAL + MOLDE		5121.00	5115.00	5112.00	5340.00	5341.00	5344.00
PESO DEL MOLDE		3908.00	3908.00	3908.00	3908.00	3908.00	3908.00
PESO DEL MATERIAL		1213.00	1207.00	1204.00	1432.00	1433.00	1436.00
VOLUMEN DEL MOLDE		936.83	936.83	936.83	936.83	936.83	936.83
PESO UNITARIO		1.295	1.288	1.285	1.529	1.530	1.533
PESO UNITARIO PROMEDIO			1.289			1.530	

Nota. Proceso para la determinación peso unitario de agregado grueso (piedra chancada).

Tabla 28

Proceso de tamizado del agregado grueso (piedra chancada)

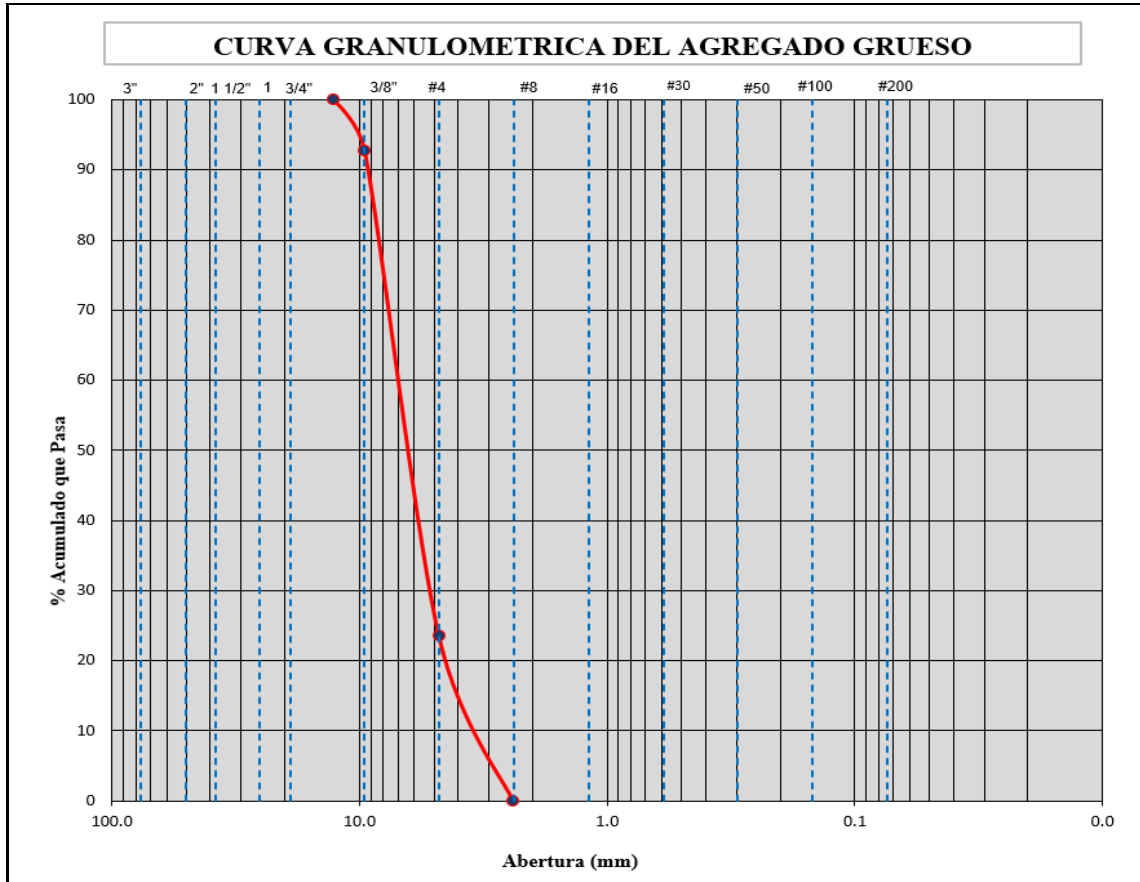
				TAMAÑO MAXIMO: 3/8"	
PESO INICIAL SECO:		2100.00	grs	% QUE PASA MALLA No 200: 23.43	
PESO LAVADO SECO:		2085.00	grs	% RETENIDO MALLA 3" : 0.00	
Tamices	Abertura	Peso	% Retenido	% Retenido	% Acumulado
ASTM	(mm)	Retenido	Parcial	Acumulado	Que
		(grs)			Pasa
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.525	152.30	7.25	7.25	92.75
No 4	4.760	1455.60	69.31	76.57	23.43
No 8	2.380	466.50	22.21		0.00
No 16	1.190	7.90	0.38		
No 30	0.590	1.00	0.05		
No 50	0.297	0.60	0.03		
No 100	0.149	0.60	0.03		

No 200	0.074	0.40	0.02
> No 200	0.000	0.10	0.00
TOTAL		2085.00	99.29

Nota. Proceso para la determinación para la granulometría del agregado grueso (piedra chancada).

Figura 15

Distribuciones granulométricas del agregado grueso (residuo de roca caliza)



Con los parámetros anteriormente mencionados en las tablas y figuras se procede al diseño de mezcla con la metodología del ACI

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

DISEÑO: $f'_c = 320 \text{ Kg/cm}^2$ (32 Mpa)

MATERIALES:

AGREGADOS : Material de cantera traído por el interesado.

CEMENTO : Portland Tipo I ASTM C-150

Peso Específico = 3.11 gr/cm³ (Cemento SOL)

DATOS DEL AGREGADO FINO: Arena gruesa

MODULO DE FINEZA	=	2.92
PESO ESPECIFICO	=	2.63 Tn/m ³
CONTENIDO DE HUMEDAD	=	1.80 %
ABSORCION	=	1.85 %
PESO SECO SUELTO	=	1473 Kg/m ³
PESO SECO COMPACTADO	=	1757 Kg/m ³

DATOS DEL AGREGADO GRUESO: Piedra chancada 3/8"

PESO ESPECIFICO	=	2.62 Tn/m ³
CONTENIDO DE HUMEDAD	=	0.73 %
ABSORCION	=	0.86 %
PESO SECO SUELTO	=	1289 Kg/m ³
PESO SECO COMPACTADO	=	1530 Kg/m ³

VALORES DE DISEÑO:

RESISTENCIA A LA COMPRESION (f' _c)	=	320 Kg/cm ²
REVENIMIENTO	=	0 a 1 pulg
TAMAÑO MAXIMO	=	3/8 pulg

AGUA DE MEZCLADO	=	226 Kg/m ³
FACTOR DE SEGURIDAD	=	85
$f_{cr} = f'_c + \text{Factor de Seguridad}$	=	405 Kg/cm ²
AIRE TOTAL (%)	=	3.00
RELACION A/C	=	0.38
CONTENIDO DE CEMENTO	=	594.7 Kg/m³ = 14.0 bls.
VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO	=	0.48 M ³
CONTENIDO DE AGREG. GRUESO	=	740.7 Kg.
PESO DEL CONCRETO	=	2345.0 Kg/m ³
CONTENIDO DE AGREG. FINO	=	783.6 Kg.

AJUSTE POR HUMEDAD:

AGREGADO GRUESO	=	746.1 Kg.
AGREGADO FINO	=	797.7 Kg.

AGUA DE MEZCLA NETA:

AGUA EN EL AGREG. GRUESO	=	2.1 Kg.
AGUA EN EL AGREG. FINO	=	-0.4 Kg.
AGUA DE MEZCLADO NETA	=	224.3 Kg.

CANTIDAD DE MATERIALES POR M³ DE CONCRETO Y PROPORCIONES

DOSIFICACION EN PESO RESULTANTE:

CEMENTO	594.7 Kg. = 14.0 Bolsas
AGREGADO GRUESO	746.1 Kg.
AGREGADO FINO	797.7 Kg.
AGUA DE MEZCLADO	224.3 Kg.

DOSIFICACION EN VOLUMEN RESULTANTE:

CEMENTO	594.7 Kg. = 14.0 bls = 0.395 M3
AGREGADO GRUESO	0.57 M3
AGREGADO FINO	0.53 M3
AGUA DE MEZCLADO	0.224 M3 = 224.3377306 Lts.

LA PROPORCIÓN SERÁ:

CEMENTO	=	1.0
AGREGADO GRUESO	=	1.4
AGREGADO FINO	=	1.3

b) Elaboración de concreto y verificación del Slump

De acuerdo con el diseño de mezcla propuesto, se procedió con la elaboración del concreto.

Figura 16

Elaboración del concreto de acuerdo con la proporción del diseño de mezcla.



Nota. Con la proporción calculada en el diseño de mezcla, se procedió con la elaboración del concreto y se verifico el slump del concreto.

Figura 17

Vaciado de concreto en los moldes para la verificación de la resistencia a la compresión



Nota. Se procedió con la preparación de probetas para la verificación de la resistencia a compresión del concreto.

Figura 18

Ensayo a compresión de las probetas de concreto



Nota. Con este ensayo a la compresión se pudo verificar la resistencia del concreto a los 28 días de edad.

c) Elaboración del adoquín del concreto del tipo II. Determinación de la cantidad de insumos por tanda para la elaboración de los adoquines de concreto:

CALCULO DE MATERIALES POR TANDA

Dimensiones del adoquín		Dosificación en peso	
LARGO	0.20 m	Cemento	=594.70 Kg
ANCHO	0.10 m	Agreg. Grueso	=746.10 Kg
ALTO	0.06 m	Agreg. Fino	=797.70 Kg
		Agua	=224.30 Lts
VOLUMEN =	0.0012 m ³	1 adoquín	
MOLDE =	10		
Volumen Total =	0.012 m ³	10 adoquines	
Factor de esponjamiento =	1.15		
Volumen de Material	0.0138		
CEMENTO =	8.20686 Kg		
PIEDRA N°4 =	10.29618 Kg		
ARENA =	11.00826 Kg		
AGUA =	3.09534 Lts		

Para la elaboración de los adoquines de concreto tipo II, utilizando residuos de roca caliza como agregado, se evaluaron distintas proporciones de mezcla con el propósito de identificar aquella que permita alcanzar las propiedades físicas y mecánicas exigidas por la NTP 399.611. La variación de proporciones responde a la necesidad de determinar el comportamiento óptimo del material frente a los parámetros normativos tales como resistencia a la compresión, absorción, desgaste y resistencia a la flexión, tal como se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 29

Cantidad de insumos en peso para la elaboración de adoquines de concreto tipo II

Insumos	Patrón	Proporción 1	Proporción 2	Proporción 3
Cemento (kg)	8.20	8.20	8.20	8.20
Agregado Grueso (kg)	10.29	9.29	8.29	7.29
Agregado Fina (kg)	11.00	12.00	13.00	14.00
Agua (lts)	3.09	3.09	3.09	3.09

Interpretación: A partir de las proporciones indicadas en la Tabla 28, se procederá a la elaboración de los adoquines de concreto tipo II con el fin de evaluar el desempeño de cada dosificación y determinar la cantidad óptima de insumos (cemento, agregado grueso, agregado fino y agua) necesaria para obtener un material que cumpla con los requisitos físicos y mecánicos establecidos por la normativa aplicable. La aplicación de estas proporciones permitirá identificar la mezcla que proporcione la mejor combinación de resistencia, durabilidad y trabajabilidad, asegurando así la conformidad del producto final con los parámetros exigidos para su uso en tránsito vehicular ligero.

Figura 19

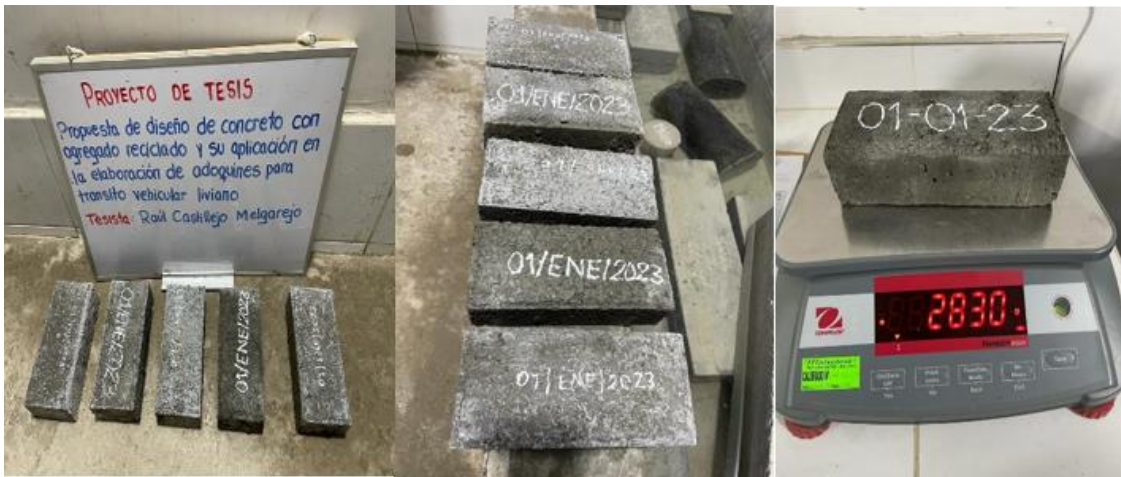
Proceso de la elaboración del adoquín de concreto tipo II



Nota. En la figura 19, se muestra la maquinaria vibrocompresión y el proceso de elaboración de los adoquines de concreto para diferentes proporciones.

Figura 20

Adoquines de concreto del tipo II



Nota. Muestra los adoquines de concreto tipo II, elaborados agregado de residuos de roca caliza.

d) Ensayo de compresión de adoquines de concreto (NTP 399.611)

El ensayo de resistencia a la compresión se realizó a las edades de 7, 14 y 28 días, con el propósito de evaluar la evolución de la resistencia mecánica del adoquín de concreto tipo II y obtener la correspondiente curva de resistencia en función del tiempo para cada una de las proporciones estudiadas. Los ensayos se realizaron conforme a los procedimientos y requisitos establecidos en la Norma Técnica Peruana NTP 399.611

Figura 21

Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines de concreto tipo II



Nota. Ensayo de resistencia a la compresión de los adoquines de concreto tipo II a diferentes edades.

e) Ensayo de absorción de adoquines de concreto (NTP 399.611)

Este ensayo se realizó a los 28 días de edad, con la finalidad de conocer el porcentaje de absorción del adoquín en sus diferentes proporciones. Cabe indicar que el presente ensayo se realizó acorde a los parámetros normalizados en norma técnica peruana NTP 339.611.

Figura 22

Ensayo de absorción de adoquines de concreto tipo II



Nota. Se observar en la figura 18, el procedimiento seguido para la determinación del porcentaje de absorción.

f) Ensayo de Resistencia al desgaste (ASTM C44-99)

Este ensayo se realizó a los 28 días de edad, con la finalidad de conocer el porcentaje de desgaste del adoquín en sus diferentes proporciones. Cabe indicar que el presente ensayo se realizó acorde a los parámetros normalizados ASTM C44-99.

Figura 23

Ensayo de resistencia al desgaste por abrasión



Nota. Proceso para determinar el porcentaje de desgaste de los adoquines de concreto.

g) Ensayo de flexión (NTP 399.613)

El ensayo de resistencia a la flexión (módulo de ruptura) se realizó a los 28 días de edad con el propósito de determinar la capacidad del adoquín de concreto tipo II para soportar esfuerzos de tracción indirecta generados por flexión. Esta propiedad mecánica es fundamental para evaluar el desempeño estructural del adoquín frente a cargas de tránsito. El procedimiento experimental se ejecutó siguiendo los métodos, requisitos y parámetros establecidos en la Norma Técnica Peruana NTP 399.613

Figura 24

Ensayo de resistencia a la flexión del adoquín de concreto tipo II



Nota. Muestra el proceso para determinar la resistencia a la flexión de los adoquines de concreto tipo II.

IV. Resultados, prueba de hipótesis y discusión

4.1. Resultados

En este capítulo se presentan y analizan los resultados obtenidos en los diferentes ensayos de laboratorio, con el propósito de responder de manera directa y objetiva a los objetivos planteados en la presente investigación. Cada uno de los resultados expuestos permite evaluar el comportamiento físico y mecánico del adoquín de concreto tipo II elaborado con residuos de roca caliza como agregado.

4.1.1. Resultado del ensayo al desgaste del agregado por abrasión los ángeles

Este ensayo se determina la resistencia al desgaste y a la degradación mecánica de los agregados gruesos mediante, la evaluación de la pérdida de masa producida por la acción combinada de impacto y abrasión en el tambor, con el fin de establecer su durabilidad y aptitud para ser utilizados en elementos sometidos a cargas repetitivas, como pavimentos, concretos y adoquines.

En la siguiente tabla se muestra el resultado obtenido del ensayo de resistencia al desgaste del agregado grueso por abrasión los ángeles:

Tabla 30

Resultado del ensayo de resistencia al desgaste del agregado grueso por abrasión los ángeles

CANTERA	BOTADERO PURHUAY-MARCARA-CARHUAZ
Muestra	RESIDUO DE ROCA CALIZA
Clasificación SUCS/AASHTO	----- , -----
Peso total de la muestra	10000.00
Graduación	"2" (12)
Peso Mat./Ret. En la Malla N°12 (g.)	6728.00
Peso Material que pasa la Malla N°12 (g.)	3272.00
Porcentaje Desgaste (%)	32.72%

Interpretación: El agregado evaluado presentó un desgaste del 32.72%, lo que evidencia una resistencia adecuada a la abrasión e impacto dentro de los rangos generalmente aceptados para agregados utilizados en la producción de concreto estructural y adoquines. El valor obtenido demuestra que el material mantiene su integridad frente a acciones mecánicas repetitivas, por lo que puede emplearse sin restricciones en elementos de concreto sometidos a cargas moderadas y desgaste superficial, como pavimentos peatonales, tránsito ligero y adoquines de concreto tipo II.

4.1.2. Resultado del diseño de mezcla $f'c=320 \text{ kg/cm}^2$

A continuación, se presenta la cantidad de insumos (cemento, agregado grueso, agregado fino y agua) a utilizarse para la elaboración del adoquín de concreto tipo II. Así mismo se presentan la dosificación en peso y volumen aplicando la metodología del ACI.

Tabla 31

Dosificación en peso del diseño mezcla por la metodología del ACI

DOSIFICACION EN PESO RESULTANTE	
Cemento	594.70 Kg. = 14.0 Bolsas
Agregado grueso	746.10 Kg.
Agregado fino	797.70 Kg.
Agua de mezclado	224.40 Kg.

Interpretación: Del diseño de mezcla $f'c=320 \text{ kg/cm}^2$, elaborado mediante la metodología del ACI, se desprende la cantidad de insumos (Cemento=594.70kg, Agregado Grueso=746.10kg, Agregado Fino=797.70 kg y agua=224.40kg) para una relación de $a/c=0.38$ para 1.00m^3 de concreto. Esta proporción será utilizada en la elaboración de los adoquines de concreto tipo II.

Tabla 32

Dosificación en volumen del diseño mezcla por la metodología del ACI

DOSIFICACION EN VOLUMEN	
Cemento	594.70 Kg. = 14.0 Bolsas = 0.395M ³
Agregado grueso	0.570 M ³
Agregado fino	0.530 M ³
Agua de mezclado	0.223 M ³

Interpretación: Del diseño de mezcla $f'c=320 \text{ kg/cm}^2$, se desprende la dosificación en volumen (cemento=0.395m³, Agregado Grueso=0.570m³, Agregado Fino=0.530 m³ y agua=224.40m³). Cabe mencionar que esta proporción en volúmenes es para 1 m³ de concreto para adoquines tipo II.

4.1.3. Resultado del ensayo a la compresión de las probetas de concreto

Este ensayo se realizó a los 7, 14 y 28 días de edad, con la finalidad de conocer la resistencia del concreto y conocer la curva de resistencia vs tiempo. El ensayo de resistencia a compresión del adoquín, se realizó acorde a los parámetros normalizados en la norma técnica peruana NTP 339.611. Para calcular el esfuerzo a la compresión, se utiliza la siguiente formula:

$$Esfuerzo = \left[\frac{P}{A} \right]$$

Donde:

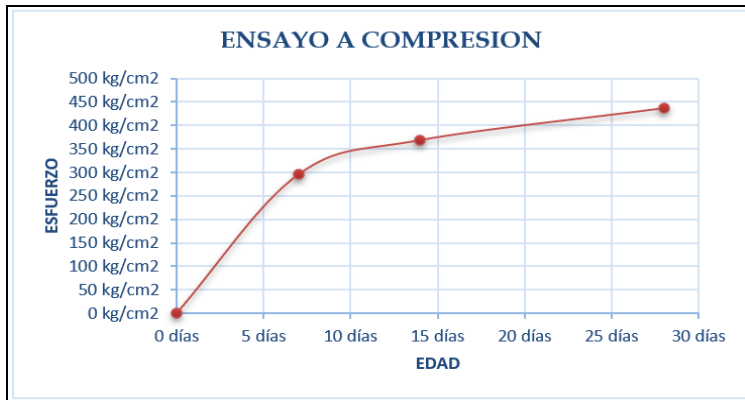
P : Carga

A : Sección del elemento

Tabla 33*Ensayo de resistencia compresión de las probetas de concreto*

BRIQUETA		DISEÑO	SLUMP	FECHA		EDAD	CARGA	ÁREA	RESISTENCIA A LA COMPRESION	
Nº	DESCRIPCION	Kg/cm ²	(")	MOLDEO	ROTURA	DIAS	(Kg)	(cm ²)	Kg/cm ²	Mpa
1				28/12/2022	04/01/2023	7	24120.00	81.70	295.23	28.95
2				28/12/2022	04/01/2023	7	24190.00	81.70	296.08	29.04
3	Muestra Patrón	320	"	28/12/2022	04/01/2023	7	24160.00	81.70	295.72	29.00
4				28/12/2022	04/01/2023	7	24120.00	81.70	295.23	28.95
5				28/12/2022	04/01/2023	7	24190.00	81.70	296.08	29.04
6				28/12/2022	11/01/2023	14	30110.25	81.70	368.55	36.14
7				28/12/2022	11/01/2023	14	30170.24	81.70	369.28	36.21
8	Muestra Patrón	320	"	28/12/2022	11/01/2023	14	30107.05	81.70	368.51	36.14
9				28/12/2022	11/01/2023	14	30110.25	81.70	368.55	36.14
10				28/12/2022	11/01/2023	14	30170.24	81.70	369.28	36.21
11				28/12/2022	25/01/2023	28	35855.36	81.70	438.87	43.04
12				28/12/2022	25/01/2023	28	35767.32	81.70	437.79	42.93
13	Muestra patrón	320	"	28/12/2022	25/01/2023	28	35475.78	81.70	434.22	42.58
14				28/12/2022	25/01/2023	28	35855.36	81.70	438.87	43.04
15				28/12/2022	25/01/2023	28	35767.32	81.70	437.79	42.93

Nota. Se presenta el resumen de los resultados del ensayo de resistencia a la compresión del concreto a diferentes edades (7, 14 y 28) días de edad. Estos valores permiten analizar, la evolución de la resistencia mecánica del concreto en función del tiempo.

Figura 25*Ensayo de resistencia a la compresión de las probetas de concreto*

Nota. Se observa que la resistencia a la compresión del concreto aumenta con la edad de curado, presentando un crecimiento rápido en los primeros días y más gradual posteriormente, alcanzando su valor máximo a los 28 días.

4.1.4. Resultado del ensayo a la compresión de adoquines de concreto tipo II

4.1.4.1. Respecto al objetivo específico 1

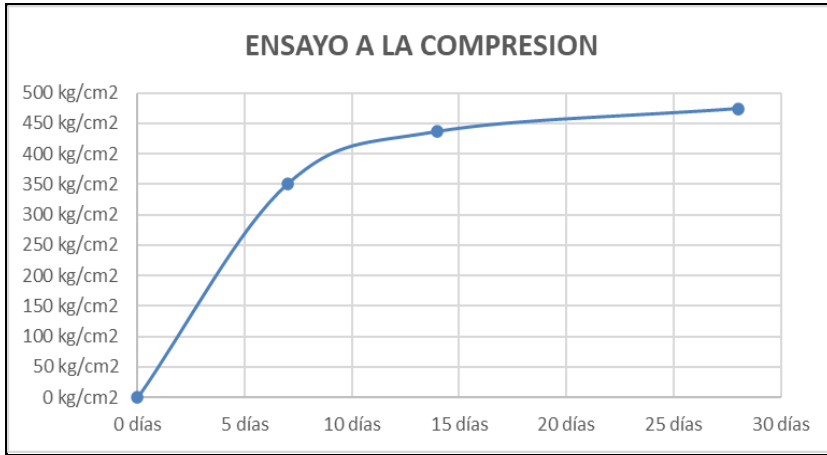
Tabla 34*Resistencia a la compresión de los adoquines de concreto del tipo II (patrón)*

Muestra N°	Descripción	Fecha		Edad Días	Carga (Kg)	Área (cm ²)	Resistencia a la Compresión	
		Moldeo	Rotura				Kg/cm ²	Mpa
01	ADOQUIN TIPO II (PATRON)	01/01/2023	08/01/2023	7	73224.36	200.00	366.12	35.90
02		01/01/2023	08/01/2023	7	73368.24	200.00	366.84	35.97
03		01/01/2023	08/01/2023	7	73126.28	200.00	365.63	35.86
04		01/01/2023	08/01/2023	7	73224.36	200.00	366.12	35.90
05		01/01/2023	08/01/2023	7	73368.24	200.00	366.84	35.97
06	ADOQUIN TIPO II (PATRON)	01/01/2023	15/01/2023	14	90642.22	200.00	453.21	44.44
07		01/01/2023	15/01/2023	14	90322.14	200.00	451.61	44.29
08		01/01/2023	15/01/2023	14	90096.26	200.00	450.48	44.18
09		01/01/2023	15/01/2023	14	90642.22	200.00	453.21	44.44
10		01/01/2023	15/01/2023	14	90322.14	200.00	451.61	44.29
11	ADOQUIN TIPO II (PATRON)	01/01/2023	29/01/2023	28	98645.23	200.00	493.23	48.37
12		01/01/2023	29/01/2023	28	98845.23	200.00	494.23	48.47
13		01/01/2023	29/01/2023	28	98945.23	200.00	494.73	48.52
14		01/01/2023	29/01/2023	28	98645.23	200.00	493.23	48.37
15		01/01/2023	29/01/2023	28	98845.23	200.00	494.23	48.47

Nota. Resumen del ensayo de resistencia a la compresión de los adoquines de concreto (patrón) a diferentes edades.

