

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**Efecto de la inclusión de plástico reciclado en las propiedades físico-mecánicas
de los adoquines según las normas NTP 399-611**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

Autor:

Bach.: Panduro Tumbajulca, Jeymy Enrique

Asesor:

Dr. León Bobadilla, Abner Itamar

DNI N°: 32942184

Código ORCID: 0000-0003-2949-6591

Nuevo Chimbote – Perú

2025

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**Efecto de la inclusión de plástico reciclado en las propiedades físico-mecánicas
de los adoquines según las normas NTP 399-611**

Tesis para obtener el Título profesional de Ingeniero Civil.

Revisado y aprobado por:

ASESOR

Dr. León Bobadilla, Abner Itamar

DNI N°: 32942184

Código ORCID: 0000-0003-2949-6591

Nuevo Chimbote - Perú

2025

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**




UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**Efecto de la inclusión de plástico reciclado en las propiedades físico-mecánicas
de los adoquines según las normas NTP 399-611**

Tesis para obtener el Título profesional de Ingeniero Civil.

Revisado y aprobado por:


Presidente
Ms. Rivasplata Díaz, Julio César
DNI: 32770844
Cod. ORCID: 0000-0002-4180-9362


Secretaria
Dra. Fernández Mantilla, Jenisse del Rocío
DNI:33264434
Cod. ORCID: 0000-0003-3336-4786


Integrante
Dr. León Bobadilla, Abner Itamar
DNI: 32942184
Cod. ORCID: 0000-0003-2949-6591

Nuevo Chimbote - Perú

2025



FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil
- EPIC -

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

A los 30 días del mes de diciembre del año dos mil veinticinco, siendo las 10:00 horas, en el Laboratorio de Topografía del edificio de Ingeniería Civil, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante T. Resolución N° 819-2025-UNS-CFI, con fecha 19.12.2025, integrado por los siguientes docentes: Ms. Julio César Rivasplata Díaz (Presidente), Dra. Jenisse del Rocío Fernández Mantilla (Secretaría), Dr. Abner Itamar León Bobadilla (Integrante), Ms. Luz Esther Álvarez Asto (Accesitario), en base a la Resolución Decanal N° 967-2025-UNS-FI se da inicio la sustentación de la Tesis titulada: "EFECTO DE LA INCLUSIÓN DE PLÁSTICO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE LOS ADOQUINES SEGÚN LAS NORMAS NTP339-611", presentado por el Bachiller PANDURO TUMBAJULCA JEYMY ENRIQUE con cód. N° 0201813016, quien fue asesorado por el docente Dr. Abner Itamar León Bobadilla según lo establece la T. Resolución Decanal N° 233-2024-UNS-FI, de fecha 14.05.2024.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
PANDURO TUMBAJULCA JEYMY ENRIQUE	17	BUENO

Siendo las 11:00 horas del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 30 de diciembre de 2025.


Ms. Julio César Rivasplata Díaz
Presidente


Dra. Jenisse del Rocío Fernández Mantilla
Secretaría


Dr. Abner Itamar León Bobadilla
Integrante

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
Rectorado: Av. Pacífico N° 508 - Urb. Buenos Aires
Campus Universitario: Av. Universitaria s/n - Urb. Bellamar
Central telefónica: (51)-43-310445 - Nuevo Chimbote - Ancash - Perú

www.uns.edu.pe

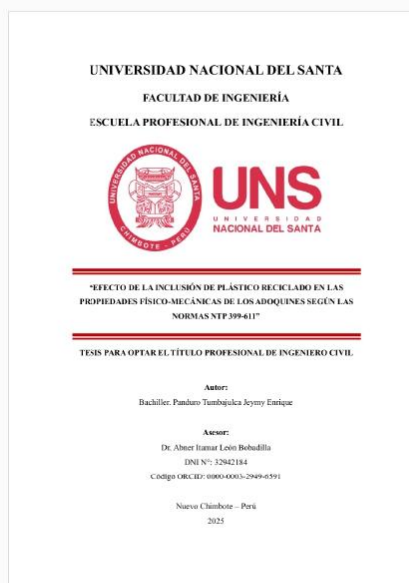


Recibo digital

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: Abner Itamar Leon Bobadilla
Título del ejercicio: TESIS FINAL JEYMY ENRIQUE PANDURO TUMBAJULCA
Título de la entrega: EFECTO DE LA INCLUSION DE PLASTICO RECICLADO PET EN LA...
Nombre del archivo: EFECTO_DE_LA_INCLUSION_DE_PLASTICO_RECICLADO_PET_EN...
Tamaño del archivo: 4.73M
Total de páginas: 144
Total de palabras: 20,083
Total de caracteres: 111,413
Fecha de entrega: 08-abr-2026 07:24a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2925744071



EFFECTO DE LA INCLUSION DE PLASTICO RECICLADO PET EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECÁNICAS DE LOS ADOQUINES SEGÚN NTP 399.611.pdf

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
2	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	1%
4	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
5	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	es.slideshare.net Fuente de Internet	1%

AGRADECIMIENTO

A lo largo de este proceso, hubo momentos de avance y también etapas en las que todo parecía más difícil de lo esperado. Por eso, más que seguir una estructura formal, considero importante reconocer aquello que realmente hizo posible que hoy pueda cerrar esta etapa.

A Dios, por haberme permitido llegar hasta aquí, por darme la fortaleza necesaria en los momentos de duda y por acompañarme en cada paso de este camino. En más de una ocasión, fue esa fe la que me ayudó a mantenerme firme y continuar.

A mi familia, por ser el soporte constante durante todo este tiempo. A mis padres, Milena y Javier, por el esfuerzo que han realizado a lo largo de los años para brindarme oportunidades y por la confianza que siempre depositaron en mí. Muchas veces, su apoyo no se expresó solo en palabras, sino en acciones y sacrificios que hoy valoro aún más. Este logro también lleva el reflejo de todo lo que ustedes han hecho por mí.

A mi hermana Alexandra, por su cercanía, por saber escuchar y por estar presente en los momentos en los que más necesitaba ánimo. Su compañía hizo que este proceso no se sintiera tan pesado en los días más exigentes.

A mi asesor, Abner, por el acompañamiento durante el desarrollo de esta investigación. Sus observaciones, recomendaciones y disposición para orientar fueron importantes para darle dirección al trabajo y mejorar su contenido.

A los docentes que formaron parte de mi etapa universitaria, porque cada uno, desde su experiencia, aportó algo que hoy forma parte de mi manera de pensar y de desenvolverme como futuro profesional. Más allá de lo académico, muchas enseñanzas quedan para la vida.

A mi universidad, por haber sido el espacio donde se desarrolló gran parte de este proceso. Aquí no solo adquirí conocimientos, sino también experiencias, aprendizajes y retos que contribuyeron a mi crecimiento personal y profesional.

También quiero reconocer a aquellas personas que, sin formar parte directa de este trabajo, estuvieron presentes de alguna manera: con palabras de apoyo, consejos o simplemente acompañando en momentos clave. Cada uno de esos aportes, por pequeños que parezcan, sumaron en este camino.