Figura 26

Ensayo de resistencia a la compresión de los adoquines de concreto tipo II



Nota. En la figura 26, se observa la resistencia promedio de los adoquines de concreto tipo II a diferentes edades.

Tabla 35

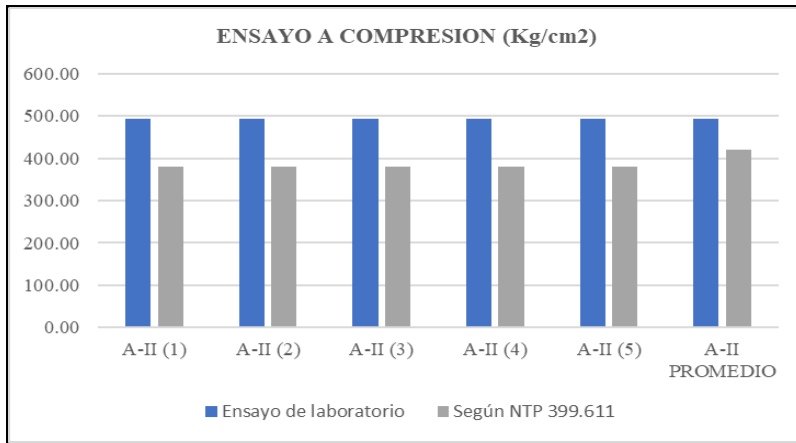
Ensayo resistencia a la compresión de los adoquines de concreto de tipo II (patrón)

ADOQUIN TIPO	ENSAYO A COMPRESION (Kg/cm2)		CONDICION
	II		
PATRON	Resultado del Ensayo	N.T.P. 399.611	
A-II (1)	493.23	380.00	Cumple
A-II (2)	494.23	380.00	Cumple
A-II (3)	494.73	380.00	Cumple
A-II (4)	493.23	380.00	Cumple
A-II (5)	494.23	380.00	Cumple
A-II PROMEDIO	493.93	420.00	Cumple

Nota. Se observa que los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión a los 28 días que son superiores a los indicado en la NTP 399.611

Figura 27

Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines de concreto del tipo II (patrón)



Nota: la variación de los resultados del ensayo individual como el promedio, tal como lo indica la NTP 399.611. Lo indica que el adoquín elaborado con el diseño de mezcla propuesto cumple con lo requerido.

Tabla 36

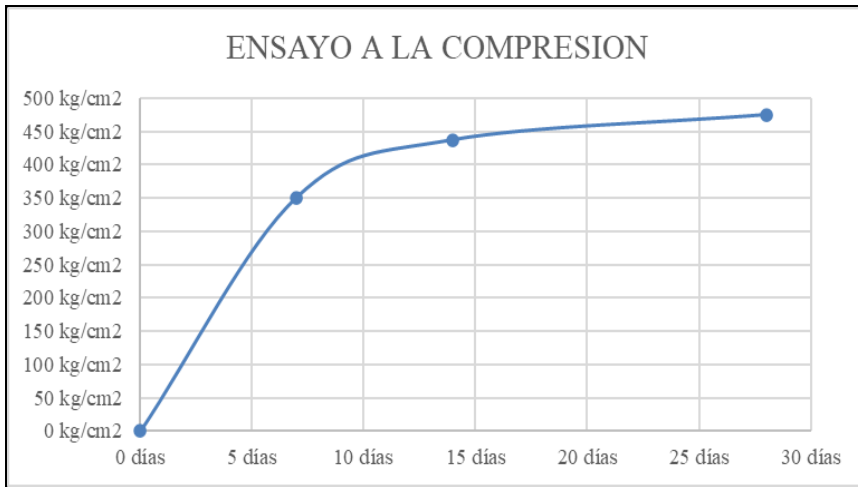
Resistencia a la compresión de los adoquines de concreto del tipo II (proporción 1)

Muestra N°	Descripción	Fecha		Edad Días	Carga (Kg)	Área (cm ²)	Resistencia a la Compresión	
		Moldeo	Rotura				Kg/cm ²	Mpa
01	ADOQUIN TIPO II (PROPORCION 1)	01/01/2023	08/01/2023	7	70128.38	200.00	350.64	34.39
02		01/01/2023	08/01/2023	7	70264.54	200.00	351.32	34.45
03		01/01/2023	08/01/2023	7	70128.32	200.00	350.64	34.39
04		01/01/2023	08/01/2023	7	70128.38	200.00	350.64	34.39
05		01/01/2023	08/01/2023	7	70264.54	200.00	351.32	34.45
06	ADOQUIN TIPO II (PROPORCION 1)	01/01/2023	15/01/2023	14	87442.22	200.00	437.21	42.88
07		01/01/2023	15/01/2023	14	87321.10	200.00	436.61	42.82
08		01/01/2023	15/01/2023	14	87438.20	200.00	437.19	42.87
09		01/01/2023	15/01/2023	14	87442.22	200.00	437.21	42.88
10		01/01/2023	15/01/2023	14	87321.10	200.00	436.61	42.82
11	ADOQUIN TIPO II (PROPORCION 1)	01/01/2023	29/01/2023	28	94882.60	200.00	474.41	46.52
12		01/01/2023	29/01/2023	28	94880.40	200.00	474.40	46.52
13		01/01/2023	29/01/2023	28	94920.36	200.00	474.60	46.54
14		01/01/2023	29/01/2023	28	94882.60	200.00	474.41	46.52
15		01/01/2023	29/01/2023	28	94880.40	200.00	474.40	46.52

Nota. Resumen del ensayo de resistencia a la compresión a diferentes edades del concreto tipo II (proporción 1).

Figura 28

Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines de concreto del tipo II (proporción 1)



Nota. Evolución de la resistencia a la compresión de los adoquines de concreto tipo II a diferentes edades.

Tabla 37

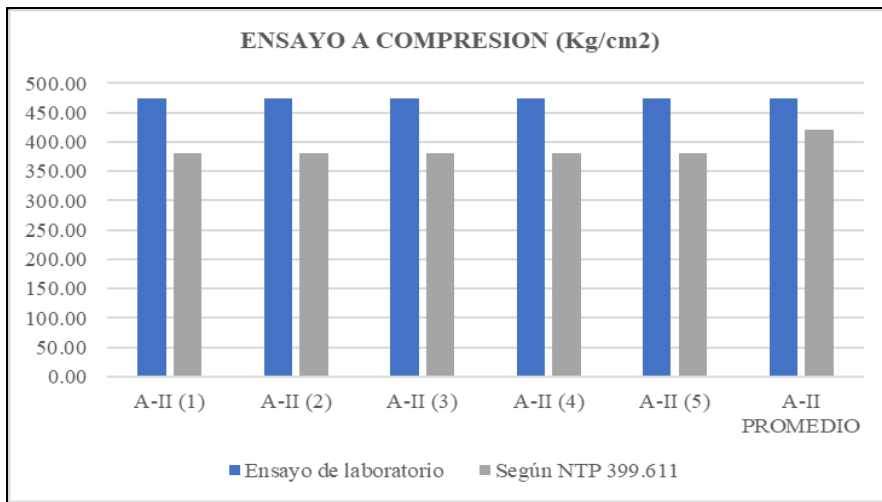
Ensayo resistencia a la compresión de los adoquines de concreto de tipo II (proporción 1).

ADOQUIN TIPO	ENSAYO A COMPRESION (Kg/cm2)		CONDICION
	Resultado del Ensayo	N.T.P. 399.611	
II			
PROPORCION 1			
A-II (1)	474.41	380.00	Cumple
A-II (2)	474.40	380.00	Cumple
A-II (3)	474.60	380.00	Cumple
A-II (4)	474.41	380.00	Cumple
A-II (5)	474.40	380.00	Cumple
A-II PROMEDIO	474.44	420.00	Cumple

Nota. Se observa que los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión a los 28 días que son superiores a los indicado en la NTP 399.611.

Figura 29

Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines de concreto del tipo II (proporción 1)



Nota. la variación de los resultados del ensayo individual y comparativo como el promedio, tal como lo indica la NTP 399.611.

Tabla 38

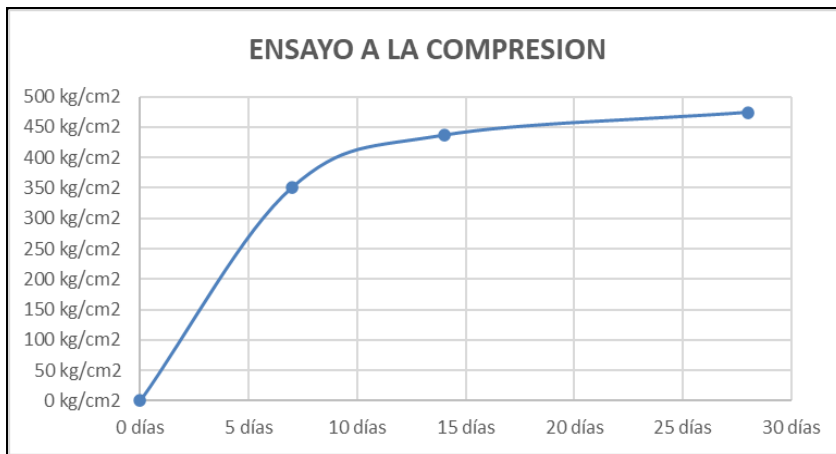
Resistencia a la compresión de los adoquines de concreto del tipo II (proporción 2) a diferentes edades

Muestra N°	Descripción	Fecha		Edad Días	Carga (Kg)	Área (cm ²)	Resistencia a la Compresión	
		Moldeo	Rotura				Kg/cm ²	Mpa
01	ADOQUIN TIPO II (PROPORCION 2)	01/01/2023	08/01/2023	7	70128.38	200.00	350.64	34.39
02		01/01/2023	08/01/2023	7	70264.54	200.00	351.32	34.45
03		01/01/2023	08/01/2023	7	70128.32	200.00	350.64	34.39
04		01/01/2023	08/01/2023	7	70128.38	200.00	350.64	34.39
05		01/01/2023	08/01/2023	7	70264.54	200.00	351.32	34.45
06	ADOQUIN TIPO II (PROPORCION 2)	01/01/2023	15/01/2023	14	87442.22	200.00	437.21	42.88
07		01/01/2023	15/01/2023	14	87321.10	200.00	436.61	42.82
08		01/01/2023	15/01/2023	14	87438.20	200.00	437.19	42.87
09		01/01/2023	15/01/2023	14	87442.22	200.00	437.21	42.88
10		01/01/2023	15/01/2023	14	87321.10	200.00	436.61	42.82
11	ADOQUIN TIPO II (PROPORCION 2)	01/01/2023	29/01/2023	28	94882.60	200.00	474.41	46.52
12		01/01/2023	29/01/2023	28	94880.40	200.00	474.40	46.52
13		01/01/2023	29/01/2023	28	94920.36	200.00	474.60	46.54
14		01/01/2023	29/01/2023	28	94882.60	200.00	474.41	46.52
15		01/01/2023	29/01/2023	28	94880.40	200.00	474.40	46.52

Nota. Resumen del ensayo de resistencia a la compresión a diferentes edades del concreto (proporción 2).

Figura 30

Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines de concreto del tipo II (proporción 2)



Nota. En la figura 30, se observa la resistencia promedio de los adoquines de concreto tipo II a diferentes edades.

Tabla 39

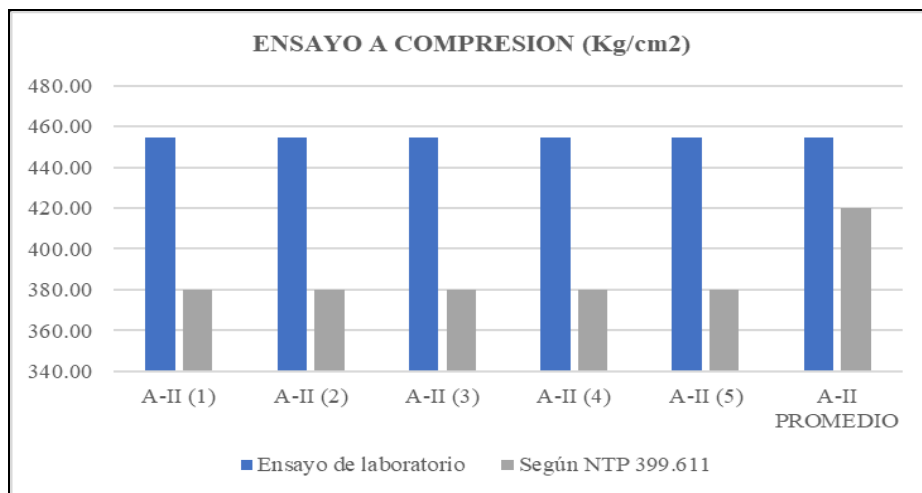
Ensayo resistencia a la compresión de los adoquines de concreto de tipo II (proporción 2).

ADOQUIN TIPO II PROPORCION 2	ENSAYO A COMPRESION (Kg/cm ²)		CONDICION
	Resultado del Ensayo	N.T.P. 399.611	
A-II (1)	454.41	380.00	Cumple
A-II (2)	454.40	380.00	Cumple
A-II (3)	454.60	380.00	Cumple
A-II (4)	454.41	380.00	Cumple
A-II (5)	454.40	380.00	Cumple
A-II PROMEDIO	454.44	420.00	Cumple

Nota. Resultados del ensayo individual y promedio, tal como lo indica la NTP 399.611.

Figura 31

Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines de concreto del tipo II (proporción 2)



Nota: la variación de los resultados del ensayo individual y comparativo como el promedio, tal como lo indica la NTP 399.611.

Tabla 40

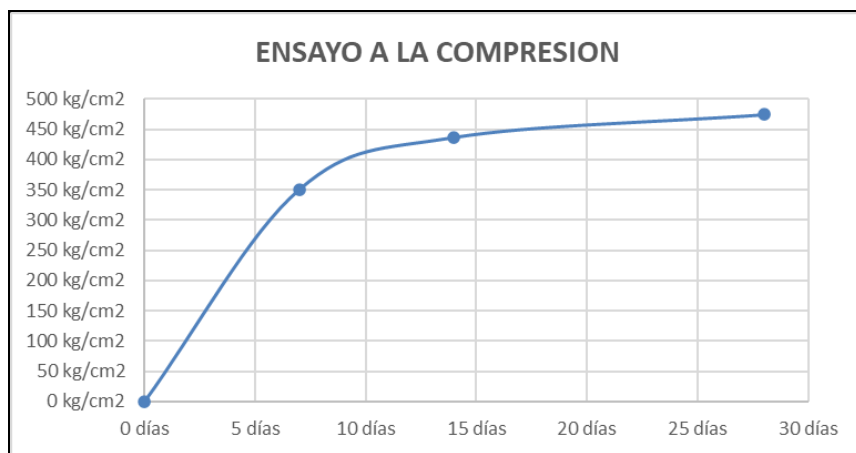
Resistencia a la compresión de los adoquines de concreto del tipo II (proporción 3)

Muestra N°	Descripción	Fecha		Edad Días	Carga (Kg)	Área (cm ²)	Resistencia a la Compresión	
		Moldeo	Rotura				Kg/cm ²	Mpa
01	ADOQUIN TIPO II (PROPORCION3)	02/11/2023	09/11/2023	7	58224.36	200.00	291.12	28.55
02		03/11/2023	10/11/2023	7	58368.24	200.00	291.84	28.62
03		04/11/2023	11/11/2023	7	58126.28	200.00	290.63	28.50
04		05/11/2023	12/11/2023	7	58224.36	200.00	291.12	28.55
05		06/11/2023	13/11/2023	7	58368.24	200.00	291.84	28.62
06		07/11/2023	14/11/2023	14	76642.22	200.00	383.21	37.58
07	ADOQUIN TIPO II (PROPORCION3)	08/11/2023	15/11/2023	14	76322.14	200.00	381.61	37.42
08		09/11/2023	16/11/2023	14	76096.26	200.00	380.48	37.31
09		10/11/2023	17/11/2023	14	76642.22	200.00	383.21	37.58
10		11/11/2023	18/11/2023	14	76322.14	200.00	381.61	37.42
11		12/11/2023	19/11/2023	28	84645.23	200.00	423.23	41.50
12	ADOQUIN TIPO II (PROPORCION3)	13/11/2023	20/11/2023	28	84645.23	200.00	423.23	41.50
13		14/11/2023	21/11/2023	28	84645.23	200.00	423.23	41.50
14		15/11/2023	22/11/2023	28	84645.23	200.00	423.23	41.50
15		16/11/2023	23/11/2023	28	84645.23	200.00	423.23	41.50

Nota. En la tabla 40 se muestra el resumen del ensayo de resistencia a la compresión a diferentes edades del concreto (proporción 3).

Figura 32

Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines de concreto del tipo II (proporción 3)



Nota. En la figura 32, se observa la resistencia promedio de los adoquines de concreto tipo II a diferentes edades.

Tabla 41

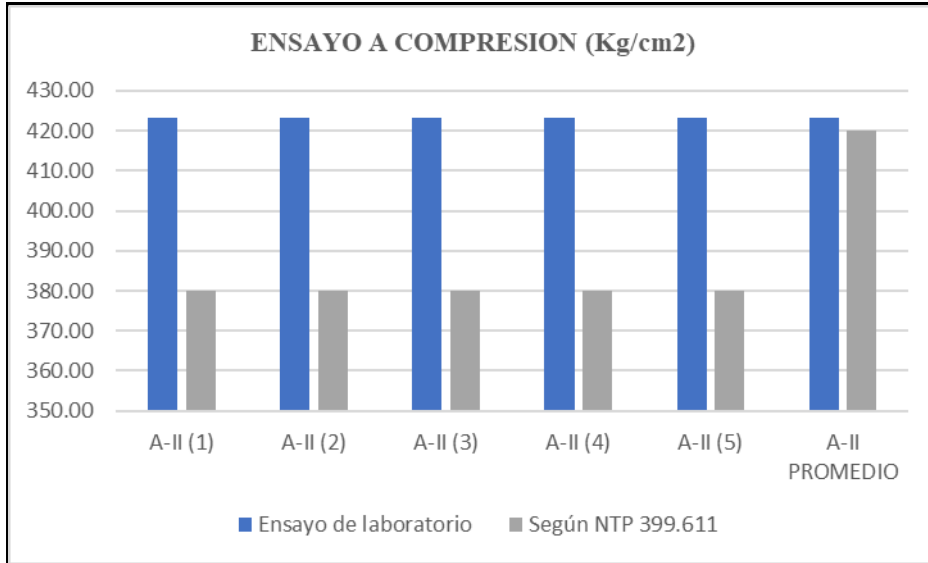
Ensayo resistencia a la compresión de los adoquines de concreto de tipo II (proporción 3).

ADOQUIN TIPO II PROPORCION 3	ENSAYO A COMPRESION (Kg/cm ²)		CONDICION
	Resultado del Ensayo	N.T.P. 399.611	
A-II (1)	423.23	380.00	Cumple
A-II (2)	423.23	380.00	Cumple
A-II (3)	423.23	380.00	Cumple
A-II (4)	423.23	380.00	Cumple
A-II (5)	423.23	380.00	Cumple
A-II PROMEDIO	423.23	420.00	Cumple

Nota: la variación de los resultados del ensayo individual como promedio, tal como lo indica la NTP 399.611.

Figura 33

Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines de concreto del tipo II (proporción 3)



Nota: la variación de los resultados del ensayo a individual comparativo con el promedio, tal como lo indica la NTP 399.611.

4.1.5. Resultado del ensayo de absorción de los adoquines de concreto tipo II

Este ensayo se realizó a los 28 días de edad, con la finalidad de conocer el porcentaje de absorción del aduqún de concreto tipo II en sus diferentes proporciones. Cabe indicar que el presente ensayo de laboratorio, se realizó acorde a los parámetros normalizados según lo indicado por la NTP 339.611.

El porcentaje de absorción se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Absorcion (\%) = \left[\frac{(W_s - W_d)}{W_d} \right] \times 100$$

Donde:

W_s : Masa saturada

W_d : Masa seca

4.1.5.1. Respecto al objetivo específico 2

Tabla 42

Ensayo de absorción de los adoquines de concreto tipo II (patrón)

MUESTRA	DESCRIPCION	MASA SATURADA (g)	MASA SUMERGIDA (g)	MASA SECA AL HORNO (g)	DENSIDAD (kg/m ³)	ABSORCION (%)
A-II (1)	ADOQUIN TIPO II PATRON	2809.00	1650.80	2680.23	2314.13	4.80%
A-II (2)	ADOQUIN TIPO II PATRON	2812.30	1652.60	2684.20	2314.56	4.77%
A-II (3)	ADOQUIN TIPO II PATRON	2812.82	1651.80	2685.20	2312.79	4.75%
A-II (4)	ADOQUIN TIPO II PATRON	2809.00	1650.80	2680.23	2314.13	4.80%
A-II (5)	ADOQUIN TIPO II PATRON	2812.30	1652.60	2684.20	2314.56	4.77%
PROMEDIO =					2314.04	4.80%

Nota. Procedimiento seguido para la determinación de la densidad y absorción de los adoquines de concreto tipo II

Tabla 43

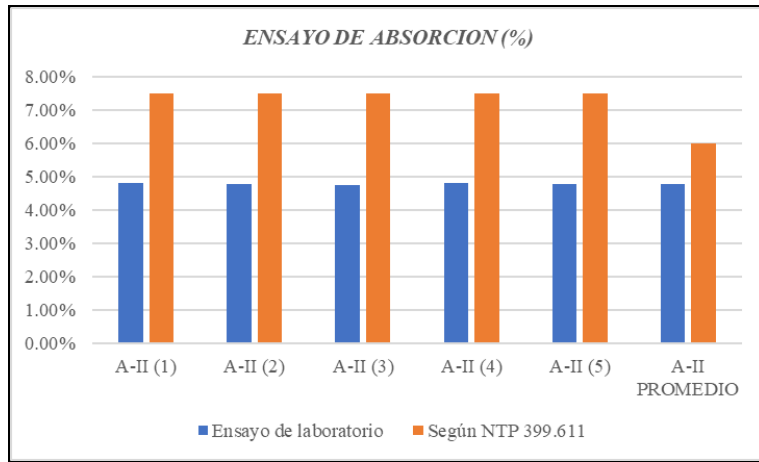
Ensayo de absorción (%) de los adoquines de concreto tipo II (patrón)

ADOQUIN TIPO II PATRON	ENSAYO DE ABSORCION		CONDICION
	Resultado del Ensayo	N.T.P. 399.611	
A-II (1)	4.80%	7.50%	Cumple
A-II (2)	4.77%	7.50%	Cumple
A-II (3)	4.75%	7.50%	Cumple
A-II (4)	4.80%	7.50%	Cumple
A-II (5)	4.77%	7.50%	Cumple
A-II PROMEDIO	4.78%	6.00%	Cumple

Nota. Los resultados del ensayo de absorción (%) obtenidos para los adoquines de concreto tipo II, se encuentran por debajo de los valores máximos permitidos por la NTP 399.611. Este comportamiento indica que el material presenta una baja capacidad de retención de agua. En consecuencia, las proporciones analizadas cumplen con los requisitos normativos de absorción exigidos para su aplicación en tránsito vehicular ligero.

Figura 34

Ensayo de absorción de los adoquines de concreto tipo II (patrón)



Nota. las barras verticales muestran la variación de los resultados obtenidos en el laboratorio con respecto a la NTP 399.611.

Tabla 44

Ensayo de absorción de los adoquines de concreto tipo II (proporción 1)

MUESTRA	DESCRIPCION	MASA SATURADA (g)	MASA SUMERGIDA (g)	MASA SECA AL HORNO (g)	DENSIDAD (kg/m ³)	ABSORCION (%)
A-II (1)	ADOQUIN TIPO II PROPORCION 1	2788.00	1620.40	2680.52	2295.75	4.01%
A-II (2)	ADOQUIN TIPO II PROPORCION 1	2785.10	1618.26	2678.06	2295.14	4.00%
A-II (3)	ADOQUIN TIPO II PROPORCION 1	2782.00	1616.80	2674.00	2294.88	4.04%
A-II (4)	ADOQUIN TIPO II PROPORCION 1	2782.00	1616.80	2674.00	2294.88	4.04%
A-II (5)	ADOQUIN TIPO II PROPORCION 1	2782.00	1616.80	2674.00	2294.88	4.04%
PROMEDIO =					2295.11	4.00%

Nota. Resultados de los ensayos de densidad y absorción de los adoquines de concreto a los 28 días de edad.

Tabla 45

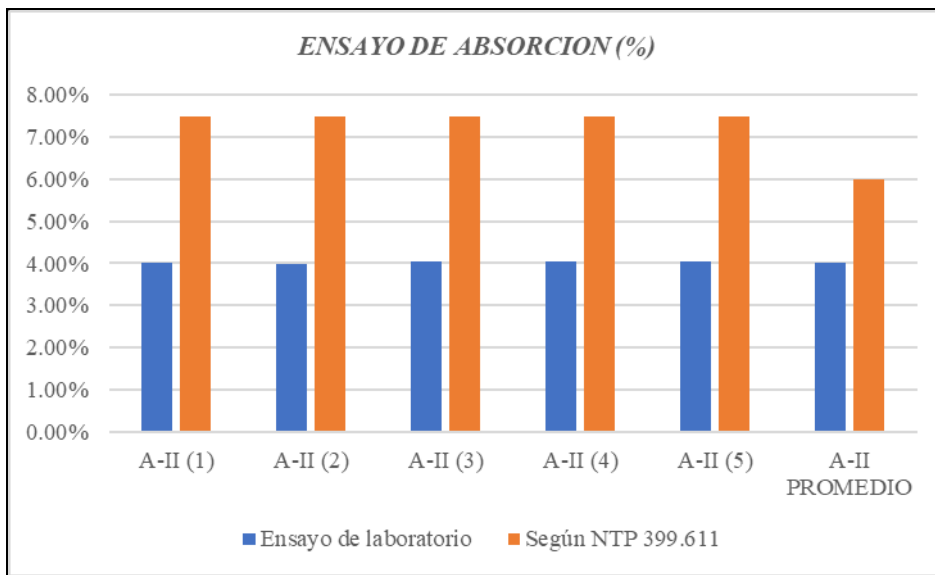
Ensayo de absorción de los adoquines de concreto tipo II (proporción 1)

<i>ADOQUIN TIPO II</i>	<i>ENSAYO DE ABSORCION</i>		<i>CONDICION</i>	
	<i>PROPORCION 1</i>	<i>Resultado del Ensayo</i>		<i>N.T.P. 399.611</i>
<i>A-II (1)</i>		4.01%	7.50%	<i>Cumple</i>
<i>A-II (2)</i>		4.00%	7.50%	<i>Cumple</i>
<i>A-II (3)</i>		4.04%	7.50%	<i>Cumple</i>
<i>A-II (4)</i>		4.04%	7.50%	<i>Cumple</i>
<i>A-II (5)</i>		4.04%	7.50%	<i>Cumple</i>
<i>A-II PROMEDIO</i>		4.02%	6.00%	<i>Cumple</i>

Nota. Se observa que los resultados de los ensayos son superiores a los indicado en la NTP 399.611

Figura 35

Ensayo de absorción de los adoquines de concreto tipo II (proporción 1)



Nota. Muestra la variación de los resultados obtenidos en el laboratorio con respecto a la NTP 399.611.

Tabla 46*Ensayo de absorción de los adoquines de concreto tipo II (proporción 2)*

<i>MUESTRA</i>	<i>DESCRIPCION</i>	<i>MASA SATURADA (g)</i>	<i>MASA SUMERGIDA (g)</i>	<i>MASA SECA AL HORNO (g)</i>	<i>DENSIDAD (kg/m³)</i>	<i>ABSORCION (%)</i>
<i>A-II (1)</i>	<i>ADOQUIN TIPO II PROPORCION 2</i>	2718.00	1480.26	2624.28	2120.22	3.57%
<i>A-II (2)</i>	<i>ADOQUIN TIPO II PROPORCION 2</i>	2714.10	1476.40	2620.00	2116.83	3.59%
<i>A-II (3)</i>	<i>ADOQUIN TIPO II PROPORCION 2</i>	2716.25	1476.20	2623.00	2115.24	3.56%
<i>A-II (4)</i>	<i>ADOQUIN TIPO II PROPORCION 2</i>	2718.00	1480.26	2624.28	2120.22	3.57%
<i>A-II (5)</i>	<i>ADOQUIN TIPO II PROPORCION 2</i>	2714.10	1476.40	2620.00	2116.83	3.59%
<i>PROMEDIO =</i>					2117.87	3.60%

Nota. Muestra los resultados de los ensayos de absorción de los adoquines de concreto a los 28 días de edad.

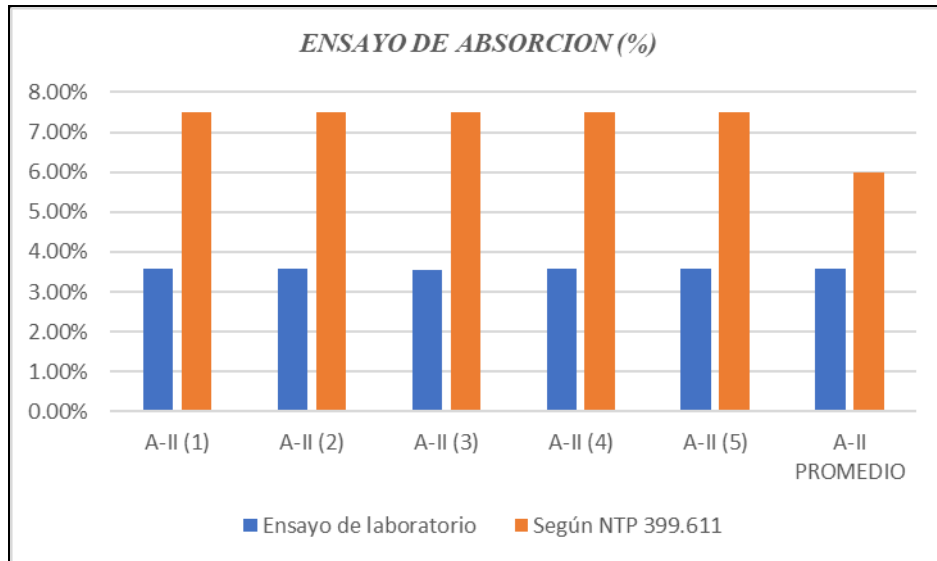
Tabla 47*Ensayo de absorción de los adoquines de concreto tipo II (proporción 2)*

<i>ADOQUIN TIPO II PROPORCION 2</i>	<i>ENSAYO DE ABSORCION</i>		<i>CONDICION</i>
	<i>Resultado del Ensayo</i>	<i>N.T.P. 399.611</i>	
<i>A-II (1)</i>	3.57%	7.50%	<i>Cumple</i>
<i>A-II (2)</i>	3.59%	7.50%	<i>Cumple</i>
<i>A-II (3)</i>	3.56%	7.50%	<i>Cumple</i>
<i>A-II (4)</i>	3.57%	7.50%	<i>Cumple</i>
<i>A-II (5)</i>	3.59%	7.50%	<i>Cumple</i>
<i>A-II PROMEDIO</i>	3.58%	6.00%	<i>Cumple</i>

Nota. Se observa que los resultados de los ensayos son superiores a los indicado en la NTP 399.611

Figura 36

Ensayo de absorción de los adoquines de concreto tipo II (proporción 2)



Nota. Muestra la variación de los resultados obtenidos en el laboratorio con respecto a la NTP 399.611.

Tabla 48

Ensayo de absorción de los adoquines de concreto tipo II (proporción 3)

MUESTRA	DESCRIPCION	MASA SATURADA (g)	MASA SUMERGIDA (g)	MASA SECA AL HORNO (g)	DENSIDAD (kg/m ³)	ABSORCION (%)
A-II (1)	ADOQUIN TIPO II PROPORCION 3	2680.40	1426.40	2592.80	2067.62	3.38%
A-II (2)	ADOQUIN TIPO II PROPORCION 3	2681.20	1430.10	2594.20	2073.54	3.35%
A-II (3)	ADOQUIN TIPO II PROPORCION 3	2680.22	1426.00	2594.30	2068.46	3.31%
A-II (4)	ADOQUIN TIPO II PROPORCION 3	2680.40	1426.40	2592.80	2067.62	3.38%
A-II (5)	ADOQUIN TIPO II PROPORCION 3	2681.20	1430.10	2594.20	2073.54	3.35%
PROMEDIO =					2070.16	3.40%

Nota. Muestra los resultados de los ensayos de absorción de los adoquines de concreto a los 28 días de edad.

Tabla 49

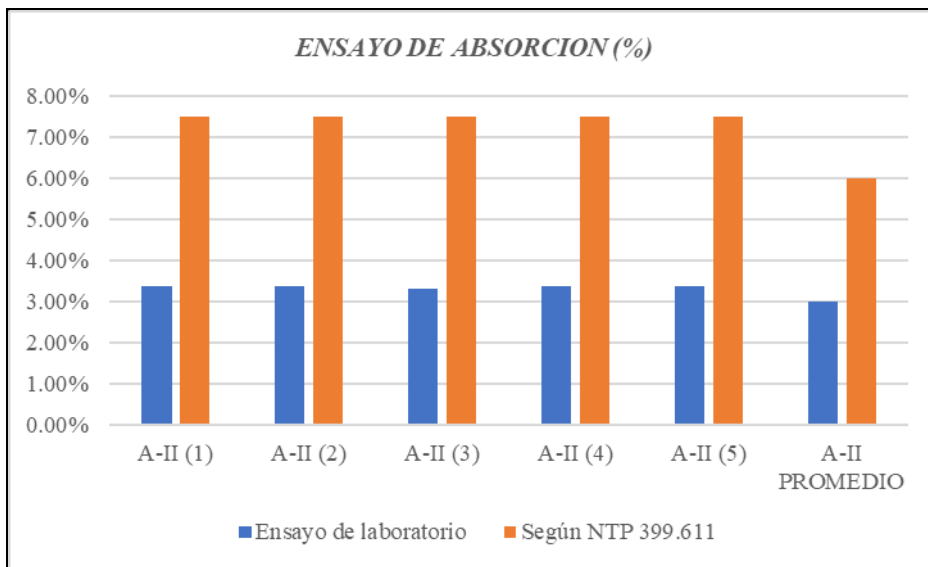
Ensayo de absorción de los adoquines de concreto tipo II (proporción 3)

ADOQUIN TIPO II PROPORCION3	ENSAYO DE ABSORCION		CONDICION
	Resultado del Ensayo	N.T.P. 399.611	
A-II (1)	3.38%	7.50%	Cumple
A-II (2)	3.35%	7.50%	Cumple
A-II (3)	3.31%	7.50%	Cumple
A-II (4)	3.38%	7.50%	Cumple
A-II (5)	3.35%	7.50%	Cumple
A-II PROMEDIO	3.00%	6.00%	Cumple

Nota. Se observa que los resultados de los ensayos son superiores a los indicado en la NTP 399.611.

Figura 37

Ensayo de absorción de los adoquines de concreto tipo II (proporción 3)



Nota. Muestra la variación de los resultados obtenidos en el laboratorio con respecto a la NTP 399.611.

4.1.6. Resultado del ensayo de resistencia al desgaste

El ensayo de resistencia al desgaste se realizó conforme a lo estipulado en la norma ASTM C944 – 99, el cual se utilizó un cortador giratorio realizando 3 ciclos de 2 minutos con una carga 94N en tres posiciones representativas del espécimen en análisis.

Para la determinación del porcentaje de desgaste se utiliza la siguiente formula.

$$Desgaste (\%) = \left[\frac{(M_i - M_f)}{M_i} \right] \times 100$$

Donde:

M_i : Masa inicial

M_f : Masa final

4.1.6.1. Respecto al objetivo específico 3

Tabla 50

Ensayo de desgaste de los adoquines de concreto tipo II (patrón)

Muestra	Descripción	Fecha Ensayo	Edad (días)	Tiempo Abrasión (Minutos)	ciclo	Carga (N)	Masa	Masa	Desgaste (g)	Desgaste (%)
							Inicial (g)	Final (g)		
M-1	ADOQUIN TIPO II PATRON	09/06/2025	28	2	3	98	2680.00	2676.18	3.82	0.14%
M-2		09/06/2025	28	2	3	98	2720.00	2715.31	4.69	0.17%
M-3		09/06/2025	28	2	3	98	2696.00	2692.02	3.98	0.15%
M-4		09/06/2025	28	2	3	98	2680.00	2676.18	3.82	0.14%
M-5		09/06/2025	28	2	3	98	2720.00	2715.31	4.69	0.17%

Nota. Muestra el resultado del ensayo de desgaste de los adoquines de concreto tipo II a los 28 días de edad.

Tabla 51

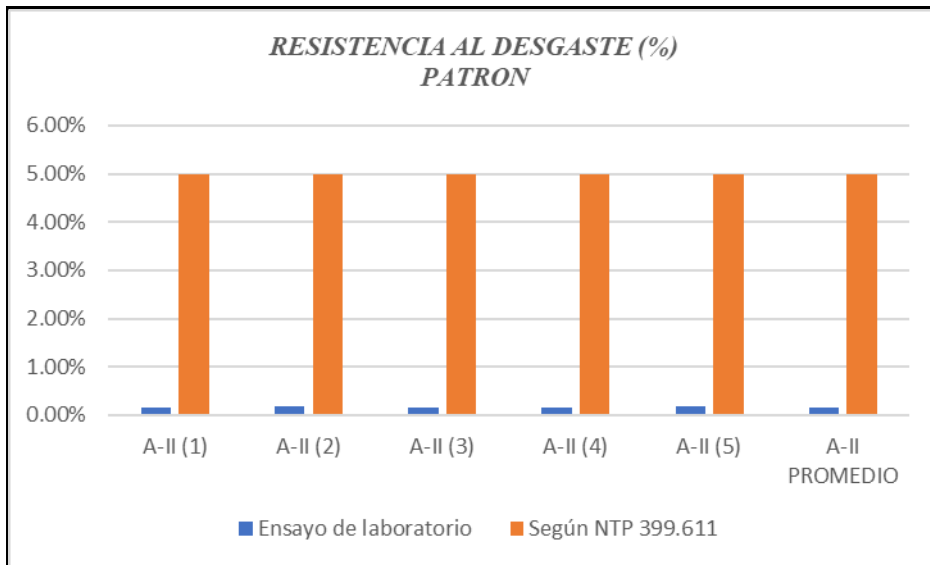
Ensayo de resistencia al desgaste (%) de los adoquines de concreto tipo II (patrón)

ADOQUIN TIPO	RESISTENCIA A LA ABRASION (%)		CONDICION
	II		
PATRON	Resultado del Ensayo	N.T.P. 399.611	
A-II (1)	0.14%	5.00%	Cumple
A-II (2)	0.17%	5.00%	Cumple
A-II (3)	0.15%	5.00%	Cumple
A-II (4)	0.14%	5.00%	Cumple
A-II (5)	0.17%	5.00%	Cumple
A-II PROMEDIO	0.16%	5.00%	Cumple

Nota. Se observa que los resultados de los ensayos son superiores a los indicado en la NTP 399.611

Figura 38

Resistencia al desgaste (%) de adoquines de concreto tipo II (Patrón)



Nota. Variación de los resultados de los ensayos de laboratorio con lo indicado en la NTP 399.611

Tabla 52*Ensayo de desgaste de los adoquines de concreto tipo II (proporción 1)*

Muestra	Descripción	Fecha Ensayo	Edad (días)	Tiempo		Carga (N)	Masa	Masa	Desgaste (g)	Desgaste (%)
				Abrasión (Minutos)	ciclo		Inicial (g)	Final (g)		
M-1	ADOQUIN TIPO II PROPORCION 1	09/06/2025	28	2	3	98	2689.00	2684.90	4.10	0.15%
M-2		09/06/2025	28	2	3	98	2680.00	2675.70	4.30	0.16%
M-3		09/06/2025	28	2	3	98	2660.00	2655.70	4.30	0.16%
M-4		09/06/2025	28	2	3	98	2689.00	2684.90	4.10	0.15%
M-5		09/06/2025	28	2	3	98	2680.00	2675.70	4.30	0.16%

Nota. Muestra el resultado del ensayo de desgaste de los adoquines de concreto tipo II a los 28 días de edad.

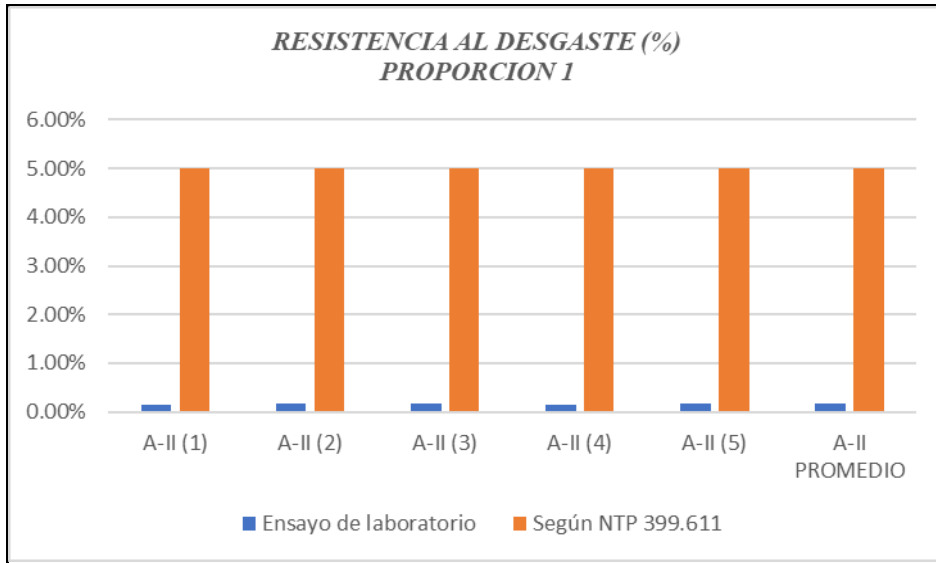
Tabla 53*Ensayo de desgaste de los adoquines de concreto tipo II (proporción 1)*

ADOQUIN TIPO	RESISTENCIA A LA ABRASION (%)		CONDICION
II PROPORCION 1	Resultado del Ensayo	N.T.P. 399.611	
A-II (1)	0.15%	5.00%	Cumple
A-II (2)	0.16%	5.00%	Cumple
A-II (3)	0.16%	5.00%	Cumple
A-II (4)	0.15%	5.00%	Cumple
A-II (5)	0.16%	5.00%	Cumple
A-II PROMEDIO	0.16%	5.00%	Cumple

Nota. Se observa que los resultados de los ensayos son superiores a los indicado en la NTP 399.611

Figura 39

Resistencia al desgaste (%) de adoquines de concreto tipo II (proporción 1)



Nota. Variación de los resultados de los ensayos de laboratorio y el promedio con lo indicado en la NTP 399.611

Tabla 54

Ensayo de desgaste de los adoquines de concreto tipo II (proporción 2)

Muestra	Descripción	Fecha Ensayo	Edad (días)	Tiempo		Carga (N)	Masa	Masa	Desgaste (g)	Desgaste (%)
				Abrasión (Minutos)	ciclo		Inicial (g)	Final (g)		
M-1	ADOQUIN TIPO II PROPORCION 2	09/06/2025	28	2	3	98	2680.00	2674.50	5.50	0.21%
M-2		09/06/2025	28	2	3	98	2686.00	2680.60	5.40	0.20%
M-3		09/06/2025	28	2	3	98	2684.00	2678.70	5.30	0.20%
M-4		09/06/2025	28	2	3	98	2680.00	2674.50	5.50	0.21%
M-5		09/06/2025	28	2	3	98	2686.00	2680.60	5.40	0.20%

Nota. Muestra el resultado del ensayo de desgaste de los adoquines de concreto tipo II a los 28 días de edad.

Tabla 55

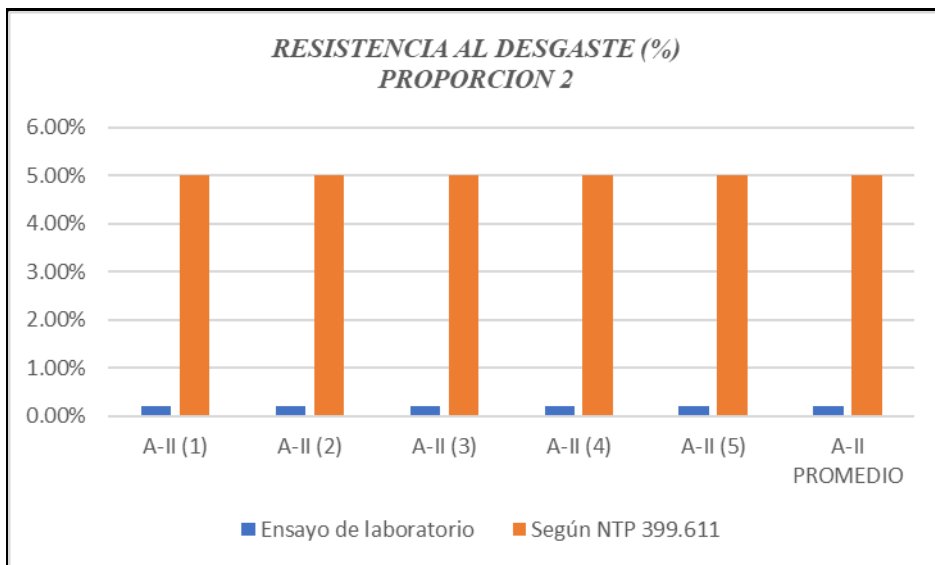
Ensayo de desgaste de los adoquines de concreto tipo II (proporción 2)

ADOQUIN TIPO	RESISTENCIA A LA ABRASION (%)		CONDICION
	Resultado del Ensayo	N.T.P. 399.611	
II			
PROPORCION 2			
A-II (1)	0.21%	5.00%	Cumple
A-II (2)	0.20%	5.00%	Cumple
A-II (3)	0.20%	5.00%	Cumple
A-II (4)	0.21%	5.00%	Cumple
A-II (5)	0.20%	5.00%	Cumple
A-II PROMEDIO	0.20%	5.00%	Cumple

Nota. Se observa que los resultados de los ensayos son superiores a los indicado en la NTP 399.611

Figura 40

Resistencia al desgaste de adoquines de concreto tipo II (proporción 2)



Nota. Variación de los ensayos de laboratorio y promedio tal con lo indicado en la NTP 399.611

Tabla 56*Ensayo de desgaste de los adoquines de concreto tipo II (proporción 3)*

Muestra	Descripción	Fecha Ensayo	Edad (días)	Tiempo Abrasión (Minutos)	ciclo	Carga (N)	Masa	Masa	Desgaste (g)	Desgaste (%)
							Inicial (g)	Final (g)		
M-1	ADOQUIN TIPO II PROPORCION 3	09/06/2025	28	2	3	98	2580.11	2572.83	7.28	0.28%
M-2		09/06/2025	28	2	3	98	2581.09	2573.77	7.32	0.28%
M-3		09/06/2025	28	2	3	98	2582.11	2574.79	7.32	0.28%
M-4		09/06/2025	28	2	3	98	2580.11	2572.83	7.28	0.28%
M-5		09/06/2025	28	2	3	98	2581.09	2573.77	7.32	0.28%

Nota. Muestra el resultado del ensayo de desgaste de los adoquines de concreto tipo II a los 28 días de edad.

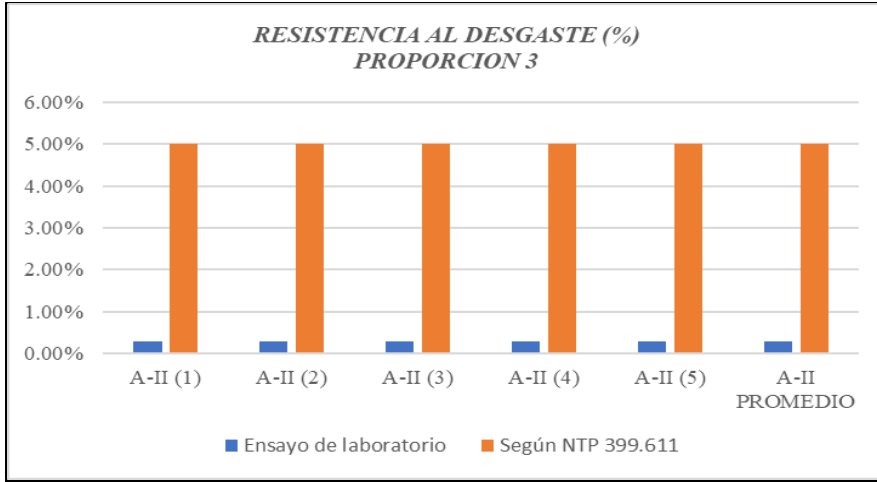
Tabla 57*Ensayo de desgaste de los adoquines de concreto tipo II (proporción 3)*

ADOQUIN TIPO II RESISTENCIA A LA ABRASION (%)			
II	CONDICION		
PROPORCION 3	Resultado del Ensayo	N.T.P. 399.611	
A-II (1)	0.28%	5.00%	Cumple
A-II (2)	0.28%	5.00%	Cumple
A-II (3)	0.28%	5.00%	Cumple
A-II (4)	0.28%	5.00%	Cumple
A-II (5)	0.28%	5.00%	Cumple
A-II PROMEDIO	0.28%	5.00%	Cumple

Nota. Se observa que los resultados de los ensayos son superiores a los indicado en la NTP 399.611.