Finalmente, me doy un espacio para reconocer mi propio esfuerzo. No fue un proceso sencillo, hubo momentos de cansancio, dudas y presión, pero también aprendizaje y crecimiento. Haber llegado hasta este punto representa constancia, disciplina y la decisión de no detenerme a pesar de las dificultades.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado, en primer lugar, a mi familia, porque han sido una parte esencial de todo este camino. A mis padres, Milena y Javier, y a mi hermana Alexandra, por acompañarme en cada etapa y por ser un soporte constante.

También a las personas cercanas que confiaron en mí y que, con pequeños o grandes gestos, hicieron más llevadero este proceso.

A mis docentes y a mi asesor, por el tiempo y los conocimientos compartidos, que fueron clave en mi formación.

A mi universidad, por brindarme el espacio donde pude desarrollarme y prepararme para lo que viene.

A mi abuela Olga y a mi bisabuela Luisa, quienes en vida fueron parte importante de mi crecimiento. Este logro también lleva algo de ellas.

Y finalmente, a mí mismo, por haber seguido adelante incluso cuando no era fácil, por mantener el compromiso y llegar hasta el final de esta etapa.

Índice general

I	INTRODUCCION.....	22
1.1	Descripción y formulación del problema de investigación.....	23
1.2	Objetivos de la investigación	24
1.2.1	Objetivo general.....	24
1.2.2	Objetivos específicos	24
1.3	Formulación de la hipótesis	24
1.4	Justificación	24
1.5	Importancia de la investigación	25
II	MARCO TEÓRICO	27
2.1	Antecedentes	27
2.1.1	Antecedentes internacionales	27
2.1.2	Antecedentes nacionales	30
2.1.3	Antecedentes locales.....	33
2.2	Materiales de Construcción.....	34
2.2.1	Clasificación de los materiales.....	34
2.3	Propiedades físicas.....	35
2.4	Propiedades mecánicas	37
2.5	Adoquines de concreto.....	38
2.5.1	Materia prima.....	38
2.5.2	Tipos de adoquines.....	38
2.6	Plástico PET triturado	41
2.7	Reglamentos.....	42
2.7.1	NTP 399.611 Unidades de albañilería. adoquines de concreto para pavimentos. Requisitos	42
2.7.2	NTP 334.009 Cementos. cemento portland. requisitos.....	44
2.7.3	NTP 339.088 Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento portland. requisitos.....	47
2.7.4	NTP 400.037 Agregados para concreto. Requisitos.....	49
2.8	Marco Conceptual	51
III	METODOLOGÍA.....	54
3.1	Enfoque de la investigación	54
3.2	Diseño de la investigación	54
3.2.1	Población.	54
3.2.2	Muestra	54

3.3	Variables	55
3.3.1	Variable independiente.....	55
3.3.2	Variable dependiente.....	55
3.4	Matriz de Operacionalización de variables.....	56
3.5	Técnicas e instrumentos para recolección de datos.....	57
3.5.1	Ensayos de laboratorio de los agregados	57
3.5.2	Obtención y propiedades del plástico PET reciclado.....	63
3.6	Técnicas de análisis de resultados.....	65
3.6.1	Diseño de mezcla método ACI-211.1.....	65
3.6.2	Ensayos de laboratorio en los adoquines industriales.....	71
IV	RESULTADOS Y DISCUSIONES	77
4.1	Resultados	77
4.1.1	Resultados del Objetivo Específico Nro. 1.....	77
4.1.2	Resultados del Objetivo Específico Nro. 2.....	85
4.1.3	Resultados del Objetivo Específico Nro. 3.....	98
4.1.4	Resultados del Objetivo Específico Nro. 4.....	108
4.2	Discusiones	113
V	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	115
5.1	Conclusiones.....	115
5.2	Recomendaciones.....	116
VI	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	118
VII	ANEXOS	121
7.1	Ensayo granulométrico en agregado fino.	121
7.2	Ensayo granulométrico del agregado grueso ag-9.....	122
7.3	Peso específico y absorción del agregado fino.	123
7.4	Peso específico y absorción del agregado grueso.	124
7.5	Peso unitario del agregado grueso.	125
7.6	Contenido de humedad de los agregados.....	126
7.7	Certificado de calidad cemento Inka Ico.	127
7.8	Ensayo de laboratorio GEOLAB	128
7.9	Ensayos de absorción.....	129
7.9.1	Secado al horno de las muestras	129
7.9.2	Peso seco de muestras 0% PET 7 días	129
7.9.3	Peso saturado de muestras 0% PET 7 días.....	129
7.9.4	Peso seco de muestras 0% PET 14 días	130

7.9.5	Peso saturado de muestras 0% PET 14 días.....	130
7.9.6	Peso seco de muestras 0% PET 28 días	130
7.9.7	Peso saturado de muestras 0% PET 28 días.....	130
7.9.8	Peso seco de muestras 5% PET 7 días	131
7.9.9	Peso saturado de muestras 5% PET 7 días.....	131
7.9.10	Peso seco de muestras 5% PET 14 días	131
7.9.11	Peso saturado de muestras 5% PET 14 días.....	131
7.9.12	Peso seco de muestras 5% PET 28 días	132
7.9.13	Peso saturado de muestras 5% PET 28 días.....	132
7.9.14	Peso seco de muestras 7.5% PET 7 días	132
7.9.15	Peso saturado de muestras 7.5% PET 7 días.....	133
7.9.16	Peso seco de muestras 7.5% PET 14 días	134
7.9.17	Peso saturado de muestras 7.5% PET 14 días.....	134
7.9.18	Peso seco de muestras 7.5% PET 28 días	134
7.9.19	Peso saturado de muestras 7.5% PET 28 días.....	134
7.9.20	Peso seco de muestras 10% PET 7 días	135
7.9.21	Peso saturado de muestras 10% PET 7 días.....	135
7.9.22	Peso seco de muestras 10% PET 14 días	135
7.9.23	Peso saturado de muestras 10% PET 14 días.....	135
7.9.24	Peso seco de muestras 10% PET 28 días	136
7.9.25	Peso saturado de muestras 10% PET 28 días.....	136
7.10	Anexo 10. Tolerancia dimensional mejores muestras.....	137
7.10.1	Adoquines con 0% plástico.....	137
7.10.2	Adoquines con 5% plástico.....	137
7.10.3	Adoquines con 7.5% plástico.....	137
7.10.4	Adoquines con 10% plástico.....	137
7.11	Anexo 11. Resistencia a la compresión	138
7.11.1	Adoquines con 0% plástico.....	138
7.11.2	Adoquines con 5% plástico.....	141
7.11.3	Adoquines con 7.5% plástico.....	144
7.11.4	Adoquines con 10% plástico.....	147
7.12	Tesista en laboratorio GEOLAB.....	150