Figura 41

Resistencia a la abrasión de adoquines de concreto tipo II (proporción 3)



Nota. Variación de los resultados de los ensayos de laboratorio y comparativo con el promedio tal con lo indicado en la NTP 399.611

Usando residuos de roca caliza como agregado es factible la elaboración del adoquín para el uso en el tránsito vehicular ligero debido a los resultados al desgaste obtenidos en los ensayos realizados en laboratorio.

4.1.7. Resultado del ensayo de resistencia a la flexión

4.1.6.1. Respecto al objetivo específico 4

Tabla 58

Ensayo de resistencia a la flexión de los adoquines de concreto tipo II (patrón)

Muestra N°	Descripción	Fecha		Edad	Dimensiones			Carga	Módulo de Ruptura	
		Moldeo	Rotura	Días	H (cm)	B (mm)	L(cm)	Kg	Kg/cm ²	Mpa
M-1	ADOQUIN TIPO II (PATRON)	01/01/2023	29/01/2023	28	6.00	10.00	18.00	633.27	47.50	4.66
M-2		01/01/2023	29/01/2023	28	6.00	10.00	18.00	632.60	47.45	4.65
M-3		01/01/2023	29/01/2023	28	6.00	10.00	18.00	635.27	47.65	4.67
M-4		01/01/2023	29/01/2023	28	6.00	10.00	18.00	633.27	47.50	4.66
M-5		01/01/2023	29/01/2023	28	6.00	10.00	18.00	632.60	47.45	4.65

Nota. Muestra los resultados del ensayo a flexión a los 28 de edad

Tabla 59*Ensayo de resistencia a la flexión de adoquines de concreto tipo II (patrón)*

ADOQUIN TIPO II	ENSAYO A LA FLEXION (Kg/cm²)		CONDICION	
	PATRON	Resultado del Ensayo		N.T.P. 399.611
	A-II (1)	47.50	37.50	Cumple
	A-II (2)	47.45	37.50	Cumple
	A-II (3)	47.65	37.50	Cumple
	A-II (4)	47.50	38.50	Cumple
	A-II (5)	47.45	39.50	Cumple
	A-II PROMEDIO	47.51	42.00	Cumple

Nota. Muestra los resultados del ensayo a flexión a los 28 de edad

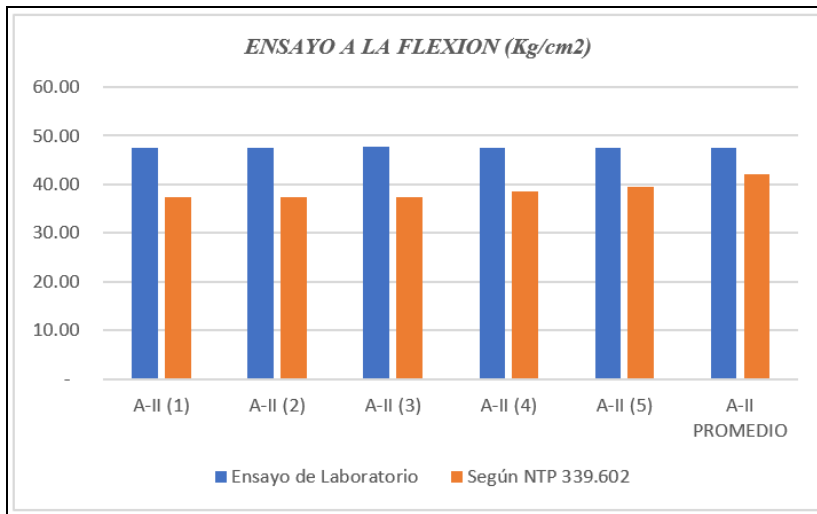
Figura 42*Resistencia a la flexión de adoquines de concreto tipo II (patrón)*

Tabla 60*Ensayo de resistencia a la flexión de los adoquines de concreto tipo II (proporción 1)*

Muestra N°	Descripción	Fecha		Edad	Dimensiones			Carga	Módulo de Ruptura	
		Moldeo	Rotura	Días	H (cm)	B (mm)	L(cm)	Kg	Kg/cm ²	Mpa
M-1	ADOQUIN TIPO II (PROPORCION 1)	01/01/2023	29/01/2023	28	6.00	10.00	18.00	617.30	46.30	4.54
M-2		01/01/2023	29/01/2023	28	6.00	10.00	18.00	616.70	46.25	4.54
M-3		01/01/2023	29/01/2023	28	6.00	10.00	18.00	618.70	46.40	4.55
M-4		01/01/2023	29/01/2023	28	6.00	10.00	18.00	617.30	46.30	4.54
M-5		01/01/2023	29/01/2023	28	6.00	10.00	18.00	616.70	46.25	4.54

Tabla 61*Ensayo de resistencia a la flexión de los adoquines de concreto tipo II (proporción 1)*

ADOQUIN TIPO II PROPORCION 1	ENSAYO A LA FLEXION (Kg/cm ²)		CONDICION
	Resultado del Ensayo	N.T.P. 399.611	
A-II (1)	46.30	37.50	Cumple
A-II (2)	46.25	37.50	Cumple
A-II (3)	46.40	37.50	Cumple
A-II (4)	46.30	38.50	Cumple
A-II (5)	46.25	39.50	Cumple
A-II PROMEDIO	46.30	42.00	Cumple

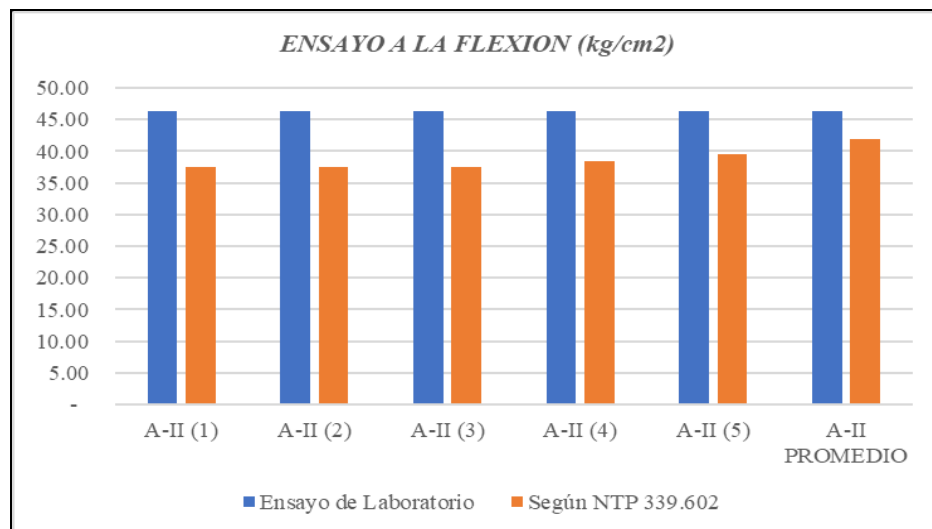
Figura 43*Resistencia a la flexión de adoquines de concreto tipo II (proporción 1)*

Tabla 62*Ensayo de resistencia a la flexión de los adoquines de concreto tipo II (proporción 2)*

Muestra N°	Descripción	Fecha		Edad Días	Dimensiones			Carga Kg	Módulo de Ruptura	
		Moldeo	Rotura		H (cm)	B (mm)	L(cm)		Kg/cm ²	Mpa
M-1	ADOQUIN TIPO II (PROPORCION 2)	01/01/2023	29/01/2023	28	6.00	10.00	18.00	602.60	45.20	4.43
M-2		01/01/2023	29/01/2023	28	6.00	10.00	18.00	602.00	45.15	4.43
M-3		01/01/2023	29/01/2023	28	6.00	10.00	18.00	603.28	45.25	4.44
M-4		01/01/2023	29/01/2023	28	6.00	10.00	18.00	602.60	45.20	4.43
M-5		01/01/2023	29/01/2023	28	6.00	10.00	18.00	602.00	45.15	4.43

Tabla 63*Ensayo de resistencia a la flexión de los adoquines de concreto tipo II (proporción 2)*

ADOQUIN TIPO II PROPORCION 2	ENSAYO A LA FLEXION (Kg/cm2)		CONDICION
	Resultado del Ensayo	N.T.P. 399.611	
A-II (1)	45.20	37.50	Cumple
A-II (2)	45.15	37.50	Cumple
A-II (3)	45.25	37.50	Cumple
A-II (4)	45.20	37.50	Cumple
A-II (5)	45.15	37.50	Cumple
A-II PROMEDIO	45.19	42.00	Cumple

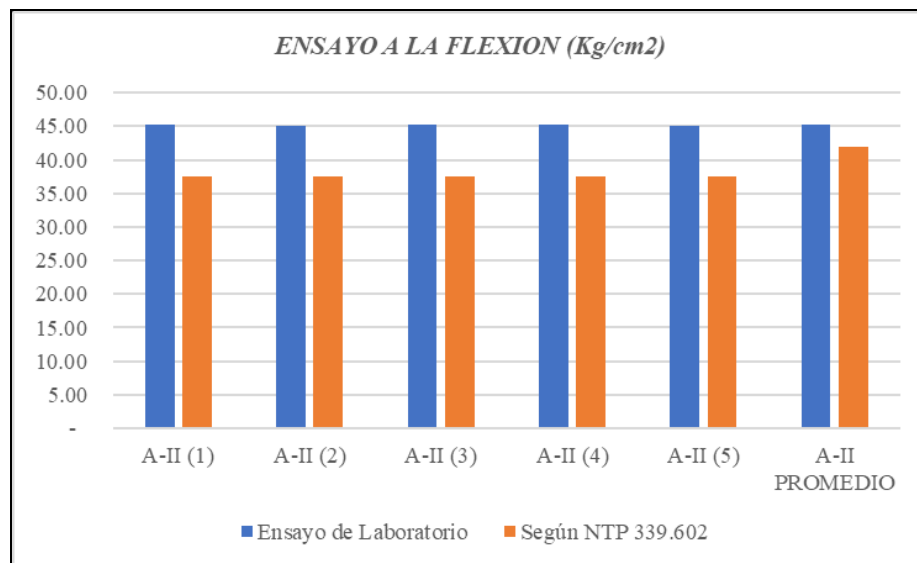
Figura 44*Resistencia a la flexión de adoquines de concreto tipo II (proporción 2)*

Tabla 64*Ensayo de resistencia a la flexión de los adoquines de concreto tipo II (proporción 3)*

Muestra N°	Descripción	Fecha		Edad	Dimensiones			Carga	Módulo de Ruptura	
		Moldeo	Rotura	Días	H (cm)	B (mm)	L(cm)	Kg	Kg/cm ²	Mpa
M-1	ADOQUIN TIPO II (PROPORCION 3)	01/01/2023	29/01/2023	28	6.00	10.00	18.00	589.10	44.18	4.33
M-2		01/01/2023	29/01/2023	28	6.00	10.00	18.00	589.20	44.19	4.34
M-3		01/01/2023	29/01/2023	28	6.00	10.00	18.00	589.30	44.20	4.34
M-4		01/01/2023	29/01/2023	28	6.00	10.00	18.00	589.10	44.18	4.33
M-5		01/01/2023	29/01/2023	28	6.00	10.00	18.00	589.20	44.19	4.34

Tabla 65*Ensayo de resistencia a la flexión de los adoquines de concreto tipo II (proporción 3)*

ADOQUIN TIPO II PROPORCION 3	ENSAYO A LA FLEXION (Kg/cm2)		CONDICION
	Resultado del Ensayo	N.T.P. 399.611	
A-II (1)	44.18	37.50	Cumple
A-II (2)	44.19	37.50	Cumple
A-II (3)	44.20	37.50	Cumple
A-II (4)	44.18	37.50	Cumple
A-II (5)	44.19	37.50	Cumple
A-II PROMEDIO	44.19	42.00	Cumple

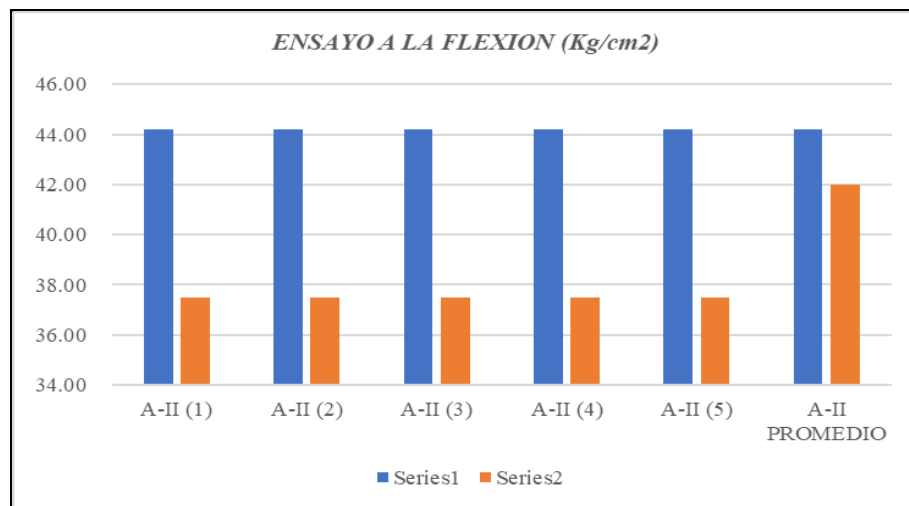
Figura 45*Resistencia a la flexión de adoquines de concreto tipo II (proporción 3)*

Tabla 66*Resultado de los ensayos de los adoquines de concreto tipo II*

Descripción	Ensayo a la Compresión (Kg/cm ²)	Ensayo de Absorción (%)	Resistencia al desgaste (%)	Ensayo a la Flexión (Kg/cm ²)
Patrón	493.23	4.80	0.14	47.50
	494.23	4.77	0.17	47.45
	494.73	4.75	0.15	47.65
	493.23	4.80	0.14	47.50
	494.23	4.77	0.17	47.45
Proporción 1	474.41	4.01	0.15	46.30
	474.40	4.00	0.16	46.25
	474.60	4.04	0.16	46.40
	474.41	4.04	0.15	46.30
	474.40	4.04	0.16	46.25
Proporción 2	454.41	3.57	0.21	45.20
	454.40	3.59	0.20	45.15
	454.60	3.56	0.20	45.25
	454.41	3.57	0.21	45.20
	454.40	3.59	0.20	45.15
Proporción 3	423.23	3.38	0.28	44.18
	423.23	3.35	0.28	44.19
	423.23	3.31	0.28	44.20
	423.23	3.38	0.28	44.18
	423.23	3.35	0.28	44.19

Nota. Se detallan los resultados de los diferentes ensayos de laboratorio a los 28 días de edad

4.2. Prueba de hipótesis

4.2.1. Prueba hipótesis general

Para la contrastación de la hipótesis, se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) para probar si las medias de varios grupos son iguales. El proceso de contraste o contratación de la hipótesis sigue una metodología formal y bien definida.

1. Formulación de la hipótesis

Hipótesis nula (H_0): Afirma que no hay diferencia en las medias de los grupos que se comparan: $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$

Hipótesis alterna (H_a): Afirma que al menos una de las medias es diferente de los grupos que se comparan: $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4$

Nivel de significancia o nivel de confianza

95% confianza

5% nivel de significancia

2. Análisis estadístico ANOVA

El ANOVA (Análisis de Varianza) es una técnica estadística utilizada para comparar las medias de dos o más grupos y determinar si existen diferencias significativas entre ellos.

Tabla 67*Prueba de homogeneidad de varianzas*

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Ensayo de compresión	Se basa en la media	28.390	3.000	16.000	0.000
	Se basa en la mediana	2.184	3.000	16.000	0.130
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	2.184	3.000	4.221	0.226
	Se basa en la media recortada	23.591	3.000	16.000	0.000
Ensayo de absorción	Se basa en la media	0.755	3.000	16.000	0.535
	Se basa en la mediana	0.327	3.000	16.000	0.806
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0.327	3.000	13.628	0.806
	Se basa en la media recortada	0.792	3.000	16.000	0.516
Ensayo de desgaste	Se basa en la media	20.406	3.000	16.000	0.000
	Se basa en la mediana	3.897	3.000	16.000	0.029
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	3.897	3.000	10.090	0.044
	Se basa en la media recortada	19.438	3.000	16.000	0.000
Ensayo de flexión	Se basa en la media	1.690	3.000	16.000	0.209
	Se basa en la mediana	1.133	3.000	16.000	0.366
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	1.133	3.000	8.918	0.387
	Se basa en la media recortada	1.454	3.000	16.000	0.265

Nota. Procedimiento estadístico utilizado para evaluar si la varianza es constante o igual en dos grupos o poblaciones

Tabla 68*Análisis estadístico Anova*

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
	Entre grupos	13603.471	3	4534.49	35201.572	0.000
Ensayo Compresión	Dentro de grupos	2.061	16	0.129		
	Total	13605.533	19			
	Entre grupos	5.927	3	1.976	4248.613	0.000
Ensayo Absorción	Dentro de grupos	0.007	16	0.000		
	Total	5.934	19			
	Entre grupos	0.052	3	0.017	240.437	0.000
Ensayo Desgaste	Dentro de grupos	0.001	16	0.000		
	Total	0.053	19			
	Entre grupos	30.724	3	10.241	3325.058	0.000
Ensayo Flexión	Dentro de grupos	0.049	16	0.003		
	Total	30.773	19			

Nota. En los cuatro casos analizados, el valor de Sig. ($\rho=0.000$), que es significativamente menor que ($\alpha=0.05$). Esto lleva a la misma conclusión para todos los ensayos existe diferencia significativa entre las medias de los 4 grupos en la resistencia a la compresión, absorción, desgaste y flexión.

3. Interpretación de resultados por ensayo

Tabla 69

Diferencia significativa entre las medias de los 4 grupos

Ensayo	F Calculado	Sig. (Valor p)	Decisión	Conclusión
Compresión	35201.572	0.000	Rechazar H_0	Existe diferencia significativa entre las medias de los 4 grupos en la resistencia a la Compresión.
Absorción	4248.613	0.000	Rechazar H_0	Existe diferencia significativa entre las medias de los 4 grupos en la Absorción.
Desgaste	240.437	0.000	Rechazar H_0	Existe diferencia significativa entre las medias de los 4 grupos en el Desgaste.
Flexión	3325.058	0.000	Rechazar H_0	Existe diferencia significativa entre las medias de los 4 grupos en la resistencia a la Flexión.

Nota. Los resultados indican de manera concluyente que el factor (que define los 4 grupos) tiene un impacto estadísticamente significativo en las propiedades medidas de Compresión, Absorción, Desgaste y Flexión.

Se necesita de Post-Hoc: Dado que el ANOVA solo indica que hay una diferencia en algún lugar, y no dónde está exactamente, es indispensable realizar pruebas post-hoc (Tukey) para determinar cuáles pares de grupos específicos son significativamente diferentes entre sí para cada ensayo.

4. Prueba Post Hoc

Esta prueba post hoc se aplica porque el ANOVA inicial (que se mostró en el cuadro anteriormente) fue significativo para todos los ensayos, indicando que existen diferencias entre las medias de los cuatro grupos (Patrón, Proporción 1, 2 y 3). El

objetivo de Tukey es localizar exactamente dónde residen estas diferencias agrupando las medias en subconjuntos homogéneos.

Ensayo a la compresión

Tabla 70

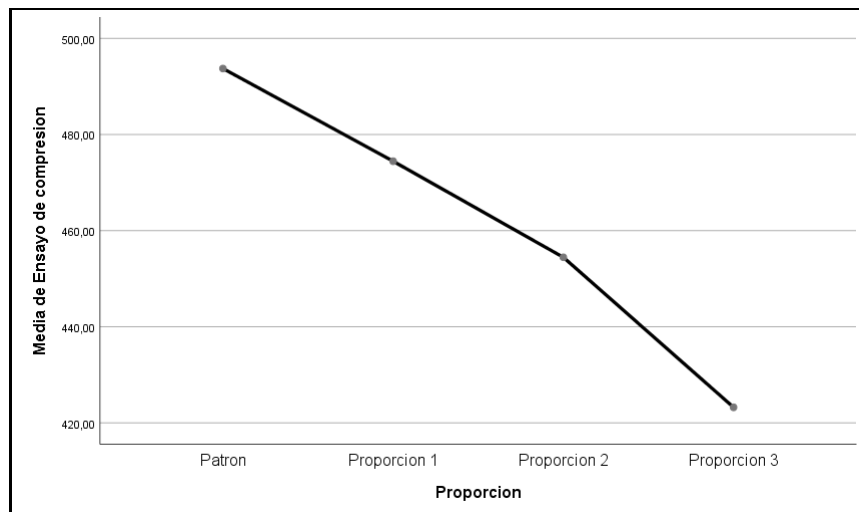
Análisis de Tukey para el ensayo a la compresión de los adoquines de concreto tipo II

Ensayo a la compresión					
HSD Tukey ^a					
Subconjunto para alfa = 0.05					
Proporción	N	1	2	3	4
Proporción 3	5	423.2300			
Proporción 2	5		454.4440		
Proporción 1	5			474.4440	
Patrón	5				493.7300
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Interpretación: Es la comparación de las medias de las diferentes grupos o proporciones después de que un análisis de varianza.

Figura 46

Gráfico de medias para el ensayo a la compresión de los adoquines de concreto tipo II



Nota. A medida que la proporción de agregado grueso disminuye y aumenta el agregado fino la resistencia a la compresión empieza a disminuir.

Ensayo de absorción

Tabla 71

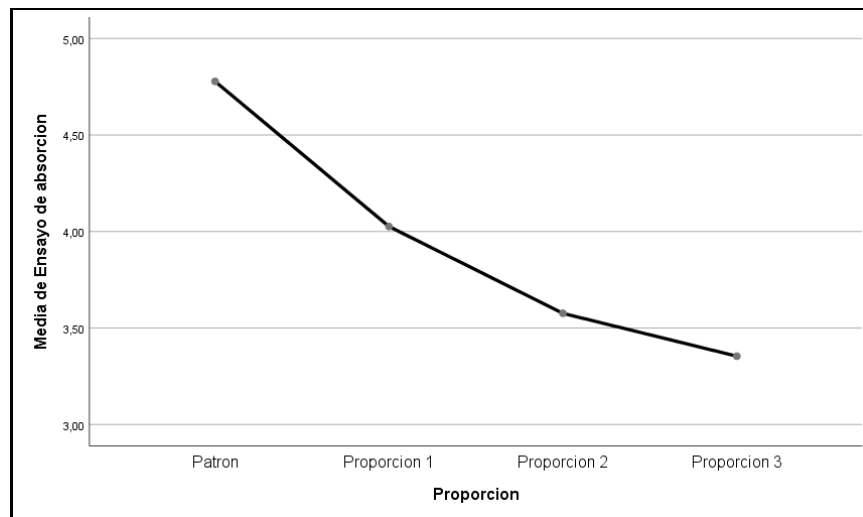
Análisis de Tukey para el ensayo a la absorción de los adoquines de concreto tipo II

Ensayo de absorción					
HSD Tukey ^a					
Proporción	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
Proporción 3	5	3.3540			
Proporción 2	5		3.5760		
Proporción 1	5			4.0260	
Patrón	5				4.7780
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Nota. La Proporción 3 es la que presenta la menor absorción de agua, siendo significativamente mejor que el Patrón en este aspecto.

Figura 47

Gráfico de medias para el ensayo de absorción de los adoquines de concreto tipo II



Nota. A medida que la proporción de agregado grueso disminuye y aumenta el agregado fino la absorción empieza a disminuir.

Ensayo de desgaste

Tabla 72

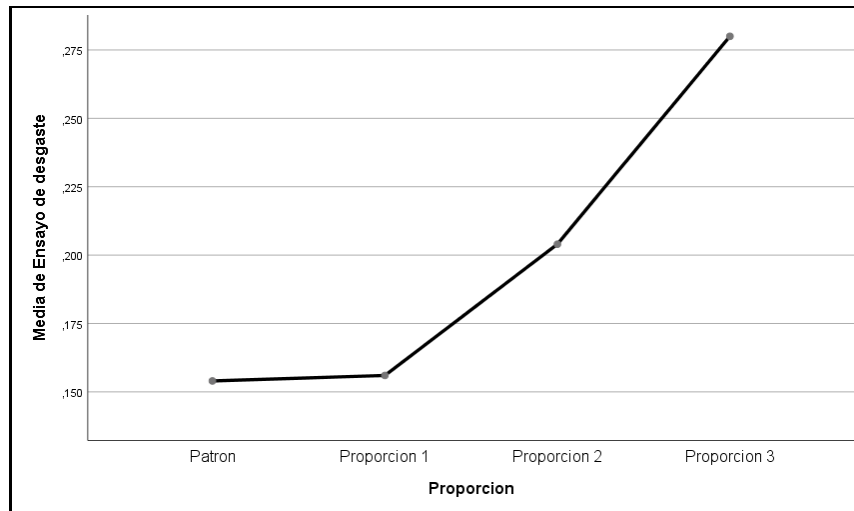
Análisis de Takey para el ensayo de desgaste de los adoquines de concreto tipo II

Ensayo de desgaste				
HSD Tukey ^a				
Proporción	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
Patrón	5	0.1540		
Proporción 1	5	0.1560		
Proporción 2	5		0.2040	
Proporción 3	5			0.2800
Sig.		0.982	1.000	1.000

Nota. La proporción 1 logra un rendimiento de desgaste que es comparable a del patrón, mientras que las proporciones 2 y 3 muestran un deterioro significativo y progresivo.