Listado de tablas

Tabla 1. <i>Adoquines rectangulares</i>	40
Tabla 2. <i>Espesor y resistencia a la compresión</i>	43
Tabla 3. <i>Tolerancia dimesnional</i>	43
Tabla 4. <i>Absorción máxima</i>	44
Tabla 5. <i>Requisitos químicos</i>	45
Tabla 6. <i>Requisitos físicos</i>	46
Tabla 7. <i>Requisitos agua potable</i>	48
Tabla 8. <i>Requisitos agregado fino</i>	49
Tabla 9. <i>Ensayo granulométrico agregado grueso</i>	50
Tabla 10. <i>Matriz de Operacionalización de variables</i>	56
Tabla 11. <i>Resistencia a la compresión promedio</i>	65
Tabla 12. <i>Slump requerido</i>	65
Tabla 13. <i>Estimación de agua de mezcla</i>	66
Tabla 14. <i>Relación agua/cemento</i>	66
Tabla 15. <i>Determinación del agregado grueso</i>	67
Tabla 16. <i>Resistencia promedio</i>	78
Tabla 17. <i>Slump requerido</i>	78
Tabla 18. <i>Estimación de agua de mezcla</i>	79
Tabla 19. <i>Relación agua/cemento</i>	79
Tabla 20. <i>Determinación del agregado grueso</i>	80
Tabla 21. <i>Primer ensayo granulométrico</i>	86
Tabla 22. <i>Segundo ensayo granulométrico</i>	87
Tabla 23. <i>Ensayo granulométrico del agregado grueso</i>	89
Tabla 24. <i>Absorción 0% PET 7 días</i>	94
Tabla 25. <i>Absorción 0% PET 14 días</i>	95
Tabla 26. <i>Absorción 0% PET 28 días</i>	95
Tabla 27. <i>Ensayo a la compresión de adoquines convencionales</i>	97
Tabla 28. <i>Resistencia en porcentajes según ACI 318</i>	97
Tabla 29. <i>Absorción 5% PET 7 días</i>	98
Tabla 30. <i>Absorción 5% PET 14 días</i>	99
Tabla 31. <i>Absorción 5% PET 28 días</i>	100
Tabla 32. <i>Absorción 7.5% PET 7 días</i>	101
Tabla 33. <i>Absorción 7.5% PET 14 días</i>	101

Tabla 34. <i>Absorción 7.5% PET 28 días</i>	102
Tabla 35. <i>Absorción 10% PET 7 días</i>	103
Tabla 36. <i>Absorción 10% PET 14 días</i>	103
Tabla 37. <i>Absorción 10% PET 28 días</i>	104
Tabla 38. <i>Ensayo a la compresión</i>	107
Tabla 39. <i>Resistencia en porcentajes según ACI 318</i>	107
Tabla 40. <i>Comparación porcentaje absorción</i>	108
Tabla 41. <i>Comparación tolerancia dimensional</i>	109
Tabla 42. <i>Ensayo a la compresión</i>	110
Tabla 43. <i>Comparación a los 28 días</i>	110

Listado de figuras

Figura 1. <i>Adoquín Adopasto</i>	39
Figura 2. <i>Adoquín Cuadrado</i>	39
Figura 3. <i>Adoquín Hexagonal</i>	40
Figura 4. <i>Adoquín Rectangular</i>	41
Figura 5. <i>Muestras al horno</i>	63
Figura 6. <i>Botellas de plástico PET triturado</i>	64
Figura 7. <i>Adoquines en horno</i>	72
Figura 8. <i>Peso de muestra en seco</i>	72
Figura 9. <i>Muestras en proceso de saturación</i>	73
Figura 10. <i>Peso de muestra saturada</i>	73
Figura 11. <i>Ensayo de resistencia a la compresión</i>	75
Figura 12. <i>Curva granulométrica ensayo 1</i>	86
Figura 13. <i>Curva granulométrica ensayo 2</i>	88
Figura 14. <i>Curva granulométrica ensayo 3</i>	89
Figura 15. <i>Cemento Inka ICO</i>	90
Figura 16. <i>Materiales debidamente proporcionados</i>	91
Figura 17. <i>Materiales en mezcladora</i>	91
Figura 18. <i>Mezcla en consistencia seca</i>	92
Figura 19. <i>Limpieza de moldes</i>	92
Figura 20. <i>Mezcla vibrada en la Adoquinera</i>	92
Figura 21. <i>Primer ensayo con 0% PET</i>	93
Figura 22. <i>Muestras siendo curadas por 28 días</i>	93
Figura 23. <i>Comparación porcentaje de absorción promedio 28 días</i>	108
Figura 24. <i>Comparación porcentaje de absorción mejor muestra</i>	108

Listado de Ecuaciones

Ecuación 1. <i>Relación masa sobre volumen</i>	35
Ecuación 2. <i>Relación peso sobre volumen</i>	35
Ecuación 3. <i>Ecuación de porosidad</i>	35
Ecuación 4. <i>Contenido de humedad</i>	36
Ecuación 5. <i>Porcentaje de absorción</i>	36
Ecuación 6. <i>Compacidad</i>	36
Ecuación 7. <i>Resistencia mecánica</i>	37
Ecuación 8. <i>Determinación del módulo de fineza</i>	58
Ecuación 9. <i>Piso unitario suelto</i>	59
Ecuación 10. <i>Peso específico de la masa</i>	62
Ecuación 11. <i>Peso específico aparente (saturado)</i>	62
Ecuación 12. <i>Peso específico aparente (seca)</i>	62
Ecuación 13. <i>Porcentaje de absorción</i>	62
Ecuación 14. <i>Contenido de humedad</i>	63
Ecuación 15. <i>Peso total del agregado grueso</i>	67
Ecuación 16. <i>Volumen absoluto del cemento</i>	68
Ecuación 17. <i>Volumen absoluto del agregado grueso</i>	68
Ecuación 18. <i>Volumen absoluto del agua</i>	68
Ecuación 19. <i>Volumen absoluto del agregado fino</i>	69
Ecuación 20. <i>Agua efectiva</i>	70
Ecuación 21. <i>Cemento efectivo</i>	70
Ecuación 22. <i>Proporciones</i>	70
Ecuación 23. <i>Porcentaje de absorción</i>	74
Ecuación 24. <i>Resistencia a la compresión</i>	75

RESUMEN

En los últimos años, el aprovechamiento de residuos plásticos en el sector construcción ha despertado interés como alternativa para reducir impactos ambientales. En esa línea, este estudio analiza cómo la incorporación de plástico PET triturado modifica el comportamiento de los adoquines de concreto tipo I, considerando los criterios establecidos en la norma NTP 399.611.

Para ello, se trabajó con un esquema experimental en el que se introdujo PET en proporciones de 5%, 7.5% y 10% respecto al peso del cemento. La evaluación se centró en variables clave del desempeño del material, tales como la absorción de agua, la estabilidad dimensional y la resistencia a la compresión, las cuales fueron determinadas mediante ensayos de laboratorio bajo condiciones controladas.

Como referencia, se elaboró inicialmente una mezcla convencional que permitiera obtener adoquines con comportamiento adecuado. Siguiendo el procedimiento de la ACI 211.1, se definió una dosificación de 1:2:1.33:0.426 (cemento, arena gruesa, confitillo y agua), con la cual se lograron valores de resistencia superiores a 210 kg/cm². Las unidades producidas con esta mezcla mostraron una absorción de 5.38% a los 28 días, así como variaciones dimensionales dentro de los rangos permitidos y una resistencia promedio de 354.13 kg/cm².