Figura 48

Gráfico de medias para el ensayo al desgaste de los adoquines de concreto tipo II



Nota. A medidas que la proporción de agregado grueso disminuye y aumenta al agregado fino la resistencia el desgaste empieza aumentar por la cantidad de material fino.

Ensayo a la flexión

Tabla 73

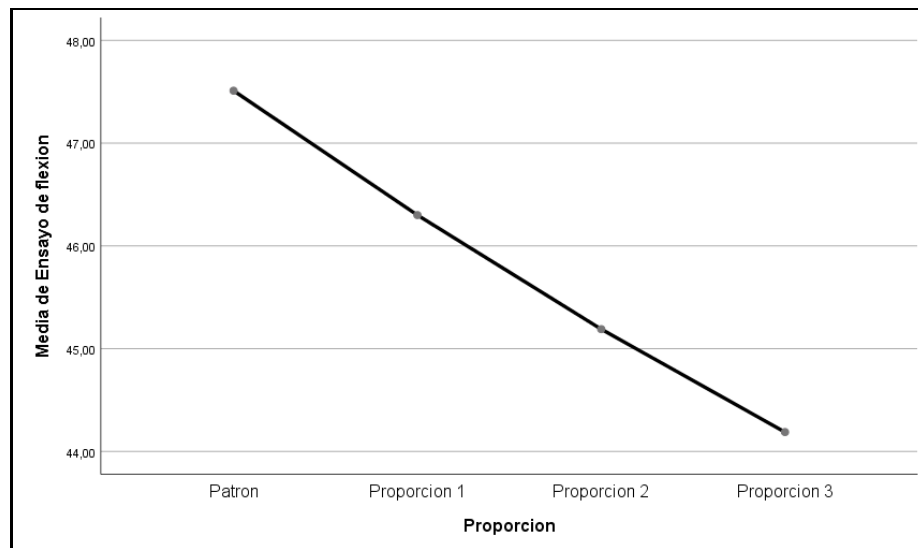
Análisis de Tukey para el ensayo a la flexión de los adoquines de concreto tipo II

Ensayo de Flexión					
HSD Tukey ^a					
Subconjunto para alfa = 0.05					
Proporción	N	1	2	3	4
Proporción 3	5	44.1880			
Proporción 2	5		45.1900		
Proporción 1	5			46.3000	
patrón	5				47.5100
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Interpretación: La Proporción 1 presenta la mayor resistencia a la flexión, superando significativamente al Patrón

Figura 49

Gráfico de medias para el ensayo a la flexión de los adoquines de concreto tipo II



Nota. A medidas que la proporción de agregado grueso disminuye y aumenta al agregado fino la resistencia a la flexión empieza a disminuir.

5. Análisis detallado para la proporción óptima para la elaboración de los adoquines de concreto tipo II.

Los adoquines de concreto Tipo II, generalmente requieren alta resistencia a la compresión, buena resistencia a la flexión, excelente resistencia al desgaste y baja absorción. Para determinar la proporción óptima para la fabricación de adoquines de concreto tipo II, se basa en la interpretación conjunta de los resultados del ANOVA, las pruebas post-hoc de Tukey y los gráficos de medias. La **Proporción 1** (Cemento:8.20 Kg, Agregado grueso:9.29kg, Agregado fino:12.00kg) emerge como la solución más óptima y equilibrada para la fabricación de adoquines, especialmente si se considera el uso a largo plazo en pavimentos (donde la resistencia al desgaste es clave).

6. Valores promedio de la proporción 1

Tabla 74

Valores promedios de la proporción

Ensayo	Valor Promedio (Media) de la Proporción 1	Tipo de Ensayo
Compresión	474.44 kg/cm ²	Resistencia
Absorción	4.02%	Durabilidad
Desgaste	0.16%	Durabilidad
Flexión	46.30 kg/cm ²	Resistencia

Nota. La Proporción 1 demuestra ser un material equilibrado. Su fortaleza principal radica en la resistencia a la compresión, lo cual, sumado a una baja tasa de desgaste (0,16%), lo califica como un material de alto desempeño superficial y estructural.

Desde el punto de vista de la durabilidad, su absorción del 4,02% garantiza una vida útil prolongada en ambientes con humedad moderada, ya que su estructura interna es lo suficientemente compacta para prevenir filtraciones críticas.

Estos resultados reafirman que la Proporción 1 (Cemento:8.20Kg, Agregado grueso:9.29kg, Agregado fino:12.00kg) es la mejor opción de compromiso entre las formulaciones de ensayo, ofreciendo alta resistencia y excelente desempeño al desgaste.

4.2.2. Prueba hipótesis específica

Hipótesis específica 1: Los adoquines tipo II elaborados con residuos de roca caliza como agregado (fino y grueso) alcanzarán valores de resistencia a la compresión dentro de los rangos exigidos por la NTP 399.611 para su uso en tránsito vehicular ligero.

Contraste: Los resultados obtenidos reportan una resistencia a la compresión de 474.44 kg/cm², valor que supera ampliamente el mínimo exigido por la NTP 399.611, que para adoquines tipo II destinados a tránsito vehicular ligero requiere ≥ 420 kg/cm².

Conclusión:

La hipótesis HE1 se acepta, dado que los adoquines con residuos de roca caliza cumplen y exceden el rango normativo requerido.

Hipótesis específica 2: Los adoquines de concreto tipo II elaborados con residuos de roca caliza como agregado (fino y grueso) presentarán porcentajes de absorción que cumplen los límites establecidos por la NTP 399.611 para su uso en tránsito vehicular ligero.

Contraste: El porcentaje de absorción obtenido fue de 4.02 %, mientras que la NTP 399.611 establece un límite máximo de 7 % para adoquines de concreto tipo II.

Conclusión: La hipótesis HE2 se acepta, ya que el valor de absorción se encuentra holgadamente dentro del límite permitido por la normativa.

Hipótesis específica 3: Los adoquines de concreto tipo II elaborados con residuo de roca caliza como agregado (fino y grueso) cumplen con los requisitos de resistencia al desgaste establecidos por la NTP 399.611.

Contraste: Se obtuvo un porcentaje de desgaste de 0.16 %, valor que está muy por debajo del máximo permitido por la NTP 399.611, que exige ≤ 30 % en el ensayo de desgaste.

Conclusión: La hipótesis HE3 se acepta, confirmando que los adoquines elaborados con roca caliza presentan un comportamiento sobresaliente frente al desgaste.

Hipótesis específica 4: Los adoquines de concreto tipo II elaborados con residuo de roca caliza como agregado (fino y grueso) alcanzan valores de resistencia a la flexión dentro de los límites establecidos por la NTP 399.611.

Contraste: La resistencia a la flexión obtenida fue de 46.30 kg/cm², valor que supera el mínimo exigido por la NTP 399.611 para adoquines tipo II sometidos a tránsito vehicular, que establece un valor mínimo aproximado de > 40 kg/cm².

Conclusión: La hipótesis HE4 se acepta, demostrando que el uso de residuos de roca caliza permite alcanzar los valores de flexión requeridos normativamente.

4.3. Discusión

Discusión 1: Del análisis comparativo entre las investigaciones desarrollada y Chafloque (2023), evidencia enfoques complementarios en torno al empleo de agregados reciclados para la fabricación de adoquines de concreto. Si bien ambos estudios se inscriben en un diseño experimental con enfoque cuantitativo y persiguen la validación de alternativas sostenibles, difieren en el tipo de material reciclado empleado, las exigencias normativas y los niveles de resistencia evaluados, lo cual influye notablemente en los resultados obtenidos. En el caso de la investigación desarrollada, el agregado reciclado está constituido por **residuos de roca caliza como agregado** (fino y grueso), un material con buenas propiedades físico-mecánicas debido a su dureza, densidad y comportamiento compatible con la matriz cementante. Los resultados obtenidos una resistencia a la compresión de **474.44 kg/cm²**, una absorción de **4.02 %**, un desgaste de **0.16 %** y una resistencia a la flexión de **46.30 kg/cm²** demuestran que este tipo de agregado no solo mantiene, sino que **mejora el desempeño global del concreto**, permitiendo su uso en **adoquines tipo II para tránsito vehicular ligero**, una categoría de mayores exigencias estructurales según la NTP 399.611. Por otro lado, **Chafloque (2023)** emplea **concreto reciclado proveniente de estructuras previas** como sustituto parcial del agregado grueso. Este tipo de material presenta características más variables, con mayor porosidad y menor dureza en comparación con la roca caliza. Sin embargo, el estudio incorpora un análisis más amplio de condiciones, evaluando adoquines a dos niveles de resistencia de diseño (**210 kg/cm²** y **280 kg/cm²**), con reemplazos escalonados del 5 %, 10 %, 15 % y 20 % y ensayos a 14 y 28 días. Este enfoque permite observar la evolución del comportamiento mecánico bajo diferentes condiciones, aunque los resultados tienden a mostrar una

reducción progresiva de la resistencia conforme aumenta el porcentaje de concreto reciclado, especialmente en los mayores niveles de reemplazo. A nivel metodológico, ambos estudios se apoyan en técnicas de **observación directa**, uso de **fichas técnicas**, **guías de laboratorio** y análisis inferencial como ANOVA para validar la significancia de los resultados. No obstante, la investigación de desarrollada presenta un enfoque más completo respecto a la caracterización física, incorporando ensayos adicionales como absorción, desgaste y flexión, lo que proporciona una visión más integral del desempeño del adoquín frente a solicitaciones reales de carga. En contraste, Chafloque (2023) concentra su análisis principalmente en la **resistencia a compresión y absorción**, lo cual es suficiente para adoquines en categorías de menor exigencia, pero deja un vacío respecto al comportamiento ante esfuerzos transversales y desgaste superficial. En cuanto a la aplicabilidad, los resultados de la investigación corroboran que los residuos de roca caliza constituyen un **material altamente idóneo** para adoquines sometidos a tránsito vehicular ligero, cumpliendo holgadamente las exigencias normativas. Por su parte, Chafloque (2023) demuestra que el concreto reciclado, aunque genera una disminución gradual en la resistencia a medida que aumenta su porcentaje de incorporación, sigue siendo **técnicamente viable en reemplazos moderados**, especialmente en aplicaciones de menor sollicitación estructural, como adoquines peatonales o de tránsito reducido. En conjunto, ambos estudios coinciden en que la incorporación de agregados reciclados contribuye a la sostenibilidad y a la reducción de la explotación de canteras, aunque dejan claro que **el tipo de material reciclado condiciona fuertemente el rendimiento mecánico final**. Mientras los residuos de roca caliza permiten conservar y mejorar las propiedades estructurales del

concreto, el concreto reciclado requiere reemplazos controlados para evitar comprometer la resistencia mínima normada.

Discusión 2: De acuerdo con los resultados la investigación desarrollada y Bances (2024) permite analizar cómo diferentes tipos de agregados reciclados influyen en el desempeño mecánico de adoquines de concreto, así como su viabilidad técnica dentro de los parámetros de la NTP 399.611. En primer lugar, la investigación desarrollada centra su estudio en la incorporación de residuos de roca caliza (agregado fino y grueso) para la elaboración de adoquines tipo II destinados al tránsito vehicular ligero. Mientras tanto, Bances (2024) aborda el uso de concreto reciclado proveniente de la demolición de pavimentos rígidos, enfocándose en adoquines tipo I para tránsito peatonal y evaluando reemplazos parciales del agregado grueso en proporciones de 5 %, 10 % y 15 %. Estas diferencias iniciales determinan no solo las propiedades obtenidas, sino también la clasificación de uso y la exigencia mecánica asociada. En cuanto al desempeño mecánico, los resultados de investigación muestran valores superiores a los estándares normativos y a los alcanzados en el estudio de Bances (2024). La investigación reporta una resistencia a la compresión de 474.44 kg/cm², mientras que Bances (2024) obtiene valores que varían entre 397.14 y 409.73 kg/cm², todos dentro del rango requerido para adoquines tipo I (mínimo 320 kg/cm²). La diferencia significativa radica en las características intrínsecas del material reciclado usado: los residuos de roca caliza presentan mayor dureza, mejor adherencia y menor absorción, lo que favorece la resistencia final del concreto; en contraste, el concreto reciclado posee mayor porosidad y menor densidad, lo que tiende a reducir su capacidad resistente, aunque dentro del estudio sigue mostrando un desempeño aceptable. Asimismo, de la investigación desarrollada no solo evalúa resistencia a la

compresión, sino también absorción (4.02%), desgaste (0.16%) y resistencia a la flexión (46.30 kg/cm²), evidenciando un análisis integral del comportamiento del adoquín. Esta amplitud metodológica permite determinar que los residuos de roca caliza no comprometen el rendimiento físico, manteniendo valores competitivos incluso para el tránsito vehicular ligero. En cambio, el estudio de Bances se concentra exclusivamente en la resistencia a la compresión, por lo cual su evaluación, aunque válida para el propósito planteado, es menos completa en la caracterización del material. Desde el punto de vista normativo, ambos estudios confirman el cumplimiento de la NTP 399.611, aunque en alcances distintos:

- La investigación demuestra que los adoquines tipo II fabricados con material reciclado pueden superar ampliamente los valores mínimos exigidos, incluso para pavimentos vehiculares.
- Bances (2024) evidencia que el concreto reciclado de pavimentos rígidos es apto para adoquines tipo I hasta un 15 % de reemplazo, lo que representa una alternativa sostenible sin comprometer la resistencia estructural necesaria para uso peatonal.

Finalmente, ambos autores coinciden en que el uso de materiales reciclados contribuye a la sostenibilidad del sector construcción, no solo por reducir residuos, sino también por disminuir la extracción de agregados naturales. Sin embargo, sus resultados permiten establecer que la eficiencia y el desempeño mecánico dependen directamente del tipo de material reciclado empleado: mientras los residuos de roca caliza permiten mantener o incluso mejorar las propiedades del concreto, el concreto reciclado presenta un efecto positivo, pero limitado a reemplazos moderados. En conjunto, las dos investigaciones evidencian que la aplicación de agregados reciclados en adoquines es técnicamente viable,

pero la selección del material y del porcentaje de reemplazo son factores determinantes para garantizar el cumplimiento normativo y la durabilidad del producto final.

Discusión 3: Partiendo de la comparación entre los estudios desarrollados por Castillejo (2025) y Barruta (2024) permite analizar la influencia del uso de materiales reciclados en la elaboración de adoquines de concreto tipo II, centrando la discusión en el comportamiento mecánico, las metodologías aplicadas y la viabilidad técnica de los agregados alternativos. En primer lugar, ambos trabajos se enmarcan en un enfoque cuantitativo y explicativo, sustentado en diseños experimentales orientados a evaluar el desempeño mecánico de los adoquines. No obstante, difieren en el tipo de material alternativo incorporado: mientras Castillejo (2025) emplea residuos de roca caliza como agregado fino y grueso, Barruta(2024) utiliza concreto reciclado como sustituto parcial del agregado grueso. Esta diferencia en la naturaleza del material reciclado condiciona las propiedades físicas y mecánicas obtenidas en cada estudio. Respecto a los resultados mecánicos, Castillejo reporta valores superiores de resistencia como una resistencia a la compresión de 474.44 kg/cm² y una resistencia a la flexión de 46.30 kg/cm² que cumplen ampliamente los requisitos mínimos de la NTP 399.611. Esto evidencia que los residuos de roca caliza proporcionan un buen desempeño estructural al integrarse al diseño de mezcla, posiblemente debido a su condición natural y a su adecuada compatibilidad con la matriz cementante. Por su parte, Barruta (2024) obtiene valores de resistencia a la compresión promedio de 393.73 kg/cm² al usar concreto reciclado, ligeramente superiores a los de las mezclas patrón (384.02 kg/cm²). Aunque estas resistencias son menores a las reportadas por Castillejo (2025), el estudio demuestra que el uso de concreto reciclado mejora el desempeño respecto a los agregados convencionales utilizados como referencia.

Esto es relevante, considerando que el concreto reciclado presenta mayor porosidad y absorción, lo cual podría afectar negativamente la adherencia matriz-agregado; sin embargo, los resultados evidencian su potencial como agregado grueso alternativo. En términos metodológicos, ambos investigadores emplean análisis inferenciales Castillejo (2025) utiliza ANOVA y pruebas post-hoc TUKEY HSD que permiten validar estadísticamente la influencia de los agregados reciclados en las propiedades mecánicas. Barruta (2024) también confirma, con un nivel de confianza del 95 %, la influencia significativa del concreto reciclado en la resistencia a la compresión, reforzando los beneficios del enfoque sostenible aplicado. En cuanto a la viabilidad técnica, ambos estudios concluyen positivamente. Sin embargo, Castillejo (2025) enfatiza además el cumplimiento normativo integral de los adoquines tipo II elaborados con caliza reciclada, cubriendo resistencia, absorción, desgaste y flexión. Barruta (2024)a, aunque focaliza su análisis en la compresión y los costos, demuestra que los adoquines con concreto reciclado no solo cumplen, sino que superan el desempeño de los tradicionales. Finalmente, desde una perspectiva de sostenibilidad y economía circular, ambas investigaciones contribuyen a la reducción de residuos y al aprovechamiento de materiales que suelen descartarse. No obstante, el estudio de Castillejo aborda un espectro más amplio de propiedades mecánicas y físicas, mientras que Barruta (2024) evidencia el impacto positivo del reciclaje en los costos constructivos y la mejora en compresión, favoreciendo su aplicabilidad en vías urbanas. En conjunto, ambos trabajos confirman que la incorporación de agregados reciclados ya sean residuos de roca caliza o concreto reciclado representa una alternativa viable, sostenible y técnicamente confiable para la fabricación de adoquines tipo II,

contribuyendo a la mejora del desempeño estructural y a la reducción del impacto ambiental asociado a la construcción.

V. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

5.1.1. Conclusión general

Se determinaron experimentalmente las propiedades de las físicas y mecánicas de los adoquines de concreto tipo II, elaborados con residuos de roca caliza como agregado (fino y grueso). La contrastación de los resultados experimentales tales como (Resistencia a la compresión=474.44kg/cm², Absorción=4.02%, Desgaste=0.16% y Resistencia a la Flexión=46.30Kg/cm²) con la Norma Técnica Peruana (NTP 399.611). Se demostró que estos adoquines de concreto elaborados con la (proporción 1) cumplen para el uso del tránsito vehicular ligero. La **Proporción 1** (Cemento:8.20 Kg, Agregado grueso:9.29kg, Agregado fino:12.00kg) ha sido identificada como la mezcla óptima que incorpora residuos de roca caliza como agregado, logrando que el adoquín resultante sea técnicamente equivalente o superior al rendimiento requerido por la NTP 399.611 en todos los parámetros críticos (resistencia, durabilidad y funcionalidad). Este resultado valida la viabilidad técnica y la calidad del adoquín de concreto tipo II, elaborado con residuos de roca caliza como para su uso específico en zonas de tránsito ligero.

5.1.2. Conclusiones específicas

1. Se determinó que la resistencia a la compresión promedio de los adoquines de concreto tipo II elaborados con la **proporción 1** (Cemento:8.20 Kg, Agregado grueso:9.29kg, Agregado fino:12.00kg) es del 474.44 kg/cm² superior a la indicado por NTP 399.611.
2. Se determinó que el porcentaje de absorción de agua de los adoquines de concreto tipo II elaborados con la **proporción 1**(Cemento:8.20 Kg, Agregado grueso:9.29kg,

- Agregado fino:12.00kg) de residuos de roca caliza como agregado es 4.02%, que contrastado con la NTP 399.611, se encuentra por debajo del límite máximo de 6%
3. Se determinó que la pérdida de masa por desgaste (un indicador abrasivo) de los adoquines elaborados con la **proporción 1** (Cemento:8.20 Kg, Agregado grueso:9.29kg, Agregado fino:12.00kg) es del 0.16%. Este valor demuestra una alta resistencia a la abrasión que es compatible e inferior a los requisitos NTP 399.661.
 4. Se determinó que la resistencia a la flexión de los adoquines de concreto tipo II elaborados con la **proporción 1** (Cemento:8.20 Kg, Agregado grueso:9.29kg, Agregado fino:12.00kg) es de 46.30 Kg/cm², superior a lo solicitado por la NTP 399.611.

5.2. Recomendaciones

1. A los tesisistas: Proceder con el curado inmediato de los adoquines cubriendo con láminas de plástico, a fin de evitar la pérdida acelerada del agua del producto elaborado.
2. A los emprendedores: Los adoquines elaborados con residuos de roca caliza, son aptos para su aplicación en zonas de tránsito vehicular ligero en áreas verdes, zonas recreativas, parques y otros espacios públicos o privados. Debido que cumplen con los requisitos establecidos de resistencia a la compresión y desgaste conforme a la normativa vigente.
3. A los tesisistas y emprendedores: Respecto al uso de equipos de vibrocompresión, es fundamental controlar el tiempo de aplicación de la vibración, ya que un exceso puede generar segregación de la mezcla y afectar la calidad del producto final, se recomienda que debe de estar de 10 a 15 segundos.

4. A los tesisistas y emprendedores: Hacer énfasis en el control de calidad, para el logro de buenos adoquines de concreto. Iniciando desde la elección del agregados, proporción, mezclado, vibrado, compactado y manejo cuidadoso de los especímenes en la etapa de curado.
5. A los tesisistas y emprendedores: Impulsar el uso del residuo de roca caliza como agregado del concreto, para ser utilizado en la elaboración de otros productos de la construcción entre ellos hacemos mención (bloquetas, ladrillos, paredes tipo cortina, etc).

VI. Referencias bibliográficas

- Abanto Castillo, F. (2009). *Tecnología del Concreto (tercera edición)*. Lima, Perú: San Marcos E.I.R.L.
- Auliya, N. H., Caronge, M. A., & Tjaronge, M. W. (2025). Compressive strength and sustainability indicators of concrete manufactured with recycled refractory brick furnace waste. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 11, 101177. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2025.101177>.
- Attri, G. K., Gupta, R. C., & Shrivastava, S. (2021). Impact of recycled concrete aggregate on mechanical and durability properties of concrete paver blocks. *Materials Today: Proceedings*, 43, 779–784. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.198>.
- Bravo Apaza, J. e Inostroza Palomino, R. *Evaluation of recycled coarse aggregate on the mechanical and physical properties of 175 kg/cm² concrete*. <https://doi.org/10.18687/LACCEII2025.1.1.678>.
- Cabezas Fierro, M. I. (2014). *Manual de procesos constructivos del adoquinado*. Quito, Ecuador
- Carrasco Tavera, C. J., & Delgado Soto, D. F. (2024). *Influencia del concreto reciclado en el desempeño físico-mecánico de adoquines de concreto para uso peatonal*.
- CARRETERO, J. M. (2019). *Economía circular, un nuevo paradigma para nuestras ciudades*. 5.
- Cespedes Abanto, A. (2002). *Los pavimentos en las vías terrestres (primera edición)*. Cajamarca, Perú: Universitaria de la UNC.
- Centro de Innovación y Economía Circular CIEC. (2019). *Economía circular y políticas públicas*. Lima: Walter H. Wust Ediciones.
- Contreras Llanes, M., Romero Pérez, M., Gázquez González, M.J. et al. Construction and demolition waste as recycled aggregate for environmentally friendly concrete paving.

Environ Sci Pollut Res 29, 9826–9840 (2022). [https://doi.org/10.1007/s11356-021-15849-](https://doi.org/10.1007/s11356-021-15849-4)

[4](#).

Fundación Conama (2018). *Economía circular en el sector de la construcción. España*

Hidalgo Laguna, D.E. & Poveda Calderón, Ricardo Andrés (2013). *Obtención de adoquines fabricados con vidrio reciclado como agregado*. Quito, Ecuador.

Jamshidi, A. (2024). A laboratory study on the durability of limestone wastes in harsh environments for their suitability as aggregate in concrete. *Case Studies in Construction Materials*, 20, e03274. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03274>.

Marín Forero, S.A. (2024). *Análisis de ciclo de vida comparativo como fundamento para la producción de un adoquín fabricado con concretos con agregados reciclados de RCD en Bogotá*.

Menéndez Acurio, J.R. (2016). *Ingeniería de Pavimentos (5ta edición)*. Lima, Perú: Instituto de la construcción y Gerencia – ICG.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Ministerio de Turismo, Industria y Comercio. (2019). *Tipologías de iniciativas innovadoras de la economía circular*. Bogotá.

Montejo Fonseca, A. (2006). *Ingeniería de pavimentos (tercera edición)*. Colombia: Universidad Católica de Colombia.

Montiel Miguel, J. L. (2017). *Uso de agregados reciclados para la fabricación de adoquines que se puedan utilizar en la pavimentación de calles, avenidas y pasos peatonales*. Universidad Nacional Autónoma de México.