A partir de esta base, se incorporó el PET en los porcentajes establecidos, manteniendo constantes las demás condiciones de fabricación. Las nuevas muestras fueron sometidas a los mismos ensayos para asegurar la comparabilidad de los resultados. Se observó que, conforme aumentaba el contenido de plástico, la absorción de agua se incrementaba progresivamente, alcanzando valores de 6.03%, 6.93% y 7.83%. De forma paralela, la resistencia a la compresión presentó una disminución, con resultados de 323.2 kg/cm², 259.3 kg/cm² y 250.5 kg/cm², respectivamente.

Estos cambios permiten inferir que la incorporación de PET altera la estructura interna del material. La interacción entre la pasta cementicia y los agregados se ve afectada, generando una matriz menos densa y con mayor presencia de vacíos. Esta condición explica tanto el aumento en la capacidad de absorción como la reducción en la resistencia mecánica observada en los ensayos.

En conjunto, los resultados indican que, dentro de los rangos evaluados, el uso de PET triturado no contribuye a mejorar el desempeño físico-mecánico de los adoquines de concreto tipo I. No obstante, el estudio aporta información relevante para futuras investigaciones orientadas a optimizar el uso de materiales reciclados en la construcción, ya sea mediante ajustes en la dosificación, tratamientos previos del plástico o su combinación con otros componentes.

Palabras Clave

-PET, NTP, ACI, Porcentaje de Absorción, Tolerancia Dimensional, Resistencia a la compresión.

ABSTRACT

The use of recycled materials in construction has become increasingly relevant, particularly in the search for alternatives that reduce environmental impact without significantly compromising material performance. In this context, this study examines how shredded polyethylene terephthalate (PET) influences the behavior of Type I concrete paving blocks, based on the requirements established in NTP 399.611.

To explore this, an experimental approach was adopted in which PET was incorporated into the mixture at proportions of 5%, 7.5%, and 10% relative to the cement weight. The evaluation focused on key performance indicators, including water absorption, dimensional stability, and compressive strength, all obtained through controlled laboratory testing.

A reference mix was first established to produce conventional paving blocks with adequate mechanical performance. Following the ACI 211.1 procedure, a proportion of 1:2:1.33:0.426 (cement, coarse sand, gravel, and water) was defined, ensuring a compressive strength above 210 kg/cm². These control specimens exhibited stable dimensional behavior, a water absorption of 5.38% after 28 days of curing, and an average compressive strength of 354.13 kg/cm², meeting the specified standards.

Subsequently, the same base mix was modified by introducing PET particles at the defined percentages. The resulting specimens were subjected to identical testing conditions in order to maintain consistency in the comparison. The outcomes revealed a gradual increase in water absorption, reaching values of 6.03%, 6.93%, and 7.83%, while compressive strength showed a decreasing trend, with recorded values of 323.2 kg/cm², 259.3 kg/cm², and 250.5 kg/cm², respectively.

These variations suggest that the presence of PET affects the internal structure of the material. Specifically, the interaction between the cement paste and the aggregates appears to be altered, leading to a less compact matrix with higher internal void content. This structural change explains the observed reduction in mechanical resistance and the greater capacity for water absorption.

Overall, the findings indicate that, within the tested range, incorporating shredded PET does not enhance the physical or mechanical performance of Type I concrete paving blocks.

Nevertheless, the results provide useful insight for future studies aimed at improving the integration of recycled plastics in construction materials, particularly through adjustments in mix design or complementary treatments that could mitigate the identified limitations.

Keywords:

PET, NTP, ACI, Water Absorption, Dimensional Tolerance, Compressive Strength.

CAPITULO I

INTRODUCCION

I INTRODUCCION

En la actualidad, el crecimiento acelerado de la población y el incremento del consumo de productos plásticos han generado una gran acumulación de residuos sólidos, entre los cuales destaca el plástico **polietileno tereftalato (PET)**, utilizado principalmente en envases de bebidas y productos de consumo masivo. Debido a su alta durabilidad y baja tasa de degradación en el ambiente, el manejo inadecuado de este material constituye un problema ambiental significativo a nivel mundial, lo que ha impulsado la búsqueda de alternativas sostenibles para su reutilización y reciclaje.

Asimismo, el crecimiento poblacional y el desarrollo urbano han incrementado significativamente la demanda de materiales de construcción, especialmente aquellos derivados del concreto debido a su resistencia, durabilidad y versatilidad en diversas obras de infraestructura. Sin embargo, este aumento en el consumo de materiales también ha generado la necesidad de buscar alternativas que contribuyan a la sostenibilidad y al uso eficiente de los recursos disponibles.

Ante esta problemática, diversas investigaciones han explorado la posibilidad de reutilizar materiales reciclados dentro de los procesos constructivos, con el objetivo de reducir el impacto ambiental y promover el aprovechamiento de residuos que, de otra manera, terminarían contaminando el entorno. En este contexto, el uso de plásticos reciclados como componente en mezclas de concreto ha despertado un creciente interés en el ámbito de la ingeniería civil, debido a su potencial para contribuir tanto a la sostenibilidad ambiental como al desarrollo de materiales alternativos.

Por lo tanto, la presente investigación se orienta a analizar la influencia de la incorporación de plástico PET reciclado en materiales de concreto utilizados en el ámbito de la construcción, evaluando sus propiedades físicas y mecánicas bajo condiciones controladas de laboratorio. De esta manera, se busca aportar información técnica que permita comprender mejor el comportamiento de este tipo de materiales y su posible aplicación en el sector de la construcción.

1.1 Descripción y formulación del problema de investigación

En Perú según un informe del MINAM (Ministerio del Ambiente del Perú) (2020), cada año se consumen aproximadamente 8 millones de toneladas de plástico, siendo gran parte de ello bolsas, botellas y envases que son de un solo uso.

Según la SPDA (Sociedad Peruana de Derecho Ambiental), el 90% de los residuos plásticos en el país no se reciclan, lo que contribuyen a la acumulación de basura en las calles y ecosistemas.

En las principales ciudades como Lima, ya existen algunas empresas y centros de reciclaje que gestionan plásticos como PET, polietileno y polipropileno. Sin embargo, su proceso enfrenta desafíos como, la falta de infraestructura adecuada, la escasa participación de la ciudadanía entre otros.

En el campo de la ingeniería civil, diversas investigaciones han explorado la incorporación de materiales reciclados en la fabricación de elementos de construcción con el objetivo de reducir el impacto ambiental y optimizar el uso de recursos naturales. Dentro de estos elementos, los **adoquines de concreto** representan una alternativa ampliamente utilizada en pavimentaciones urbanas, áreas peatonales, estacionamientos y espacios públicos, debido a su facilidad de instalación, durabilidad y mantenimiento relativamente sencillo. Sin embargo, la incorporación de materiales reciclados, como el plástico PET, puede influir en las propiedades físico-mecánicas del producto final, por lo que es necesario evaluar su comportamiento para determinar su viabilidad técnica.

En el Perú, los adoquines de concreto deben cumplir con los requisitos establecidos en la **Norma Técnica Peruana NTP 399.611**, la cual especifica parámetros relacionados con propiedades como la **resistencia a la compresión, porcentaje de absorción y tolerancia dimensional**, garantizando así la calidad y desempeño de estos elementos en aplicaciones de pavimentación. En este contexto, resulta fundamental analizar cómo la incorporación de plástico PET reciclado afecta dichas propiedades y si los adoquines elaborados con este material pueden cumplir con los estándares técnicos exigidos.

En base a lo anterior mencionado se formula la siguiente pregunta: **¿Cuál es el efecto de la inclusión del plástico reciclado en las propiedades físico-mecánicas de los adoquines industriales según las normas NTP 399-611?**

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de la inclusión de plástico reciclado en las propiedades físico mecánicas de los adoquines según las NTP 399.611.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar el diseño de mezcla óptimo para el concreto según las normas ACI 211.1.
- Elaborar muestras de adoquines de concreto Tipo I sin plástico reciclado que cumplan con los requisitos establecidos en las NTP 399.611.
- Determinar las propiedades físico-mecánicas (Porcentaje de absorción, Tolerancia dimensional y Resistencia a la compresión) de los adoquines de concreto con diferentes porcentajes de plástico reciclado (5%, 7.5% y 10%) según los requisitos establecidos en las NTP 399.611.
- Comparar los resultados obtenidos de las muestras de adoquines de concreto convencional y concreto con plástico PET reciclado en los ensayos de laboratorio.

1.3 Formulación de la hipótesis

Si se incluye plástico reciclado en los adoquines de concreto tipo I, según las normas NTP 399.611, supuestamente las propiedades físico-mecánicas podrían mejorar en un 5%.

1.4 Justificación

La investigación se justifica debido al creciente problema ambiental generado por los residuos plásticos, especialmente el PET, cuya acumulación afecta gravemente los ecosistemas. En este contexto, la reutilización de este material en la fabricación de adoquines de concreto podría representar una alternativa sostenible que permita reducir el impacto ambiental y aprovechar residuos reciclables en la industria de la construcción.

1.5 Importancia de la investigación

La importancia de la presente investigación radica en evaluar el comportamiento de adoquines de concreto elaborados con plástico PET reciclado, lo cual permite analizar una alternativa para reutilizar residuos plásticos y reducir el impacto ambiental. Asimismo, los resultados contribuirán al conocimiento técnico sobre las propiedades físicas y mecánicas de estos adoquines, pudiendo servir como referencia para futuras investigaciones y para el desarrollo de materiales de construcción más sostenibles.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

II MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

2.1.1 Antecedentes internacionales

“Reciclaje de tiras de PET en adoquines: ensayo experimental y evaluación del ciclo de vida”, Juan Silva (2024), en Argentina – Universidad Nacional de la Plata.

El objetivo de la investigación fue evaluar el comportamiento mecánico y ambiental de adoquines fabricados con la incorporación de tiras de PET reciclado en proporciones de 1%, 5% y 10%. Para ello, se realizaron ensayos de resistencia a la compresión, absorción y análisis de ciclo de vida.

Los resultados mostraron que la resistencia a la compresión disminuyó progresivamente conforme aumentaba el contenido de PET, registrándose reducciones aproximadas del **8% (1%), 18% (5%) y hasta 30% (10%)** respecto a la mezcla patrón. En contraste, la absorción de agua disminuyó en alrededor de **10% a 15%**, evidenciando una mejora en la durabilidad frente a humedad.

Se concluyó que la incorporación de PET es viable desde el punto de vista ambiental; sin embargo, mecánicamente recomienda no superar el **5% de adición**, ya que porcentajes mayores comprometen significativamente la resistencia estructural del adoquín.

“Optimización de la incorporación de residuos plásticos en bloques tipo adoquín”, Ravi Kumar (2024), en India – Indian Institute of Technology Delhi.

La investigación tuvo como objetivo determinar el porcentaje óptimo de residuos plásticos en la fabricación de bloques tipo adoquín, evaluando propiedades mecánicas, económicas y ambientales.

Los resultados evidenciaron que la resistencia a la compresión alcanzó valores cercanos a **25–30 MPa** en mezclas con hasta 20% de plástico, mientras que a partir de 30% se observó una reducción significativa de hasta **35% en resistencia**. En términos económicos, se reportó una reducción de costos de producción de aproximadamente **40% a 52%**.

Se concluyó que, aunque es posible incorporar altos porcentajes de plástico, el rango óptimo para mantener equilibrio entre resistencia y sostenibilidad se

encuentra entre **10% y 20%**, destacando su viabilidad en pavimentos de tránsito ligero.

“Desarrollo de concreto sostenible utilizando gránulos de PET reciclado”, James Thompson (2023), en Reino Unido – University of Leeds.

El objetivo fue analizar el efecto del PET reciclado como reemplazo parcial del agregado fino en concreto, evaluando resistencia, densidad y porosidad.

Los resultados indicaron que con un reemplazo del **10% de PET**, la resistencia a la compresión alcanzó valores de **28 MPa**, lo cual representa una disminución aproximada del **12%** respecto al concreto convencional. Sin embargo, con reemplazos mayores al 15%, la resistencia disminuyó hasta en **25%**, acompañado de un incremento en la porosidad de hasta **20%**.

Se concluyó que el PET puede utilizarse como agregado fino en porcentajes controlados, siendo el **10% el valor óptimo**, ya que mantiene propiedades aceptables sin comprometer significativamente el comportamiento estructural.

“Evaluación del desempeño de adoquines fabricados con residuos plásticos como material aglomerante”, Davia Okello (2025), en Uganda – Makerere University.

El objetivo de este estudio fue evaluar la viabilidad del uso de plástico reciclado como sustituto del cemento en la fabricación de adoquines.

Los resultados mostraron resistencias a la compresión entre **20 y 28 MPa**, comparables con adoquines tradicionales para tránsito ligero. Asimismo, la absorción de agua se redujo en más del **50%**, evidenciando alta impermeabilidad.

Se concluyó que el plástico reciclado puede funcionar como aglomerante alternativo, reduciendo significativamente el uso de cemento y mejorando la durabilidad, siendo una solución viable en contextos de construcción sostenible.

“Concreto estructural liviano sostenible con agregado de PET reciclado”, Carlos Mendes (2024), en Brasil – Universidade de Sao Paulo.

El objetivo fue evaluar el comportamiento del concreto liviano incorporando PET reciclado como agregado, analizando propiedades físicas y mecánicas.

Los resultados evidenciaron una reducción de densidad de hasta **15%**, lo que contribuye a la disminución de cargas estructurales. Sin embargo, la resistencia a la compresión se redujo entre **10% y 22%**, dependiendo del porcentaje de PET incorporado.

Se concluyó que el uso de PET es adecuado para aplicaciones no estructurales o de carga moderada, donde el peso reducido es una ventaja significativa.

“Adoquines permeables elaborados con PET reciclado”, Lee Min-Jae (2020), en Coreal del Sur – Seoul National University

El objetivo fue desarrollar adoquines permeables con PET reciclado que cumplan con requisitos estructurales e hidráulicos.

Los resultados mostraron resistencias a la compresión de hasta **35 MPa**, cumpliendo estándares internacionales, y coeficientes de permeabilidad superiores a **0.5 cm/s**, lo cual garantiza un adecuado drenaje.

Se concluyó que estos adoquines son adecuados para pavimentos urbanos sostenibles, combinando resistencia mecánica y eficiencia hidráulica.