Mohtasham Moein, M., Saradar, A., Zekriyapanah Gashti, M., Mohtasham Moein, A., Akhavan Tabassi, A., & Rigby, S. E. (2026). Transforming waste into strength: Analyzing concrete performance with recycled brick aggregates through fuzzy logic and Weibull distribution

- under varied curing conditions. *Heliyon*, 12(7), e44865.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2026.e44865>.
- NTP 339.088. (2006). *Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento portland*. Lima: INDECOPI.
- NTP 339.185. (2013). *Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado*. Lima: INDECOPI.
- NTP 399.604. (2002). *Unidades de albañilería. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto*. Lima: INDECOPI.
- NTP 399.611. (2015). *Unidades de albañilería. Adoquines de concreto para pavimentos. Requisitos*. Lima: INDECOPI.
- NTP 400.012. (2013). *Agregados. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global*. Lima: INDECOPI.
- NTP 400.017. (2011). *Agregados. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados*. Lima: INDECOPI.
- NTP 400.021. (2013). *Agregados. Método de ensayo normalizado*. Lima: INDECOPI.
- NTP 400.022. (2013). *Agregados. Método de ensayo normalizado para la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino*. Lima: INDECOPI.
- Pirraga, L. (2024). *RICLADO DE MINERALES Y ECONOMIA CIRCULAR: ENFOQUE*. Buenos Aires.
- Pizoň, J., Matýsková, K., Hornáková, M., Gołaszewska, M., & Kratošová, G. (2025). Recycled concrete paving block waste as a selected sustainable substitute for natural aggregate in cement composites. *Construction and Building Materials*, 478, 141356.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.141356>.

Polo Collantes, P. (2016). *Materiales de construcción (primera edición)*. Lima, Perú: Megabyte s.a.c.

Ramírez Sánchez, J.M. (2021). *Modelos de valoración de residuos como aporte a la economía circular en Colombia*. Bogotá: Universidad de la Salle.

Retuerto, J. C. (2015). *LOS SUBPRODUCTOS Y EL FIN DE CONDICIÓN DE RESIDUO COMO ALTERNATIVAS A LA GESTIÓN TRADICIONAL DE LOS RESIDUOS: UNA OPORTUNIDAD DE ORO PARA LA INDUSTRIA*. En U. Menéndez, *Actualidad Jurídica* (pág. 116). Barcelona.

Rivva López, E. (2023). *Diseño de mezclas*. (cuarta edición). Lima, Peru.

Santos Polo, C.H. y Blas Vega, M. (2025). Evaluation of the physical and mechanical behavior of concrete $f_c = 28$ MPa with partial replacement of coarse recycled aggregate in paving stones, Trujillo. <https://laccei.org/LACCEI2025-Mexico/meta/FP352.html>.

Safiee, N.A., Hassan, A.H., Nasir, N.A.M. et al. *Sustainable paving blocks incorporated with hybrid-treated recycled concrete aggregate*. *Asian J Civ Eng* 26, 2071–2084 (2025). <https://doi.org/10.1007/s42107-025-01299-7>.

Schröder P., Albaladejo M., Alonso Ribas P., MacEwen M., Tilkanen J., 2020. *The circular economy in Latin America and the Caribbean. Opportunities for building resilience*. CHATHAM HOUSE, 73.

Setiawan, A., Rahmawati, R., & Adnan, A. (2024). Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai (Agregat Halus) Terhadap Uji Kuat Tekan Paving Block: The Effect Of Using Concrete Waste As (Fine Aggregate) On The Test Of Paving Block Compressive Strength. *Media Ilmiah Teknik Sipil*, 12(2), 107–114. <https://doi.org/10.33084/mits.v12i2.6732>.

- Soares, V. A., Effting, C., Leite, L. R., & Schackow, A. (2025). Systematic Literature Review: Life Cycle Assessment (LCA) of Paving Blocks. *Buildings*, 15(24), 4471. <https://doi.org/10.3390/buildings15244471>.
- Vásquez Lavado, M. A. (2020). *Adoquines de concreto tipo II en vías urbanas, utilizando escombros de Construcción y Aditivos Acelerantes*.
- Kencanawati, N. N., Ngudiyono, N., Anshari, B., & Ay Lie, H. (2025). *A comprehensive assessment of concrete with recycled coarse aggregate treated by a combination of heating, grinding, and acid-soaking process*. <https://doi.org/10.7764/RIC.00137.21>.
- Torre Carillo, A. (2004). *Curso básico de tecnología del concreto para ingenieros civiles*. Lima, Perú.
- Wang, X., Chin, C. S., & Xia, J. (2023). Study on the properties variation of recycled concrete paving block containing multiple waste materials. *Case Studies in Construction Materials*, 18, e01803. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01803>.

Anexo 1: Matriz de consistencia

Matriz de consistencia

TÍTULO: PROPUESTA DE DISEÑO DE CONCRETO CON AGREGADO RECICLADO Y SU APLICACIÓN EN LA ELABORACIÓN DE ADOQUINES PARA EL TRÁNSITO VEHICULAR LIGERO					
AUTOR: RAUL EDGAR CASTILLEJO MELGAREJO					
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES		
<p>PROBLEMA GENERAL: ¿De qué medida el uso de residuo de roca caliza como agregado influye en las propiedades mecánicas y físicas (resistencia a la compresión, absorción, desgaste y resistencia a la flexión) de adoquines de concreto tipo II para el uso del tránsito vehicular ligero en la ciudad de Huaraz?</p> <p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS:</p> <p>PE1: ¿En que medida el residuo de roca caliza como agregado interviene en la determinación de la resistencia a la compresión del adoquín de concreto tipo II para el uso del tránsito vehicular ligero y cumpla con la NTP 399.611?</p> <p>PE2: ¿En qué medida el residuo de roca caliza como agregado interviene en la determinación del porcentaje de absorción del adoquín de concreto tipo II para el uso del tránsito vehicular ligero y cumpla con la NTP 399.611?</p> <p>PE3: ¿En qué medida el residuo de roca caliza como agregado interviene en la determinación del porcentaje de desgaste del adoquín de concreto tipo II para el uso del tránsito vehicular ligero y cumpla con la NTP 399.611?</p> <p>PE4: ¿En qué medida el residuo de roca caliza como agregado interviene en la determinación de la</p>	<p>OBJETIVO GENERAL: Evaluar la influencia del uso de residuo de roca caliza como agregado (fino y grueso) en las propiedades mecánicas y físicas (resistencia a la compresión, absorción, desgaste y resistencia a la flexión) de los adoquines de concreto tipo II para el uso en tránsito vehicular ligero en la ciudad de Huaraz.</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS:</p> <p>OE1: Determinar la resistencia a la compresión de los adoquines de concreto tipo II elaborados con los residuos de roca caliza como agregado (fino y grueso) para el uso del tránsito vehicular ligero y cumpla con los parámetros establecido en la NTP 399.611.</p> <p>OE2: Determinar el porcentaje de absorción de los adoquines tipo II, elaborados con los residuos de roca caliza como agregado para la elaboración de adoquines para el uso del tránsito vehicular ligero y cumpla con los parámetros establecido en la NTP 399.611.</p> <p>OE3: Determinar el porcentaje de desgaste de los adoquines de concreto tipo II elaborados con los residuos de roca caliza como agregado (fino y grueso) para el uso del tránsito vehicular ligero y cumpla con los parámetros establecido en la NTP 399.611.</p> <p>OE4: Determinar la resistencia a la flexión de los adoquines de concreto</p>	<p>HIPÓTESIS GENERAL: El uso de residuo de roca caliza como agregado (fino y grueso) en la elaboración de adoquines de concreto tipo II permite alcanzar valores de resistencia a la compresión, absorción, desgaste y resistencia a la flexión dentro de los límites establecidos por la NTP 399.611 para su aplicación en tránsito vehicular ligero en la ciudad de Huaraz.</p> <p>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS:</p> <p>HE1: Los adoquines de concreto tipo II elaborados con residuo de roca caliza como agregado (fino y grueso) alcanzan valores de resistencia a la compresión dentro de los límites establecidos por la NTP 399.611 para tránsito vehicular ligero</p> <p>HE2: Los adoquines de concreto tipo II elaborados con residuo de roca caliza como agregado (fino y grueso) presentan valores de absorción dentro de los límites establecidos por la NTP 399.611.</p> <p>HE3: Los adoquines de concreto tipo II elaborados con residuo de roca caliza como agregado (fino y grueso)</p>	<p>VARIABLE DEPENDIENTE: Propiedades físicas y mecánicas de los adoquines de concreto tipo II</p>		
			DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO Y UNIDAD DE MEDICION
			<ul style="list-style-type: none"> • Propiedades Mecánicas 	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia a la compresión. • Resistencia a la flexión 	Ensayo en laboratorio (kg/cm ²): NTP 399.621
			<ul style="list-style-type: none"> • Propiedades Físicas 	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones • Peso • Absorción • Desgaste 	<ul style="list-style-type: none"> - Regla graduada (cm): NTP 399.621 - Balanza, horno, depósito de agua (%): NTP 399.611. - Ensayo en laboratorio (%): NTP 399.624
			<p>VARIABLE INDEPENDIENTE: Uso de residuos de roca caliza como agregado (fino y grueso)</p>		
DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO Y UNIDAD DE MEDICION			
<ul style="list-style-type: none"> • Propiedades del agregado grueso • Propiedades del agregado fino 	<ul style="list-style-type: none"> • Peso unitario seco y compactado del agregado fino y grueso • Contenido de humedad del agregado fino y grueso. • Granulometría 	<ul style="list-style-type: none"> - Ensayo en laboratorio (kg/cm³): NTP 400.037. - Ensayo en laboratorio (kg/cm³): NTP 400.012. 			
<ul style="list-style-type: none"> • Dosificación (en peso) 	<ul style="list-style-type: none"> • En peso del agregado fino y grueso 	<ul style="list-style-type: none"> - Balanza (kg). NTP 399.621. 			

resistencia a la flexión del adoquín de concreto tipo II para el uso del tránsito vehicular ligero y cumpla con la NTP 399.611?	tipo II elaborados con los residuos de roca caliza como agregado (fino y grueso) para el uso del tránsito vehicular ligero y cumpla con los parámetros establecido en la NTP 399.611.	cumplen con los requisitos de resistencia al desgaste establecidos por la NTP 399.611. HE4: Los adoquines de concreto tipo II elaborados con residuo de roca caliza como agregado (fino y grueso) alcanzan valores de resistencia a la flexión dentro de los límites establecidos por la NTP 399.611.			
TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	POBLACIÓN Y MUESTRA	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS		ESTADÍSTICA A UTILIZAR	
TIPO: APLICADA ALCANCE: EXPLICATIVO DISEÑO: CUASI EXPERIMENTAL MÉTODO: HIPOTETICO DEDUCTIVO	POBLACIÓN: CONFORMADA CON 120 ADOQUINES DE CONCRETO TIPO II TIPO DE MUESTREO: NO PROBABILÍSTICO, INTENCIONAL TAMAÑO DE MUESTRA: CONFORMADA CON 120 ADOQUINES DE CONCRETO TIPO II	VARIABLE DEPENDIENTE: PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS ADOQUINES DE CONCRETO TIPO II TÉCNICAS: - OBSERVACION - ENSAYO DE LABORATORIO INSTRUMENTOS: - GUIAS DE LABORATORIO - FORMATOS DE ENSAYOS EN LABORATORIO	VARIABLE INDEPENDIENTE: USO DE RESIDUOS DE ROCA CALIZA COMO AGREGADO (FINO Y GRUESO) TÉCNICAS: - OBSERVACION INSTRUMENTOS: - FORMAS DE ENSAYO DE LABORATORIO - GUIAS DE LABORATORIO	DESCRIPTIVA: LA TÉCNICA DE ANÁLISIS DE RESULTADOS; LA ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA INFERENCIA: ESTADISTICO ANOVA	

Anexo 2: Diseño de mezcla $f' = 320 \text{ kg/cm}^2$



DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

Arena Gruesa + Piedra Chancada (Residuo Piedra Caliza)

DISEÑO: $f'_c = 320 \text{ Kg/cm}^2 (32\text{MPa})$

INFORME N° 293-2022-3R-LG

CERTIFICADO
ISO 9001
SISTEMA DE
GESTIÓN DE
CALIDAD



TESISTA : **RAUL EDGAR CASTILLEJO MELGAREJO**

TESIS : **"PROPUESTA DE DISEÑO DE CONCRETO CON AGREGADO RECICLADO Y SU APLICACIÓN EN LA ELABORACIÓN DE ADOQUINES PARA EL TRANSITO VEHICULAR LIGERO"**

ENTIDAD : **UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

CANTERA : **BOTADERO PURHUAY- MARCARA**

FECHA : **Diciembre del 2022**

QR 3R



MATERIALES:

AGREGADOS : Material de cantera traído por el interesado.

CEMENTO : Portland Tipo I ASTM C-150

Peso Especifico = 3.11 gr/cm³ - Cemento: SOL

DATOS DEL AGREGADO FINO: Arena Gruesa

MODULO DE FINEZA	=	2.92
PESO ESPECIFICO	=	2.63 Tn/m ³
CONTENIDO DE HUMEDAD	=	1.80 %
ABSORCION	=	1.85 %
PESO SECO SUELTO	=	1473 Kg/m ³
PESO SECO COMPACTADO	=	1757 Kg/m ³

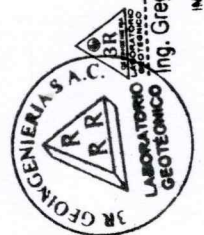
DATOS DEL AGREGADO GRUESO: Piedra Chancada 3/8"

PESO ESPECIFICO	=	2.62 Tn/m ³
CONTENIDO DE HUMEDAD	=	0.73 %
ABSORCION	=	0.86 %
PESO SECO SUELTO	=	1289 Kg/m ³
PESO SECO COMPACTADO	=	1530 Kg/m ³

VALORES DE DISEÑO:

RESISTENCIA A LA COMPRESION (f'_c)	=	320 Kg/cm ²
REVENIMIENTO	=	0 a 1 pulg
TAMAÑO MAXIMO	=	3/8 pulg

3R GEOINGENIERIA S.A.C.



Ing. Gregorio Antonio Gonzales Garcia
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL - CIP N° 73431

Registro
INDECOPI
N° 00131871





CERTIFICADO
ISO 9001
SISTEMA DE
GESTION DE
CALIDAD



AGUA DE MEZCLADO	=	226 Kg/m3
Factor de Seguridad	=	85
$f_{cr} = f_c + \text{Factor de Seguridad}$	=	405 Kg/cm2
AIRE TOTAL (%)	=	3.00
RELACION A/C	=	0.38
CONTENIDO DE CEMENTO	=	594.7 Kg/m3 = 14.0 bls.
VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO	=	0.48 M3
CONTENIDO DE AGREG. GRUESO	=	740.7 Kg.
PESO DEL CONCRETO	=	2345.0 Kg/m3
CONTENIDO DE AGREG. FINO	=	783.6 Kg.
AJUSTE POR HUMEDAD:		
AGREGADO GRUESO	=	746.1 Kg.
AGREGADO FINO	=	797.7 Kg.
AGUA DE MEZCLA NETA:		
AGUA EN EL AGREG. GRUESO	=	2.1 Kg.
AGUA EN EL AGREG. FINO	=	-0.4 Kg.
AGUA DE MEZCLADO NETA	=	224.4 Kg.

CANTIDAD DE MATERIALES POR M3 DE CONCRETO Y PROPORCIONES

DOSIFICACION EN PESO RESULTANTE:

Cemento	594.7 Kg. =	14.0 Bolsas
Agregado Grueso	746.1 Kg.	
Agregado Fino	797.7 Kg.	
Agua de Mezclado	224.4 Kg.	

DOSIFICACION EN VOLUMEN RESULTANTE:

Cemento	594.7 Kg. =	14.0 bls =	0.395 M3
Agregado Grueso	0.57 M3		
Agregado Fino	0.53 M3		
Agua de Mezclado	0.224 M3 =	224 Lts.	

La proporción será:

Cemento	=	1.0
Agregado Grueso - Piedra Chancada 3/8"	=	1.4
Agregado Fino - Arena Gruesa	=	1.3

Recomendaciones:

- Lavar el agregado fino, hasta obtener el porcentaje permisible de finos.
- Zarandear el agregado grueso, hasta obtener el tamaño máximo del diseño.

3R GEOINGENIERIA S.A.C.
Ing. Gregorio Antonio Gonzales Garcia
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL - CIP N° 73431



Registro
INDECOPI
N° 00131871





CERTIFICADO
ISO 9001
SISTEMA DE
GESTIÓN DE
CALIDAD



QR 3R



Registro
INDECOPI
N° 00131871



TESISTA	: RAÚL EDGAR CASTILLEJO MELGAREJO		
TESIS	: "PROPUESTA DE DISEÑO DE CONCRETO CON AGREGADO RECICLADO Y SU APLICACIÓN EN LA ELABORACIÓN DE ADOQUINES PARA EL TRANSITO VEHICULAR LIGERO"	CANTERA:	: BOTADERO PURHUAY- MARCARA PIEDRA CHANCADA
		FECHA	: Diciembre del 2022

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

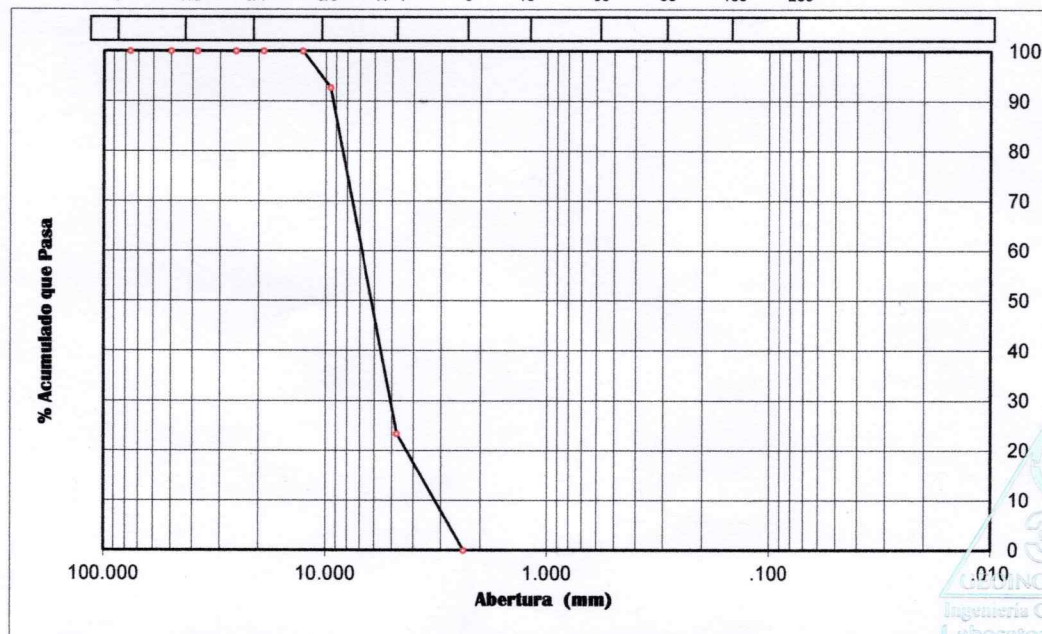
CLASIFICACION ASTM C-33

TAMAÑO MÁXIMO :	3/8"
PESO INICIAL SECO :	2,100.00 grs
% QUE PASA MALLA No 4 :	23.43
PESO LAVADO SECO :	2,085.00 grs
% RETENIDO MALLA 3" :	0.00

Tamices ASTM	Abertura (mm)	Peso Retenido (grs)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Acumulado Que Pasa
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.525	152.30	7.25	7.25	92.75
No 4	4.760	1455.60	69.31	76.57	23.43
No 8	2.380	466.50	22.21		0.00
No 16	1.190	7.90	0.38		
No 30	0.590	1.00	0.05		
No 50	0.297	0.60	0.03		
No 100	0.149	0.60	0.03		
No 200	0.074	0.40	0.02		
> No 200	0.000	0.10	0.00		
TOTAL		2085.00	99.29		

GRAVA	ARENA	FINOS
-------	-------	-------

3" 1 1/2" 3/4" 3/8" N° 4 8 16 30 50 100 200

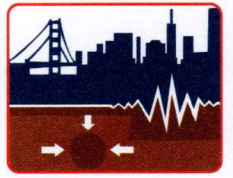


GRAVA (%) = 76.57	ARENA (%) = 23.43	FINOS (%) = 0.00
-------------------	-------------------	------------------

3R GEOINGENIERIA S.A.C.



ing. Gregorio Antonio Gonzales Garcia
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL - CIP N° 73431



CERTIFICADO
ISO 9001
SISTEMA DE
GESTIÓN DE
CALIDAD



QR 3R



Registro
INDECOPI
N° 00131871



TESISTA : RAÚL EDGAR CASTILLEJO MELGAREJO	CANTERA: : BOTADERO PURHUAY- MARCAR/
TESIS : "PROPUESTA DE DISEÑO DE CONCRETO CON AGREGADO RECICLADO Y SU APLICACIÓN EN LA ELABORACIÓN DE ADOQUINES PARA EL TRANSITO VEHICULAR LIGERO"	ARENA GRUESA
	FECHA : Diciembre del 2022

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

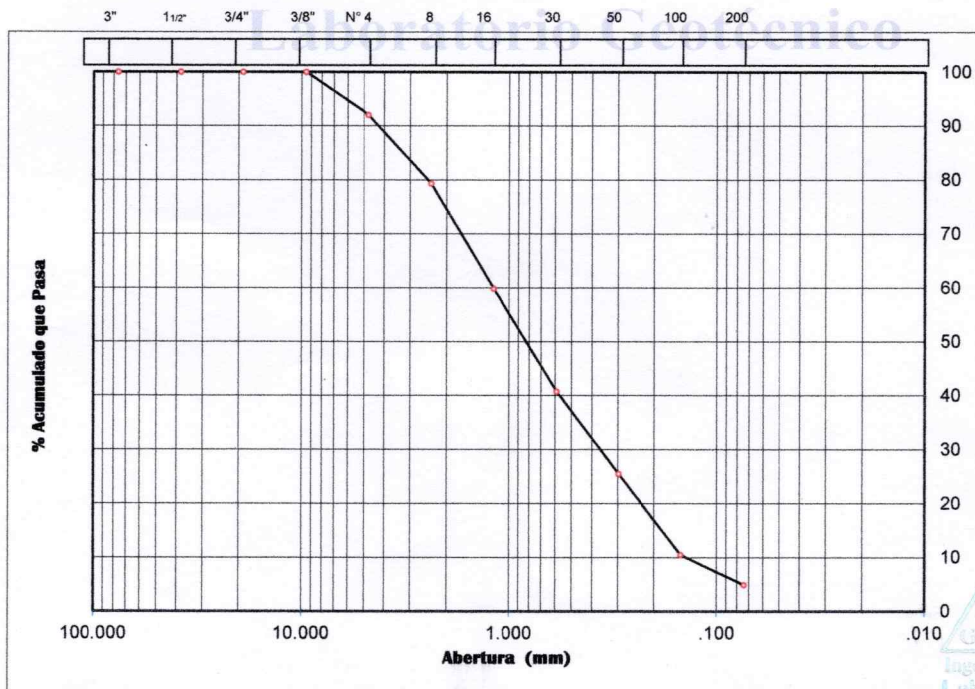
CLASIFICACION ASTM C-33

PESO INICIAL SECO : 1,728.00 grs % QUE PASA MALLA No 200 : 4.90
PESO LAVADO SECO : 1,646.00 grs % RETENIDO MALLA 3" : 0.00

Tamices ASTM	Abertura (mm)	Peso Retenido (grs)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Acumulado Que Pasa
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
No 4	4.760	137.40	7.95	7.95	92.05
No 8	2.380	219.20	12.69	20.64	79.36
No 16	1.190	337.00	19.50	40.14	59.86
No 30	0.590	330.20	19.11	59.25	40.75
No 50	0.297	262.80	15.21	74.46	25.54
No 100	0.149	260.10	15.05	89.51	10.49
No 200	0.074	96.60	5.59	95.10	4.90
> No 200	0.000	2.70	0.16	95.25	
TOTAL		1646.00	95.25		

Nota: Limite máximos de finos = 5%

GRAVA	ARENA	FINOS
-------	-------	-------



GRAVA (%) = 7.95	ARENA (%) = 87.15	FINOS (%) = 4.90
------------------	-------------------	------------------

3R GEOINGENIERIA S.A.C.