“Desempeño mecánico del concreto con PET reciclado como agregado fino”, Luis Hernández (2024), en México – Universidad Nacional Autónoma de México.

El objetivo fue evaluar el comportamiento del concreto al incorporar PET como agregado fino en diferentes proporciones.

Los resultados indicaron que con un **5%** de PET la resistencia se mantiene dentro de rangos aceptables ($\approx 90\%$ del valor original), mientras que con **15%** disminuye hasta en **30%**.

Se concluyó que el PET debe utilizarse en porcentajes bajos para evitar afectaciones significativas en las propiedades mecánicas del concreto.

2.1.2 Antecedentes nacionales

“Uso de adoquines de concreto con PET reciclado para mejoramiento de infraestructura vial urbana”, Luis Quispe (2023), en Tacna – Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.

El objetivo de la investigación fue evaluar la influencia del PET reciclado en las propiedades físico-mecánicas de adoquines de concreto para su aplicación en vías urbanas.

Los resultados mostraron que la resistencia a la compresión disminuyó conforme aumentaba el porcentaje de PET, registrándose valores de **32 MPa (0%)**, **29 MPa (5%)** y **25 MPa (10%)**, lo que representa reducciones de hasta **22%**. En cuanto a la absorción, se observó una disminución de aproximadamente **12%** en comparación con la muestra patrón.

Se concluyó que el porcentaje óptimo de PET es **5%**, ya que mantiene una resistencia adecuada para tránsito ligero, cumpliendo con los requisitos normativos, además de aportar beneficios ambientales.

“Evaluación de las propiedades mecánicas del adoquín con residuos PET”, María Fernández (2024), en Lambayeque – Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

El objetivo fue determinar el comportamiento mecánico de adoquines incorporando PET en diferentes proporciones (2.5%, 5% y 7.5%).

Los resultados indicaron que la resistencia a la compresión alcanzó su valor máximo con **3.75%–5% de PET (≈ 30 MPa)**, mientras que al incrementar a 7.5% se redujo hasta en **18%**. Asimismo, la absorción aumentó ligeramente en porcentajes altos de PET.

Se concluyó que el rango óptimo se encuentra entre **3.75% y 5%**, ya que permite mantener un equilibrio entre resistencia y trabajabilidad del material.

“Diseño de adoquines con PET reciclado para tránsito ligero”, Carlos Ramos (2021), en Huancayo – Universidad Peruana Los Andes.

El objetivo fue diseñar una mezcla de adoquines con PET reciclado que cumpla con los requisitos para tránsito ligero.

Los resultados evidenciaron que la resistencia a la compresión aumentó ligeramente con pequeñas proporciones de PET, alcanzando incrementos de hasta **10%–12%** con 5% de adición. Sin embargo, al superar este porcentaje, la resistencia disminuyó progresivamente.

Se concluyó que el PET puede mejorar ciertas propiedades mecánicas en bajas proporciones, pero su uso debe ser limitado para evitar efectos negativos.

“Influencia del plástico reciclado PET en las características físico-mecánicas de adoquines de concreto”, Ana Torres (2023), en Chiclayo – Universidad Señor de Sipán

El objetivo fue analizar la influencia del PET como reemplazo parcial de agregados en adoquines, evaluando resistencia, absorción y densidad.

Los resultados mostraron que la resistencia disminuyó en aproximadamente **15% a 25%** con la incorporación de PET, mientras que la absorción aumentó en valores cercanos al **10%**. Además, se observó una reducción en la densidad del material.

Se concluyó que el PET afecta negativamente las propiedades mecánicas cuando se utiliza en proporciones altas, recomendando su uso controlado bajo normativa peruana.

“Sustitución parcial de cemento por plástico reciclado PET en adoquines de concreto”, José Castillo (2023), en Huacho – Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

El objetivo fue evaluar el efecto de sustituir parcialmente el cemento por PET reciclado en la fabricación de adoquines.

Los resultados evidenciaron una disminución en la trabajabilidad de la mezcla y una reducción en la resistencia a la compresión de hasta **28%**, especialmente en porcentajes mayores al 10%. Asimismo, se identificaron problemas de cohesión en la mezcla.

Se concluyó que el PET no es recomendable como sustituto del cemento en altos porcentajes, debido a la pérdida significativa de propiedades mecánicas.

“Adoquines de concreto con agregados reciclados y su influencia en la resistencia y costos”, Miguel Rojas (2024), en Huánuco – Universidad de Huánuco

El objetivo fue evaluar el uso de materiales reciclados en adoquines y su impacto en resistencia y economía.

Los resultados mostraron resistencias de hasta **31 MPa**, comparables con mezclas tradicionales, y una reducción de costos de producción de aproximadamente **20%**.

Se concluyó que el uso de materiales reciclados es viable técnica y económicamente, siempre que se controle adecuadamente la dosificación.

“Reutilización de concreto estructural reciclado en la fabricación de adoquines”, Pedro Huamán (2022), en Abancay – Universidad Tecnológica de los Andes

El objetivo fue evaluar el uso de agregados reciclados provenientes de concreto estructural en la fabricación de adoquines.

Los resultados indicaron que se pueden reemplazar hasta 50% de agregados sin afectar significativamente la resistencia, manteniendo valores cercanos a 28–30 MPa.

Se concluyó que el reciclaje de concreto es una alternativa viable y sostenible en la producción de adoquines.

“Influencia de fibras recicladas en la resistencia de adoquines de concreto”, Jorge Paredes (2022), en Huánuco – Universidad de Huánuco

El objetivo fue evaluar el efecto de fibras recicladas en la resistencia de adoquines.

Los resultados mostraron incrementos en la resistencia a la compresión de hasta **15%**, así como mejoras en la resistencia a la flexión.

Se concluyó que el uso de fibras recicladas puede mejorar significativamente el desempeño mecánico de los adoquines.

2.1.3 Antecedentes locales

“Elaboración de prototipo de bloque ecológico con plástico reciclado para losas aligeradas”, Henry Villena Murga (2023), en Nuevo Chimbote – Universidad Nacional del Santa.

El objetivo de la investigación fue determinar las propiedades físico-mecánicas de un bloque de concreto ecológico para losas aligeradas mediante la incorporación de plástico PET reciclado, cumpliendo con lo establecido en la normativa peruana.

Para ello, se diseñó una mezcla base con dosificación 1:4:2 (cemento: arena: confitillo), la cual alcanzó una resistencia a la compresión de 38.44 kg/cm² a los 28 días. Posteriormente, se elaboraron muestras incorporando 10%, 20% y 30% de PET respecto al peso del cemento, evaluando propiedades como resistencia, absorción, densidad, variación dimensional y humedad según la NTP 339.604.

Los resultados mostraron que:

- 10% PET: 32.89 kg/cm²
- 20% PET: 38.44 kg/cm²
- 30% PET: 34.73 kg/cm²
- Bloque convencional: 27.69 kg/cm²

Se evidenció que el bloque con 20% de PET alcanzó la mayor resistencia, igualando a la mezcla patrón y superando al bloque convencional del mercado local.