Ing. Gregorio Adolfo Gonzales Garcia
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERIA CIVIL - C.P. N° 73431





PESO ESPECIFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCION

TESISTA : RAÚL EDGAR CASTILLEJO MELGAREJO

TESIS : "PROPUESTA DE DISEÑO DE CONCRETO CON AGREGADO RECICLADO Y SU APLICACIÓN EN LA ELABORACIÓN DE ADOQUINES PARA EL TRANSITO VEHICULAR LIGERO"

CANTERA : BOTADERO PURHUAY- MARCARA

FECHA : Diciembre del 2022

Identificación (Agregado)	FINO	GRUESO
Tamaño Máximo de la muestra	Malla # 4	1/2"
Tipo de Frasco Utilizado	Fiola	Probeta
Peso Frasco + Agua = (A)	648.50	1667.00
Peso mat. y Sup. Seca en Aire = (B)	200.00	500.00
Mat. Sat. + Agua + Frasco: A+B = (C)	848.50	2167.00
Peso Global con Desplaz. de Vol. = (D)	772.50	1976.20
Peso Vol. Masa + Vol. Vacíos: C-D = (E)	76.00	190.80
Peso Mat. Sat. y Sup. Seca en Agua = (F)	----	----
Peso Secado en Estufa a 105°C = (G)	----	----
Peso del Vol. De la Masa: E-(B-C) = (H)	----	----
P.E. Bulk (Base Seca) = G/E	----	----
P.E. Bulk (Base Saturada) = B/E	2.63	2.62
P.E. Aparente o Relativo = G/H	----	----

N° de Tarro	10	13
Peso del Tarro + Mat. SSS en Aire = (a)	110.55	125.37
Peso del Tarro + Mat. Secado en Estufa = (b)	108.96	124.50
Peso del Agua (a-b) = (c)	1.59	0.87
Peso del Tarro = (d)	23.10	22.98
Peso del Material Secado en Estufa (b-d) = (e)	85.86	101.52
Porcentaje de Absorción = (c)x100/e	1.85	0.86

CERTIFICADO
ISO 9001
SISTEMA DE
GESTIÓN DE
CALIDAD



QR 3R



Registro
INDECOPI
N° 00131871



3R GEOINGENIERIA S.A.C.

Ing. Gregorio Antonio Gonzales Garcia
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL - CIP N° 73431





CERTIFICADO
ISO 9001
SISTEMA DE
GESTIÓN DE
CALIDAD



QR 3R



TESISTA	: RAÚL EDGAR CASTILLEJO MELGAREJO		
TESIS	: "PROPUESTA DE DISEÑO DE CONCRETO CON AGREGADO REICLADO Y SU APLICACIÓN EN LA ELABORACIÓN DE ADOQUINES PARA EL TRANSITO VEHICULAR LIGERO"		
	CANTERA:	: BOTADERO PURHUAY- MARCARA	
	FECHA	: Diciembre del 2022	

CONTENIDO DE HUMEDAD

ASTM D-2216

POZO	C-01		C-02	
	1	2	3	4
MUESTRA	MA-01 (Ag. Fino)		MA-01 (Ag. Grueso)	
MATERIAL	ARENA GRUESA		PIEDRA CHANCADA	
FRASCO N°	1	2	3	4
(1) Pfr + P.S.H. (gr)	262.52	257.90	235.27	196.58
(2) Pfr+ P.S.S. (gr)	258.72	254.10	234.01	195.30
(3) Pagua (gr) (1) - (2)	3.80	3.80	1.26	1.28
(4) Pfr (gr)	49.70	40.10	37.17	38.03
(5) P.S.S. (gr) (2) - (4)	209.02	214.00	196.84	157.27
(6) C. Humedad (%) (3) / (5)	1.82	1.78	0.64	0.81
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO	1.80%		0.73%	

Nota: Pfr = Peso del frasco
P.S.H. = Peso del suelo humedo
P.S.S. = Peso del suelo seco
Pagua = Peso del agua

GEOINGENIERÍA S.A.C.
Ingeniería Civil Especializada
Laboratorio Geotécnico



3R GEOINGENIERIA S.A.C.
Ing. Gregorio Antonio Gonzales Garcia
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL - CIP N° 73431

Registro
INDECOPI
N° 00131871





CERTIFICADO
ISO 9001
SISTEMA DE
GESTIÓN DE
CALIDAD



TESISTA	: RAÚL EDGAR CASTILLEJO MELGAREJO		
TESIS	: "PROPUESTA DE DISEÑO DE CONCRETO CON AGREGADO RECICLADO Y SU APLICACIÓN EN LA ELABORACIÓN DE ADOQUINES PARA EL TRANSITO VEHICULAR LIGERO"	CANTERA:	: BOTADERO PURHUAY- MARCARA
		FECHA	: Diciembre del 2022

PESO UNITARIO FINO - ARENA GRUESA

TIPO DE PESO UNITARIO	PESO UNITARIO SUELTO			PESO UNITARIO VARILLADO		
	1	2	3	1	2	3
MUESTRA N°						
PESO MATERIAL + MOLDE	5290.00	5285.00	5289.00	5538.00	5537.00	5586.00
PESO DEL MOLDE	3908.00	3908.00	3908.00	3908.00	3908.00	3908.00
PESO DEL MATERIAL	1382.00	1377.00	1381.00	1630.00	1629.00	1678.00
VOLUMEN DEL MOLDE	936.83	936.83	936.83	936.83	936.83	936.83
PESO UNITARIO	1.475	1.470	1.474	1.740	1.739	1.791
PESO UNITARIO PROMEDIO	1.473			1.757		

QR 3R



PESO UNITARIO GRUESO - PIEDRA CHANCADA

TIPO DE PESO UNITARIO	PESO UNITARIO SUELTO			PESO UNITARIO VARILLADO		
	1	2	3	1	2	3
MUESTRA N°						
PESO MATERIAL + MOLDE	5121.00	5115.00	5112.00	5340.00	5341.00	5344.00
PESO DEL MOLDE	3908.00	3908.00	3908.00	3908.00	3908.00	3908.00
PESO DEL MATERIAL	1213.00	1207.00	1204.00	1432.00	1433.00	1436.00
VOLUMEN DEL MOLDE	936.83	936.83	936.83	936.83	936.83	936.83
PESO UNITARIO	1.295	1.288	1.285	1.529	1.530	1.533
PESO UNITARIO PROMEDIO	1.289			1.530		

Registro
INDECOPI
N° 00131871



3R GEOINGENIERIA S.A.C.
Ing. Gregorio Antonio Gonzales Garcia
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL - CIP N° 73431



Anexo 3: Resultados de los diferentes ensayos: compresión, absorción, desgaste y flexion



RESISTENCIA AL DESGASTE DEL AGREGADO GRUESO POR ABRASION ABRASION LOS ANGELES

ASTM - C131 - C535 - AASHTO T-96 - MTC E 207-2000

INFORME N° 293-2022-3R-LG

SOLICITA : RAÚL EDGAR CASTILLEJO MELGAREJO

OBRA : "PROPUESTA DE DISEÑO DE CONCRETO CON AGREGADO
RECICLADO Y SU APLICACIÓN EN LA ELABORACIÓN DE
ADOQUINES PARA EL TRANSITO VEHICULAR LIGERO"

CANTERA : BOTADERO PURHUAY- MARCARA - CARHUAZ Fecha : Diciembre del 2022

MUESTRA : PIEDRA CHANCADA Técnico : BRRH



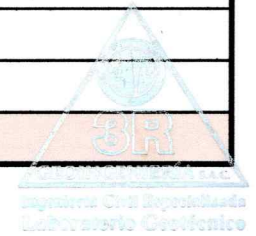
TAMAÑO MALLA		PESO DE LOS TAMAÑOS INDICADOS EN GRAMOS						
PASA EL TAMIZ	RETENIDO EN EL TAMIZ	GRADO "A" (12)	GRADO "B" (11)	GRADO "C" (8)	GRADO "D" (6)	GRADO "1" (12)	GRADO "2" (12)	GRADO "3" (12)
3"	2 1/2"					2500gr.±50		
2 1/2"	2"					2500gr.±50		
2"	1 1/2"					5000gr.±50	5000gr.±50	
1 1/2"	1"	1250 gr.±25					5000gr.±25	5000gr.±25
1"	3/4"	1250 gr.±25						5000gr.±25
3/4"	1/2"	1250 gr.±10	2500gr.±10					
1/2"	3/8"	1250 gr.±10	2500gr.±10					
3/8"	No 3			2500gr.±10				
No 3	No 4			2500gr.±10				
No 4	No 8					5000gr.±10		

Nota: Los números entre parentesis indican la cantidad de esfera

IDENTIFICACION CANTERA	: BOTADERO PURHUAY- MARCARA - CARHUAZ
Muestra	: PIEDRA CHANCADA
Clasificación SUCS / AASHTO	--- . ---
Peso total de la muestra	10,000.00
Graduación	"2" (12)
Peso Mat/Ret. en la Malla N° 12 (gr)	6,728.00
Peso Material que Pasa Malla N° 12 (gr)	3,272.00
Porcentaje Desgaste (%)	32.72%



REGISTRO INDECOPI CERTIFICADO N° 001111
 LABORATORIO GEOTECNICO
 Ingeiero Civil - CIP N° 73431
 Consultor de Obras - CONSUCODE N° REG. C7683
 Gonzalez Giron Gregorio Antonio





**UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS



“Una nueva universidad para el Desarrollo”

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE PROBETAS DE CONCRETO
Norma ASTM C-39 – AASHTO T-22

Solicitud de Ensayo : 029-2023-UNASAM/FIC/LMSyP

Solicitante : Ing. RAUL EDGAR CASTILLEJO MELGAREJO

Tesis : “Propuesta de diseño de concreto con agregado reciclado y su aplicación en la elaboración de adoquines para el tránsito vehicular ligero”

Ubicación : Independencia, Huaraz-Ancash

Muestra : Probetas de concreto

Norma : ASTM C-39 – AASHTO T-22

BRIQUETA		DISEÑO	SLUMP	FECHA		EDAD	CARGA	ÁREA	RESISTENCIA A LA COMPRESION	
Nº	DESCRIPCION	Kg/cm ²	(")	MOLDEO	ROTURA	DIAS	(Kg)	(cm ²)	Kg/cm ²	Mpa
1	Muestra Patron	320	"	28/12/2022	04/01/2023	7	24120.00	81.70	295.23	28.95
2				28/12/2022	04/01/2023	7	24190.00	81.70	296.08	29.04
3				28/12/2022	04/01/2023	7	24160.00	81.70	295.72	29.00
4				28/12/2022	04/01/2023	7	24120.00	81.70	295.23	28.95
5				28/12/2022	04/01/2023	7	24190.00	81.70	296.08	29.04
6	Muestra Patron	320	"	28/12/2022	11/01/2023	14	30110.25	81.70	368.55	36.14
7				28/12/2022	11/01/2023	14	30170.24	81.70	369.28	36.21
8				28/12/2022	11/01/2023	14	30107.05	81.70	368.51	36.14
9				28/12/2022	11/01/2023	14	30110.25	81.70	368.55	36.14
10				28/12/2022	11/01/2023	14	30170.24	81.70	369.28	36.21
11	Muestra Patron	320	"	28/12/2022	25/01/2023	28	35855.36	81.70	438.87	43.04
12				28/12/2022	25/01/2023	28	35767.32	81.70	437.79	42.93
13				28/12/2022	25/01/2023	28	35475.78	81.70	434.22	42.58
14				28/12/2022	25/01/2023	28	35855.36	81.70	438.87	43.04
15				28/12/2022	25/01/2023	28	35767.32	81.70	437.79	42.93

Observaciones:

Las muestras de briquetas de concreto fueron traídas por el solicitante para sus respectivas pruebas de Resistencia a la Compresión



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ING. MARCO ANTONIO MEDINA MAGUIRA



**UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

“Una nueva universidad para el Desarrollo”

**RESISTENCIA A LA COMPRESION DE ADOQUINES DE CONCRETO
NTP 399.611**

Solicitud de ensayo : N°030-2023-UNASAM/FIC/LMSyP
 Solicitante : Ing. RAUL EDGAR CASTILLEJO MELGAREJO
 Tesis : “Propuesta de diseño de concreto con agregado reciclado y su aplicación en la elaboración de adoquines para el tránsito vehicular ligero”
 Ubicación : Independencia, Huaraz-Ancash
 Muestra : ADOQUÍN DE CONCRETO TIPO II (20cm x 10 cm x 6cm)
 Norma : NTP 399.611
 Título : UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Adoquines de concreto para pavimento

Muestra N°	Descripción	Fecha		Edad Días	Carga (Kg)	Área (cm ²)	Resistencia a la Compresión	
		Moldeo	Rotura				Kg/cm ²	Mpa
01	ADOQUIN TIPO II (PATRON)	01/01/2023	08/01/2023	7	73224.36	200.00	366.12	35.90
02		01/01/2023	08/01/2023	7	73368.24	200.00	366.84	35.97
03		01/01/2023	08/01/2023	7	73126.28	200.00	365.63	35.86
04		01/01/2023	08/01/2023	7	73224.36	200.00	366.12	35.90
05		01/01/2023	08/01/2023	7	73368.24	200.00	366.84	35.97
06	ADOQUIN TIPO II (PATRON)	01/01/2023	15/01/2023	14	90642.22	200.00	453.21	44.44
07		01/01/2023	15/01/2023	14	90322.14	200.00	451.61	44.29
08		01/01/2023	15/01/2023	14	90096.26	200.00	450.48	44.18
09		01/01/2023	15/01/2023	14	90642.22	200.00	453.21	44.44
10		01/01/2023	15/01/2023	14	90322.14	200.00	451.61	44.29
11	ADOQUIN TIPO II (PATRON)	01/01/2023	29/01/2023	28	98645.23	200.00	493.23	48.37
12		01/01/2023	29/01/2023	28	98845.23	200.00	494.23	48.47
13		01/01/2023	29/01/2023	28	98945.23	200.00	494.73	48.52
14		01/01/2023	29/01/2023	28	98645.23	200.00	493.23	48.37
15		01/01/2023	29/01/2023	28	98845.23	200.00	494.23	48.47

Observaciones:

Muestreo, Identificación y Ensayos realizados por el solicitante



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS
 ING. MARCO ANTONIO MEDINA MAGUIRA



**UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

"Una nueva universidad para el Desarrollo"

**RESISTENCIA A LA COMPRESION DE ADOQUINES DE CONCRETO
NTP 399.611**

Solicitud de ensayo : N°030-2023-UNASAM/FIC/LMSyP
 Solicitante : Ing. RAUL EDGAR CASTILLEJO MELGAREJO
 Tesis : "Propuesta de diseño de concreto con agregado reciclado y su aplicación en la elaboración de adoquines para el tránsito vehicular ligero"
 Ubicación : Independencia, Huaraz-Ancash
 Muestra : ADOQUÍN DE CONCRETO TIPO II (20cm x 10 cm x 6cm)
 Norma : NTP 399.611
 Título : UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Adoquines de concreto para pavimento

Muestra N°	Descripción	Fecha		Edad	Carga	Área	Resistencia a la Compresión	
		Moldeo	Rotura	Días	(Kg)	(cm ²)	Kg/cm ²	Mpa
01	ADOQUIN TIPO II (PROPORCION 1)	01/01/2023	08/01/2023	7	70128.38	200.00	350.64	34.39
02		01/01/2023	08/01/2023	7	70264.54	200.00	351.32	34.45
03		01/01/2023	08/01/2023	7	70128.32	200.00	350.64	34.39
04		01/01/2023	08/01/2023	7	70128.38	200.00	350.64	34.39
05		01/01/2023	08/01/2023	7	70264.54	200.00	351.32	34.45
06	ADOQUIN TIPO II (PROPORCION 1)	01/01/2023	15/01/2023	14	87442.22	200.00	437.21	42.88
07		01/01/2023	15/01/2023	14	87321.10	200.00	436.61	42.82
08		01/01/2023	15/01/2023	14	87438.20	200.00	437.19	42.87
09		01/01/2023	15/01/2023	14	87442.22	200.00	437.21	42.88
10		01/01/2023	15/01/2023	14	87321.10	200.00	436.61	42.82
11	ADOQUIN TIPO II (PROPORCION 1)	01/01/2023	29/01/2023	28	94882.60	200.00	474.41	46.52
12		01/01/2023	29/01/2023	28	94880.40	200.00	474.40	46.52
13		01/01/2023	29/01/2023	28	94920.36	200.00	474.60	46.54
14		01/01/2023	29/01/2023	28	94882.60	200.00	474.41	46.52
15		01/01/2023	29/01/2023	28	94880.40	200.00	474.40	46.52

Observaciones:

Muestreo, Identificación y Ensayos realizados por el solicitante



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS
 ING. MARCO ANTONIO MEDINA MAGUIÑA



**UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS



"Una nueva universidad para el Desarrollo"

**RESISTENCIA A LA COMPRESION DE ADOQUINES DE CONCRETO
NTP 399.611**

Solicitud de ensayo : N°030-2023-UNASAM/FIC/LMSyP
Solicitante : Ing. RAUL EDGAR CASTILLEJO MELGAREJO
Tesis : "Propuesta de diseño de concreto con agregado reciclado y su aplicación en la elaboración de adoquines para el tránsito vehicular ligero"
Ubicación : Independencia, Huaraz-Ancash
Muestra : ADOQUÍN DE CONCRETO TIPO II (20cm x 10 cm x 6cm)
Norma : NTP 399.611
Título : UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Adoquines de concreto para pavimento

Muestra N°	Descripción	Fecha		Edad	Carga	Área	Resistencia a la Compresión	
		Vaciado	Ensayo	Días	(Kg)	(cm ²)	Kg/cm ²	Mpa
01	ADOQUIN TIPO II (PROPORCION 2)	01/01/2023	08/01/2023	7	62128.38	200.00	310.64	30.46
02		01/01/2023	08/01/2023	7	62264.54	200.00	311.32	30.53
03		01/01/2023	08/01/2023	7	62128.32	200.00	310.64	30.46
04		01/01/2023	08/01/2023	7	62128.38	200.00	310.64	30.46
05		01/01/2023	08/01/2023	7	62264.54	200.00	311.32	30.53
06	ADOQUIN TIPO II (PROPORCION 2)	01/01/2023	15/01/2023	14	83442.22	200.00	417.21	40.91
07		01/01/2023	15/01/2023	14	83321.10	200.00	416.61	40.85
08		01/01/2023	15/01/2023	14	83438.20	200.00	417.19	40.91
09		01/01/2023	15/01/2023	14	83442.22	200.00	417.21	40.91
10		01/01/2023	15/01/2023	14	83321.10	200.00	416.61	40.85
11	ADOQUIN TIPO II (PROPORCION 2)	01/01/2023	29/01/2023	28	90882.60	200.00	454.41	44.56
12		01/01/2023	29/01/2023	28	90880.40	200.00	454.40	44.56
13		01/01/2023	29/01/2023	28	90920.36	200.00	454.60	44.58
14		01/01/2023	29/01/2023	28	90882.60	200.00	454.41	44.56
15		01/01/2023	29/01/2023	28	90880.40	200.00	454.40	44.56

Observaciones:

Muestreo, Identificación y Ensayos realizados por el solicitante



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS
 ING. MARCO ANTONIO MEDINA MAGUIÑA



**UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS



“Una nueva universidad para el Desarrollo”

**RESISTENCIA A LA COMPRESION DE ADOQUINES DE CONCRETO
NTP 399.611**

Solicitud de ensayo : N°030-2023-UNASAM/FIC/LMSyP
 Solicitante : Ing. RAUL EDGAR CASTILLEJO MELGAREJO
 Tesis : “Propuesta de diseño de concreto con agregado reciclado y su aplicación en la elaboración de adoquines para el tránsito vehicular ligero”
 Ubicación : Independencia, Huaraz-Ancash
 Muestra : ADOQUÍN DE CONCRETO TIPO II (20cm x 10 cm x 6cm)
 Norma : NTP 399.611
 Título : UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Adoquines de concreto para pavimento

Muestra N°	Descripción	Fecha		Edad Días	Carga (Kg)	Área (cm ²)	Resistencia a la Compresión	
		Moldeo	Rotura				Kg/cm ²	Mpa
01	ADOQUIN TIPO II (PROPORCION3)	02/11/2023	09/11/2023	7	58224.36	200.00	291.12	28.55
02		02/11/2023	09/11/2023	7	58368.24	200.00	291.84	28.62
03		02/11/2023	09/11/2023	7	58126.28	200.00	290.63	28.50
04		02/11/2023	09/11/2023	7	58224.36	200.00	291.12	28.55
05		02/11/2023	09/11/2023	7	58368.24	200.00	291.84	28.62
06	ADOQUIN TIPO II (PROPORCION3)	02/11/2023	16/11/2023	14	76642.22	200.00	383.21	37.58
07		02/11/2023	16/11/2023	14	76322.14	200.00	381.61	37.42
08		02/11/2023	16/11/2023	14	76096.26	200.00	380.48	37.31
09		02/11/2023	16/11/2023	14	76642.22	200.00	383.21	37.58
10		02/11/2023	16/11/2023	14	76322.14	200.00	381.61	37.42
11	ADOQUIN TIPO II (PROPORCION3)	02/11/2023	30/11/2023	28	84645.23	200.00	423.23	41.50
12		02/11/2023	30/11/2023	28	84645.23	200.00	423.23	41.50
13		02/11/2023	30/11/2023	28	84645.23	200.00	423.23	41.50
14		02/11/2023	30/11/2023	28	84645.23	200.00	423.23	41.50
15		02/11/2023	30/11/2023	28	84645.23	200.00	423.23	41.50

Observaciones:

Muestreo, Identificación y Ensayos realizados por el solicitante



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS
 ING. MARCO ANTONIO MEDINA MAGUÑA



UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS



"Una nueva universidad para el Desarrollo"

ENSAYO DE ABSORCION Y DENSIDAD DE ADOQUINES DE CONCRETO
NTP 399.604

Solicitud de ensayo : 032-2023-UNASAM/FIC/LMSyP
Solicitante : Ing. RAUL EDGAR CASTILLEJO MELGAREJO
Tesis : "Propuesta de diseño de concreto con agregado reciclado y su aplicación en la elaboración de adoquines para el tránsito vehicular ligero"
Ubicación : Independencia, Huaraz-Ancash
Muestra : ADOQUÍN DE CONCRETO TIPO II (20cm x 10 cm x 6cm)
Norma : NTP 399.604
Título : UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Adoquines de concreto para pavimento

MUESTRA	DESCRIPCION	MASA SATURADA (g)	MASA SUMERGIDA (g)	MASA SECA AL HORNO (g)	DENSIDAD (kg/m ³)	ABSORCION (%)
A-II (1)	ADOQUIN TIPO II PATRON	2809.00	1650.80	2680.23	2314.13	4.80%
A-II (2)	ADOQUIN TIPO II PATRON	2812.30	1652.60	2684.20	2314.56	4.77%
A-II (3)	ADOQUIN TIPO II PATRON	2812.82	1651.80	2685.20	2312.79	4.75%
A-II (4)	ADOQUIN TIPO II PATRON	2809.00	1650.80	2680.23	2314.13	4.80%
A-II (5)	ADOQUIN TIPO II PATRON	2812.30	1652.60	2684.20	2314.56	4.77%

Observaciones:

Muestreo, Identificación y Ensayos realizados por el solicitante



LABORATIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ING. MARCO ANTONIO MEDINA MAGUIRA



UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS



"Una nueva universidad para el Desarrollo"

**ENSAYO DE ABSORCION Y DENSIDAD DE ADOQUINES DE CONCRETO
NTP 399.604**

Solicitud de ensayo : 032-2023-UNASAM/FIC/LMSyP
Solicitante : Ing. RAUL EDGAR CASTILLEJO MELGAREJO
Tesis : "Propuesta de diseño de concreto con agregado reciclado y su aplicación en la elaboración de adoquines para el tránsito vehicular ligero"
Ubicación : Independencia, Huaraz-Ancash
Muestra : ADOQUÍN DE CONCRETO TIPO II (20cm x 10 cm x 6cm)
Norma : NTP 399.604
Título : UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Adoquines de concreto para pavimento

MUESTRA	DESCRIPCION	MASA SATURADA (g)	MASA SUMERGIDA (g)	MASA SECA AL HORNO (g)	DENSIDAD (kg/m ³)	ABSORCION (%)
A-II (1)	ADOQUIN TIPO II PROPORCION 1	2788.00	1620.40	2680.52	2295.75	4.01%
A-II (2)	ADOQUIN TIPO II PROPORCION 1	2785.10	1618.26	2678.06	2295.14	4.00%
A-II (3)	ADOQUIN TIPO II PROPORCION 1	2782.00	1616.80	2674.00	2294.88	4.04%
A-II (4)	ADOQUIN TIPO II PROPORCION 1	2782.00	1616.80	2674.00	2294.88	4.04%
A-II (5)	ADOQUIN TIPO II PROPORCION 1	2782.00	1616.80	2674.00	2294.88	4.04%

Observaciones:

Muestreo, Identificación y Ensayos realizados por el solicitante



LABORATIO DE MECÁNICA DE
SUELOS Y PAVIMENTOS
ING. MARCO ANTONIO MEDINA MAGUIRA



UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS



"Una nueva universidad para el Desarrollo"

ENSAYO DE ABSORCION Y DENSIDAD DE ADOQUINES DE CONCRETO
NTP 399.604

Solicitud de ensayo : 032-2023-UNASAM/FIC/LMSyP
Solicitante : Ing. RAUL EDGAR CASTILLEJO MELGAREJO
Tesis : "Propuesta de diseño de concreto con agregado reciclado y su aplicación en la elaboración de adoquines para el tránsito vehicular ligero"
Ubicación : Independencia, Huaraz-Ancash
Muestra : ADOQUÍN DE CONCRETO TIPO II (20cm x 10 cm x 6cm)
Norma : NTP 399.604
Título : UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Adoquines de concreto para pavimento