Finalmente, se concluyó que:

- El uso de PET reciclado en bloques es técnicamente viable
- El porcentaje óptimo es 20% de PET
- Se obtiene un material con mayor resistencia que los bloques comerciales
- Es una alternativa sostenible aplicable en losas aligeradas

2.2 Materiales de Construcción

Los materiales de construcción son elementos utilizados para la elaboración de obras de ingeniería y arquitectura, tales como viviendas, carreteras, puentes, edificaciones, obras de infraestructura y otras más.

Desde la antigüedad, el ser humano ha utilizado distintos materiales como piedra, madera y arcilla y con el avance de la tecnología se han incorporado nuevos materiales como cemento, acero, concreto, plásticos y materiales reciclados, que mejoren el desempeño y la eficiencia de las construcciones.

La elección adecuada de los materiales de construcción es fundamental, ya que de ellos depende la resistencia, funcionalidad, economía y sostenibilidad de las obras.

2.2.1 Clasificación de los materiales

2.2.1.1 Según su origen

Materiales naturales: Son aquellos que se obtienen directamente de la naturaleza y requieren poco procesamiento. Ejemplo: Arena, Piedra, Grava y Madera.

Materiales artificiales o elaborados: Son aquellos que se obtienen mediante procesos industriales a partir de materias primas naturales, como las mencionadas anteriormente. Ejemplo: Cemento, concreto, ladrillos, acero y vidrio.

2.2.1.2 Según su composición

Materiales pétreos: Proviene de rocas naturales o de su trituración, como piedra, arena y grava.

Materiales cerámicos: Se obtienen mediante la cocción de arcilla a altas temperaturas, como ladrillos, tejas y adoquines cerámicos.

Materiales metálicos: Son materiales que contienen metales y poseen alta resistencia y ductilidad, como acero, aluminio y hierro.

Materiales orgánicos: Proceden de organismos vivos o compuestos orgánicos, como la madera y algunos plásticos.

Materiales compuestos: Resultan de la combinación de dos o más materiales con el fin de mejorar sus propiedades, como el concreto armado.

2.3 Propiedades físicas

Según las Normas Técnicas Peruanas (NTP), una propiedad física de un material de construcción es aquella que se puede observar y medir sin alterar la naturaleza y composición del material. Entre ellas tenemos las siguientes:

- **Densidad:** Es la masa por unidad de volumen de un material. Esta propiedad es esencial para determinar la carga que un material puede soportar y como se comportará en términos de peso. Está representada por la siguiente ecuación:

Ecuación 1

Relación de masa sobre volumen

$$densidad = \frac{masa}{Volumen}$$

- **Peso específico:** Esta propiedad indica el peso por unidad de volumen del material. Siendo la relación entre el peso de un material y el volumen que ocupa.

Ecuación 2

Relación peso sobre volumen

$$peso\ específico = \frac{peso = (masa \times gravedad)}{Volumen}$$

- **Porosidad:** La porosidad en un material de construcción, se refiere a la cantidad y distribución de los poros presentes en un material, estos pueden influir en otras propiedades como la absorción, la durabilidad e incluso en la resistencia a la compresión. La porosidad está representada por la siguiente ecuación.

Ecuación 3

Ecuación de porosidad

$$P = \frac{Ev}{Va}$$

$$Ev = Va - Vr$$

P = Porosidad

Ev = Espacios Vacíos

Va = Volumen aparente

Vr = Volumen real

- **Contenido de Humedad:** El contenido de humedad es la cantidad de agua retenida en un cuerpo respecto a su peso en seco representado en porcentaje. Está representado por la siguiente ecuación:

Ecuación 4

Contenido de humedad

$$H\% = \left(\frac{PH - PS}{PS} \right) \times 100\%$$

H% = Contenido de Humedad en porcentaje

PH = Peso Húmedo

PS = Peso en seco

- **Absorción:** Es la cantidad de agua que un material puede absorber respecto a su peso seco, representado en forma porcentual. Esta representado por la siguiente ecuación:

Ecuación 5

Porcentaje de absorción

$$A\% = \frac{\text{Peso saturado} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \times 100\%$$

El peso saturado se determinará al ingresar el material en un recipiente lleno de agua, el tiempo a emplearse dependerá de lo que se indique en las NTP.

- **Compacidad:** La compacidad es la relación entre el volumen real de un material y el volumen aparente, siendo el primero el volumen del material excluyendo los poros interiores, esta propiedad afecta a otras propiedades como son la higroscopicidad, las propiedades acústicas y la aislación térmica. Está representada por la siguiente ecuación

Ecuación 6

Compacidad

$$C(\text{compacidad}) = \frac{Vr(\text{Volumen real})}{Va(\text{Volumen aparente})}$$

2.4 Propiedades mecánicas

- **Resistencia Mecánica:** Es la capacidad de un material a evitar ser deformado por fuerzas externas, entre ellas están: la tracción, la compresión, flexión, corte y torsión. El grado de resistencia se mide como la relación entre la fuerza ejercida sobre el cuerpo y el área de la sección transversal que la soporta.

Ecuación 7

Resistencia mecánica

$$\sigma = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Área de sección transversal}}$$

Las unidades son kg/cm^2 , T/cm^2 , $\text{N/m}^2 = \text{Pa}$, etc.

- **Ductilidad:** Es la capacidad de un material de presentar una deformación plástica antes de alcanzar su ruptura.
- **Fragilidad:** A diferencia de la ductilidad la fragilidad es la propiedad de los materiales a romperse con una pequeña deformación.
- **Elasticidad:** Es la capacidad de un material de recuperar su forma inicial luego de sufrir una deformación ocasionada por una fuerza, sin embargo, es sabido que no existe material perfectamente elástico.
- **Plasticidad:** A diferencia de la elasticidad, la plasticidad es la capacidad de un material de mantener su deformación aun después de la fuerza ejercida sobre esta.
- **Rigidez:** Es la capacidad de un material de soportar esfuerzos sin deformarse o antes de hacerlo.

2.5 Adoquines de concreto

Los adoquines de concreto son elementos prefabricados macizos de diferentes dimensiones (según su tipo) y colores. Son fáciles de instalar ya que no requieren del uso de morteros, y tienen bajo costo de mantenimiento.

2.5.1 Materia prima

Cemento: Material con propiedades adhesivas y cohesivas, que dan la capacidad de aglutinar fragmentos minerales (como la piedra chancada, arena gruesa, etc.) para formar un sólido con forma definida compacta.

Agregado Grueso: Son partículas denominadas gravas, cuyo diámetro está por encima de 4.75 mm del tamiz N°4. Tiene como función ser una matriz resistente, proporcionando una masa de partículas capaz de resistir los esfuerzos externos de desgaste que actúen sobre el concreto.

Agregado Fino: Son partículas denominadas arenas, cuyo diámetro está por debajo de 4.75 mm del tamiz N°4. Tiene como función ser la base para darle manejabilidad al concreto al poder hacer rodar los agregados gruesos.