MUESTRA	DESCRIPCION	MASA SATURADA (g)	MASA SUMERGIDA (g)	MASA SECA AL HORNO (g)	DENSIDAD (kg/m^3)	ABSORCION (%)
A-II (1)	ADOQUIN TIPO II PROPORCION 2	2718.00	1480.26	2624.28	2120.22	3.57%
A-II (2)	ADOQUIN TIPO II PROPORCION 2	2714.10	1476.40	2620.00	2116.83	3.59%
A-II (3)	ADOQUIN TIPO II PROPORCION 2	2716.25	1476.20	2623.00	2115.24	3.56%
A-II (4)	ADOQUIN TIPO II PROPORCION 2	2718.00	1480.26	2624.28	2120.22	3.57%
A-II (5)	ADOQUIN TIPO II PROPORCION 2	2714.10	1476.40	2620.00	2116.83	3.59%

Observaciones:

Muestreo, Identificación y Ensayos realizados por el solicitante



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ING. MARCO ANTONIO MEDINA MAGUIÑA



UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS



"Una nueva universidad para el Desarrollo"

**ENSAYO DE ABSORCION Y DENSIDAD DE ADOQUINES DE CONCRETO
NTP 399.604**

Solicitud de ensayo : 032-2023-UNASAM/FIC/LMSyP
Solicitante : Ing. RAUL EDGAR CASTILLEJO MELGAREJO
Tesis : "Propuesta de diseño de concreto con agregado reciclado y su aplicación en la elaboración de adoquines para el tránsito vehicular ligero"
Ubicación : Independencia, Huaraz-Ancash
Muestra : ADOQUÍN DE CONCRETO TIPO II (20cm x 10 cm x 6cm)
Norma : NTP 399.604
Título : UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Adoquines de concreto para pavimento

MUESTRA	DESCRIPCION	MASA SATURADA (g)	MASA SUMERGIDA (g)	MASA SECA AL HORNO (g)	DENSIDAD (kg/m ³)	ABSORCION (%)
A-II (1)	ADOQUIN TIPO II PROPORCION 3	2680.40	1426.40	2592.80	2067.62	3.38%
A-II (2)	ADOQUIN TIPO II PROPORCION 3	2681.20	1430.10	2594.20	2073.54	3.35%
A-II (3)	ADOQUIN TIPO II PROPORCION 3	2680.22	1426.00	2594.30	2068.46	3.31%
A-II (4)	ADOQUIN TIPO II PROPORCION 3	2680.40	1426.40	2592.80	2067.62	3.38%
A-II (5)	ADOQUIN TIPO II PROPORCION 3	2681.20	1430.10	2594.20	2073.54	3.35%

Observaciones:

Muestreo, Identificación y Ensayos realizados por el solicitante



LABORATIO DE MECANICA DE
SUELOS Y PAVIMENTOS
ING. MARCO ANTONIO MEDINA MAGUIRA



UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS



"Una nueva universidad para el Desarrollo"

STANDARD TEST METHOD FOR ABRASION RESISTANCE OF CONCRETE OR MORTAR SURFACES BY THE ROTATING-CUTTER METHOD (MÉTODO NORMALIZADO PARA LA RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DEL CONCRETO O SUPERFICIES DE MORTERO MEDIANTE EL ENSAYO DEL RODILLO GIRATORIO)

Solicitud de ensayo : 033-2023-UNASAM/FIC/LMSyP
Solicitante : Ing. RAUL EDGAR CASTILLEJO MELGAREJO
Tesis : "Propuesta de diseño de concreto con agregado reciclado y su aplicación en la elaboración de adoquines para el tránsito vehicular ligero"
Ubicación : Independencia, Huaraz-Ancash
Muestra : ADOQUÍN DE CONCRETO TIPO II (20cm x 10 cm x 6cm)
Norma : ASTM C944/C944M-12
Título : UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Adoquines de concreto para pavimento

Muestra	Descripción o nombre de la muestra	Fecha Ensayo	Edad (días)	Tiempo Abrasión (Minutos)	ciclo	Carga (N)	Masa	Masa	Desgaste (g)	Desgaste (%)
							Inicial (g)	Final (g)		
M-1	ADOQUIN TIPO II PATRON	09/06/2025	28	2	3	98	2680.00	2676.18	3.82	0.14%
M-2		09/06/2025	28	2	3	98	2720.00	2715.31	4.69	0.17%
M-3		09/06/2025	28	2	3	98	2696.00	2692.02	3.98	0.15%
M-4		09/06/2025	28	2	3	98	2680.00	2676.18	3.82	0.14%
M-5		09/06/2025	28	2	3	98	2720.00	2715.31	4.69	0.17%

Observaciones:

Muestreo, Identificación y Ensayos realizados por el solicitante.



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ING. MARCO ANTONIO MEDINA MAGUIÑA



UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS



"Una nueva universidad para el Desarrollo"

STANDARD TEST METHOD FOR ABRASION RESISTANCE OF CONCRETE OR MORTAR SURFACES BY THE ROTATING-CUTTER METHOD (MÉTODO NORMALIZADO PARA LA RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DEL CONCRETO O SUPERFICIES DE MORTERO MEDIANTE EL ENSAYO DEL RODILLO GIRATORIO)

Solicitud de ensayo : 033-2023-UNASAM/FIC/LMSyP
Solicitante : Ing. RAUL EDGAR CASTILLEJO MELGAREJO
Tesis : "Propuesta de diseño de concreto con agregado reciclado y su aplicación en la elaboración de adoquines para el tránsito vehicular ligero"
Ubicación : Independencia, Huaraz-Ancash
Muestra : ADOQUÍN DE CONCRETO TIPO II (20cm x 10 cm x 6cm)
Norma : ASTM C944/C944M-12
Título : UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Adoquines de concreto para pavimento

Muestra	Descripción o nombre de la muestra	Fecha Ensayo	Edad (días)	Tiempo Abrasión (Minutos)	ciclo	Carga (N)	Masa	Masa	Desgaste (g)	Desgaste (%)
							Inicial (g)	Final (g)		
M-1	ADOQUIN TIPO II PROPORCION 1	09/06/2025	28	2	3	98	2689.00	2684.90	4.10	0.15%
M-2		09/06/2025	28	2	3	98	2680.00	2675.70	4.30	0.16%
M-3		09/06/2025	28	2	3	98	2660.00	2655.70	4.30	0.16%
M-4		09/06/2025	28	2	3	98	2689.00	2684.90	4.10	0.15%
M-5		09/06/2025	28	2	3	98	2680.00	2675.70	4.30	0.16%

Observaciones:

Muestreo, Identificación y Ensayos realizados por el solicitante.



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ING. MARCO ANTONIO MEDINA MAGUINA



UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS



"Una nueva universidad para el Desarrollo"

STANDARD TEST METHOD FOR ABRASION RESISTANCE OF CONCRETE OR MORTAR SURFACES BY THE ROTATING-CUTTER METHOD (MÉTODO NORMALIZADO PARA LA RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DEL CONCRETO O SUPERFICIES DE MORTERO MEDIANTE EL ENSAYO DEL RODILLO GIRATORIO)

Solicitud de ensayo : 033-2023-UNASAM/FIC/LMSyP
Solicitante : Ing. RAUL EDGAR CASTILLEJO MELGAREJO
Tesis : "Propuesta de diseño de concreto con agregado reciclado y su aplicación en la elaboración de adoquines para el tránsito vehicular ligero"
Ubicación : Independencia, Huaraz-Ancash
Muestra : ADOQUÍN DE CONCRETO TIPO II (20cm x 10 cm x 6cm)
Norma : ASTM C944/C944M-12
Título : UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Adoquines de concreto para pavimento

Muestra	Descripción o nombre de la muestra	Fecha Ensayo	Edad (días)	Tiempo Abrasión (Minutos)	ciclo	Carga (N)	Masa	Masa	Desgaste (g)	Desgaste (%)
							Inicial (g)	Final (g)		
M-1	ADOQUIN TIPO II PROPORCION 2	09/06/2025	28	2	3	98	2680.00	2674.50	5.50	0.21%
M-2		09/06/2025	28	2	3	98	2686.00	2680.60	5.40	0.20%
M-3		09/06/2025	28	2	3	98	2684.00	2678.70	5.30	0.20%
M-4		09/06/2025	28	2	3	98	2680.00	2674.50	5.50	0.21%
M-5		09/06/2025	28	2	3	98	2686.00	2680.60	5.40	0.20%

Observaciones:

Muestreo, Identificación y Ensayos realizados por el solicitante.



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ING. MARCO ANTONIO MEDINA MAGUIÑA



UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS



"Una nueva universidad para el Desarrollo"

STANDARD TEST METHOD FOR ABRASION RESISTANCE OF CONCRETE OR MORTAR SURFACES BY THE ROTATING-CUTTER METHOD (MÉTODO NORMALIZADO PARA LA RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DEL CONCRETO O SUPERFICIES DE MORTERO MEDIANTE EL ENSAYO DEL RODILLO GIRATORIO)

Solicitud de ensayo : 033-2023-UNASAM/FIC/LMSyP

Solicitante : Ing. RAUL EDGAR CASTILLEJO MELGAREJO

Tesis : "Propuesta de diseño de concreto con agregado reciclado y su aplicación en la elaboración de adoquines para el tránsito vehicular ligero"

Ubicación : Independencia, Huaraz-Ancash

Muestra : ADOQUÍN DE CONCRETO TIPO II (20cm x 10 cm x 6cm)

Norma : ASTM C944/C944M-12

Título : UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Adoquines de concreto para pavimento

Muestra	Descripción o nombre de la muestra	Fecha Ensayo	Edad (días)	Tiempo Abrasión (Minutos)	ciclo	Carga (N)	Masa	Masa	Desgaste (g)	Desgaste (%)
							Inicial (g)	Final (g)		
M-1	ADOQUIN TIPO II PROPORCION 3	09/06/2025	28	2	3	98	2580.11	2572.83	7.28	0.28%
M-2		09/06/2025	28	2	3	98	2581.09	2573.77	7.32	0.28%
M-3		09/06/2025	28	2	3	98	2582.11	2574.79	7.32	0.28%
M-4		09/06/2025	28	2	3	98	2580.11	2572.83	7.28	0.28%
M-5		09/06/2025	28	2	3	98	2581.09	2573.77	7.32	0.28%

Observaciones:

Muestreo, Identificación y Ensayos realizados por el solicitante.



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ING. MARCO ANTONIO MEDINA MAGUIÑA



**UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

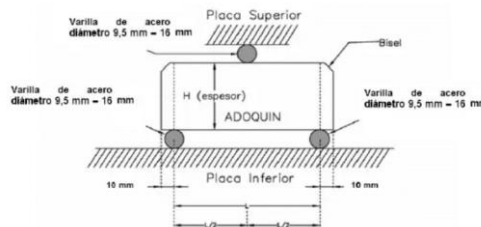


“Una nueva universidad para el Desarrollo”

**MODULO DE RUPTURA DE ADOQUINES DE CONCRETO
NTP 399.611**

Solicitud de ensayo : 031-2023-UNASAM/FIC/LMSyP
 Solicitante : Ing. RAUL EDGAR CASTILLEJO MELGAREJO
 Tesis : “Propuesta de diseño de concreto con agregado reciclado y su aplicación en la elaboración de adoquines para el tránsito vehicular ligero”
 Ubicación : Independencia, Huaraz-Ancash
 Muestra : ADOQUÍN DE CONCRETO TIPO II (20cm x 10 cm x 6cm)
 Norma : NTP 399.611
 Título : UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Adoquines de concreto para pavimento

Muestra N°	Descripción	Fecha		Edad	Dimensiones			Carga	Módulo de Ruptura	
		Moldeo	Rotura	Días	H (cm)	B (cm)	L(cm)	Kg	Kg/cm ²	Mpa
M-1	ADOQUIN TIPO II (PATRON)	01/01/2023	29/01/2023	28	6.00	10.00	18.00	633.27	47.50	4.66
M-2		01/01/2023	29/01/2023	28	6.00	10.00	18.00	632.60	47.45	4.65
M-3		01/01/2023	29/01/2023	28	6.00	10.00	18.00	635.27	47.65	4.67
M-4		01/01/2023	29/01/2023	28	6.00	10.00	18.00	633.27	47.50	4.66
M-5		01/01/2023	29/01/2023	28	6.00	10.00	18.00	632.60	47.45	4.65



$$MOR = \frac{3PL}{2BH^2}$$

Donde:

- MOR: Modulo de Ruptura (kg/cm²)
- P: Carga Máxima (kg)
- L: Luz libre entre apoyos (cm)
- B: Ancho promedio de la sección (cm)
- H: Altura promedio (cm)

Observaciones:

Muestreo, Identificación y Ensayos realizados por el solicitante.



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS
 ING. MARCO ANTONIO MEDINA MAGUIRA



**UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

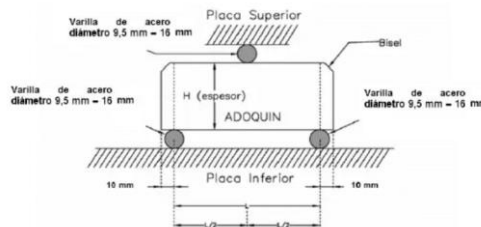


“Una nueva universidad para el Desarrollo”

**MODULO DE RUPTURA DE ADOQUINES DE CONCRETO
NTP 399.611**

Solicitud de ensayo : 031-2023-UNASAM/FIC/LMSyP
 Solicitante : Ing. RAUL EDGAR CASTILLEJO MELGAREJO
 Tesis : “Propuesta de diseño de concreto con agregado reciclado y su aplicación en la elaboración de adoquines para el tránsito vehicular ligero”
 Ubicación : Independencia, Huaraz-Ancash
 Muestra : ADOQUÍN DE CONCRETO TIPO II (20cm x 10 cm x 6cm)
 Norma : NTP 399.611
 Título : UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Adoquines de concreto para pavimento

Muestra N°	Descripción	Fecha		Edad	Dimensiones			Carga	Módulo de Ruptura	
		Moldeo	Rotura	Días	H (cm)	B (cm)	L(cm)	Kg	Kg/cm ²	Mpa
M-1	ADOQUIN TIPO II (PROPORCION I)	01/01/2023	29/01/2023	28	6.00	10.00	18.00	617.30	46.30	4.54
M-2		01/01/2023	29/01/2023	28	6.00	10.00	18.00	616.70	46.25	4.54
M-3		01/01/2023	29/01/2023	28	6.00	10.00	18.00	618.70	46.40	4.55
M-4		01/01/2023	29/01/2023	28	6.00	10.00	18.00	617.30	46.30	4.54
M-5		01/01/2023	29/01/2023	28	6.00	10.00	18.00	616.70	46.25	4.54



$$MOR = \frac{3PL}{2BH^2}$$

Donde:

- MOR: Modulo de Ruptura (kg/cm²)
- P: Carga Máxima (kg)
- L: Luz libre entre apoyos (cm)
- B: Ancho promedio de la sección (cm)
- H: Altura promedio (cm)

Observaciones:

Muestreo, Identificación y Ensayos realizados por el solicitante.



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS
 ING. MARCO ANTONIO MEDINA MAGUIÑA



**UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



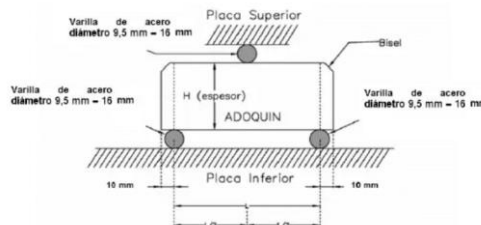
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

“Una nueva universidad para el Desarrollo”

**MODULO DE RUPTURA DE ADOQUINES DE CONCRETO
NTP 399.611**

Solicitud de ensayo : 031-2023-UNASAM/FIC/LMSyP
 Solicitante : Ing. RAUL EDGAR CASTILLEJO MELGAREJO
 Tesis : “Propuesta de diseño de concreto con agregado reciclado y su aplicación en la elaboración de adoquines para el tránsito vehicular ligero”
 Ubicación : Independencia, Huaraz-Ancash
 Muestra : ADOQUÍN DE CONCRETO TIPO II (20cm x 10 cm x 6cm)
 Norma : NTP 399.611
 Título : UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Adoquines de concreto para pavimento

Muestra N°	Descripción	Fecha		Edad	Dimensiones			Carga	Módulo de Ruptura	
		Moldeo	Rotura	Días	H (cm)	B (cm)	L(cm)	Kg	Kg/cm ²	Mpa
M-1	ADOQUIN TIPO II (PROPORCION II)	01/01/2023	29/01/2023	28	6.00	10.00	18.00	602.60	45.20	4.43
M-2		01/01/2023	29/01/2023	28	6.00	10.00	18.00	602.00	45.15	4.43
M-3		01/01/2023	29/01/2023	28	6.00	10.00	18.00	603.28	45.25	4.44
M-4		01/01/2023	29/01/2023	28	6.00	10.00	18.00	602.60	45.20	4.43
M-5		01/01/2023	29/01/2023	28	6.00	10.00	18.00	602.00	45.15	4.43



$$MOR = \frac{3PL}{2BH^2}$$

Donde:

- MOR: Modulo de Ruptura (kg/cm²)
- P: Carga Máxima (kg)
- L: Luz libre entre apoyos (cm)
- B: Ancho promedio de la sección (cm)
- H: Altura promedio (cm)

Observaciones:

Muestreo, Identificación y Ensayos realizados por el solicitante.



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS
 ING. MARCO ANTONIO MEDINA MAGUIÑA



**UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



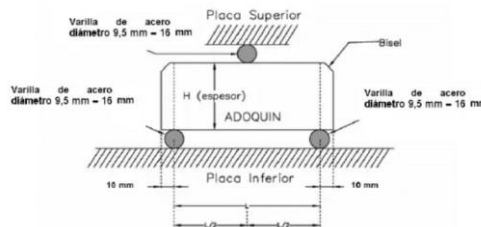
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

“Una nueva universidad para el Desarrollo”

**MODULO DE RUPTURA DE ADOQUINES DE CONCRETO
NTP 399.611**

Solicitud de ensayo : 031-2023-UNASAM/FIC/LMSyP
 Solicitante : Ing. RAUL EDGAR CASTILLEJO MELGAREJO
 Tesis : “Propuesta de diseño de concreto con agregado reciclado y su aplicación en la elaboración de adoquines para el tránsito vehicular ligero”
 Ubicación : Independencia, Huaraz-Ancash
 Muestra : ADOQUÍN DE CONCRETO TIPO II (20cm x 10 cm x 6cm)
 Norma : NTP 399.611
 Título : UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Adoquines de concreto para pavimento

Muestra N°	Descripción	Fecha		Edad	Dimensiones			Carga	Módulo de Ruptura	
		Moldeo	Rotura	Días	H (cm)	B (cm)	L(cm)	Kg	Kg/cm ²	Mpa
M-1	ADOQUIN TIPO II (PROPORCION III)	01/01/2023	29/01/2023	28	6.00	10.00	18.00	589.10	44.18	4.33
M-2		01/01/2023	29/01/2023	28	6.00	10.00	18.00	589.20	44.19	4.34
M-3		01/01/2023	29/01/2023	28	6.00	10.00	18.00 <td 589.30	44.20	4.34	
M-4		01/01/2023	29/01/2023	28	6.00	10.00	18.00	589.10	44.18	4.33
M-5		01/01/2023	29/01/2023	28	6.00	10.00	18.00	589.20	44.19	4.34



$$MOR = \frac{3PL}{2BH^2}$$

Donde:

- MOR: Modulo de Ruptura (kg/cm²)
- P: Carga Máxima (kg)
- L: Luz libre entre apoyos (cm)
- B: Ancho promedio de la sección (cm)
- H: Altura promedio (cm)

Observaciones:

Muestreo, Identificación y Ensayos realizados por el solicitante.



LABORATIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS
 ING. MARCO ANTONIO MEDINA MAGUIÑA

Anexo 4: Panel fotográfico

PANEL FOTOGRAFICO



Foto: Muestra la Ubicación del botadero Purhuay



Foto: Muestra botadero de roca caliza



Foto: Muestra botadero de roca caliza



Foto: Muestra el lavado de roca caliza



Foto: Muestra el lavado y secado de roca caliza







Foto: Muestra el material procesado



Foto: Muestra la separación del agregado fino y grueso



Foto: Muestra el equipo de desgaste por abrasión de los ángeles



Foto: Muestra el residuo de roca caliza para realizar el ensayo de desgaste por abrasión de los ángulos



Foto: Muestra el equipo de desgaste por abrasión de los ángulos



Foto: Muestra la elaboración del concreto



Foto: Muestra el concreto elaborado con residuo de roca caliza



Foto: Muestra la verificación del Slump del concreto



Foto: Muestra la verificación del Slump del concreto



Foto: Muestra las probetas de concreto

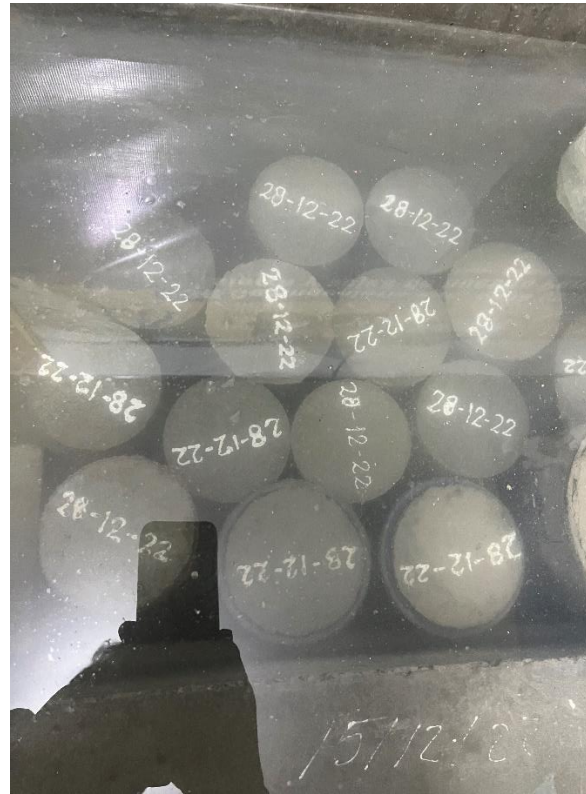


Foto: Muestra el curado de las probetas



Foto: Muestra la temperatura de curado de las probetas de concreto



Foto: Muestra las probetas elaboradas con residuo de roca caliza



Foto: Muestra la colocación de la probeta a la máquina de compresión



Foto: Muestra la falla de la probeta de concreto



Foto: Muestra la falla de la probeta de concreto



Foto: Muestra las fallas de las probetas de concreto



Foto: Muestra los ajuste a la maquinaria (vibrocompresion) para la fabricacion de adoquines



Foto: Muestra el pesaje de los materiales para la elaboracion del concreto para adoquines

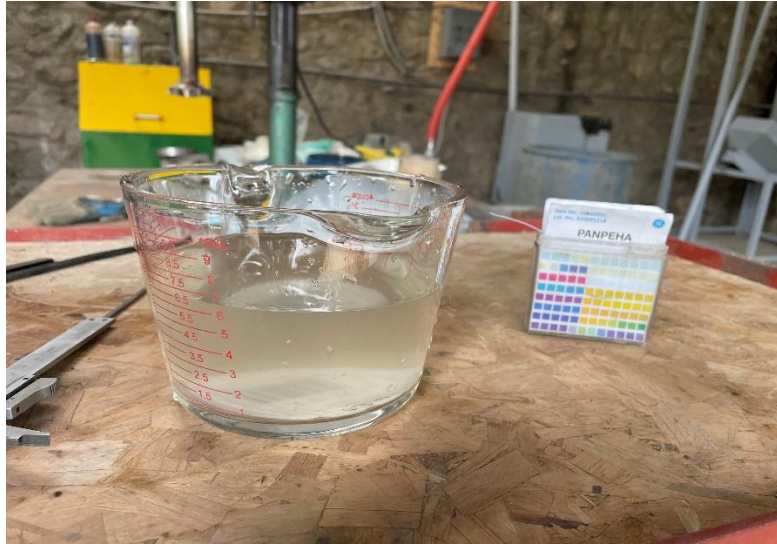


Foto: Muestra el PH del agua para la elaboracion del concreto



Foto: Muestra la elaboracion del concreto para adoquines



Foto: Muestra la elaboracion del concreto para adoquines



Foto: Muestra los ajuste a la maquinaria (vibrocompresion) para la fabricacion de adoquines



Foto: Muestra la fabricacion de los adoquines de concreto



Foto: Muestra la fabricacion de los adoquines de concreto



Foto: Muestra la fabricacion de los adoquines de concreto



Foto: Muestra la fabricacion de los adoquines de concreto



Foto: Muestra la fabricacion de los adoquines de concreto



Foto: Muestra el curado de los adoquines de concreto a diferentes proporciones



Foto: Muestra el curado de los adoquines de concreto a diferentes proporciones



Foto: Muestra los adoquines de concreto tipo II



Foto: Muestra el ensayo a compresión de los adoquines de concreto tipo II



Foto: Muestra el ensayo a compresión de los adoquines de concreto tipo II



Foto: Muestra la falla de los adoquines de concreto tipo II



Foto: Muestra el ensayo de absorción



Foto: Muestra el ensayo de absorción



Foto: Muestra el adocn de concreto sometido a una temperatura de $110^{\circ}\pm 5^{\circ}$



Foto: Muestra la maquina para el ensayo a desgaste



Foto: Muestra el adocn antes del ensayo a desgaste



Foto: Muestra el ensayo de desgaste



Foto: Muestra el ensayo de desgaste



Foto: Muestra el resultados del ensayo de desgaste