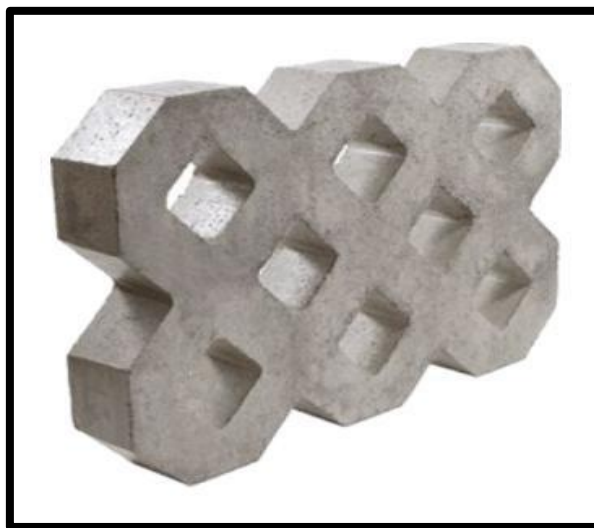
Agua: Material que disuelve el concreto para facilitar la mezcla de los 3 materiales mencionados anteriormente y posterior a ello fraguarlo y darle la forma sólida al elemento.

2.5.2 Tipos de adoquines

- **Adopasto: (60x40x8)** Tipo de adoquín en forma de números 8 recomendable para jardines, estacionamientos de vehículos ligeros, proyectos residenciales, comerciales e institucionales.
 - **Piezas por m²:** 5 piezas
 - **Peso promedio:** 23.8 kg
 - **Absorción media (%):** < 7%

Figura 1

Adoquín Adopasto



Nota: Imagen que representa un conjunto de adoquines tipo adopasto, obtenida de la empresa Norblocks.

- **Cuadrado: (20x20x8)** Adoquín para pavimentos compuestos (semi-rígidos), tránsito peatonal, pasillos, entre otros.
 - **Piezas por m²:** 25 piezas
 - **Peso promedio:** 6.1 kg
 - **Absorción media (%):** < 7%

Figura 2

Adoquín Cuadrado



Nota: Imagen que representa un adoquín tipo cuadrado, obtenida de la empresa Norblocks.

- **Adoquín hexagonal: (8x23)** Adoquín para pavimentos compuestos (semi-rígidos), como superficie tipo I.
 - **Piezas por m²:** 21 piezas
 - **Peso promedio:** 7.25 kg
 - **Absorción media (%):** < 7%

Figura 3

Adoquín hexagonal



Nota: Imagen que representa un adoquín hexagonal, obtenida de la empresa Norblocks.

- **Adoquín rectangular:** El uso de este tipo de adoquines dependerá del tipo de superficie de rodamiento y su resistencia requerida.
 - **Tipo I:** Adoquines para pavimentos de uso peatonal
 - **Tipo II:** Adoquines para pavimentos de tránsito vehicular ligero.
 - **Tipo III:** Adoquines para pavimentos de tránsito vehicular pesado, patios industriales y contenedores.

Tabla 1

Adoquines rectangulares

Tamaño	Peso por pieza	Piezas por m²
6 x 10 x 20	2.5 kg	50
8 x 10 x 20	3.5 kg	50
10 x 10 x 20	4.3 kg	50

Nota: Tabla obtenida de Norblocks Prefabricados

Figura 4

Adoquín rectangular



Nota: Imagen que representa un adoquín hexagonal, obtenida de la empresa Norblocks.

- **Absorción media (%):**
 - **Tipo I:** 7.5%
 - **Tipo II:** 7.5%
 - **Tipo III:** 7.0%

2.6 Plástico PET triturado

El polietileno tereftalato (PET) es un polímero termoplástico ampliamente utilizado en la fabricación de botellas para bebidas, envases y productos de embalaje debido a su alta resistencia, ligereza y estabilidad química. Sin embargo, su elevada durabilidad provoca que los residuos de PET se acumulen en el ambiente, generando problemas de contaminación. Por ello, en los últimos años diversos estudios han investigado su reutilización en materiales de construcción, especialmente en forma de PET reciclado triturado.

El PET triturado se obtiene generalmente a partir de botellas recicladas que son limpiadas, trituradas y convertidas en partículas de pequeño tamaño, normalmente entre 4 y 5 mm, para facilitar su incorporación en mezclas de concreto o mortero. Este material puede emplearse como sustituto parcial de agregados finos o gruesos, dependiendo del tamaño de las partículas y del tipo de elemento constructivo que se desee fabricar.

Diversas investigaciones han analizado el comportamiento del PET triturado en materiales de construcción. Por ejemplo, estudios sobre bloques de concreto con PET reciclado determinó que la incorporación de este material reduce el peso del elemento y mejora el aislamiento térmico, aunque en algunos casos puede disminuir la resistencia a la compresión cuando se usan porcentajes elevados.

De manera similar, investigaciones sobre bloques Inter trabados de concreto indican que pequeñas proporciones de PET, alrededor de 5% como reemplazo de agregado, pueden mantener niveles aceptables de resistencia, mientras que porcentajes mayores tienden a reducir la resistencia mecánica del material.

Asimismo, revisiones científicas sobre el uso de PET reciclado en concreto señalan que este material posee menor módulo de elasticidad y menor conductividad térmica que los agregados naturales, lo que explica por qué su incorporación puede disminuir la rigidez del concreto, pero mejorar su capacidad de aislamiento térmico.

2.7 Reglamentos

Para que un material de construcción pueda ser aceptado en obras en general, primero debe cumplir con ciertos requisitos mínimos de calidad impuestas por entidades del estado.

Existirá además una norma impuesta dependiendo del tipo de material y el tipo de construcción, así también como su proceso de fabricación

2.7.1 NTP 399.611 Unidades de albañilería. adoquines de concreto para pavimentos. Requisitos.

La presente norma establece los requisitos que deben cumplir los adoquines de concreto para pavimentos clasificados en:

- Tipo I:** Adoquines para pavimentos de uso peatonal.
- Tipo II:** Adoquines para pavimentos de tránsito vehicular ligero.
- Tipo III:** Adoquines para pavimentos de tránsito vehicular pesado.

Materiales para la fabricación de adoquines.

Los materiales utilizados en la fabricación de los adoquines deberán cumplir con las siguientes normas técnicas, siendo estas:

- Cemento: NTP 334.009,
- Agua de mezcla: NTP 339.088
- Agregados: NTP 400.037

Requisitos.

1.- Espesor nominal y resistencia a la compresión.

Tabla 2

Espesor y resistencia a la compresión

Tipo	Espesor nominal (mm)	Resistencia a la compresión, mín.	
		Promedio de 3 unidades	Unidad Individual
I (Peatonal)	40	31 (320)	28 (290)
	60	31 (320)	28 (290)
II (Vehicular ligero)	60	41 (420)	37 (380)
	80	37 (380)	33 (340)
III (Vehicular pesado)	100	35 (360)	32 (325)
	>80	55 (561)	50 (510)

Nota: Tabla obtenida de las NTP 399.611

2.- Tolerancia dimensional

Tabla 3

Tolerancia dimensional

Tolerancia dimensional, máximo (mm)		
Longitud	Ancho	Espesor
±1,6	±1,6	±3,2

Nota: Tabla obtenida de las NTP 399.611

3.- Absorción máxima

Tabla 4

Absorción máxima

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

Nota: Tabla obtenida de las NTP 399.611

2.7.2 NTP 334.009 Cementos. cemento portland. requisitos.

Esta norma se aplica para establecer los requisitos que deben cumplir los 5 tipos de cementos, según su uso y clasificación.

Definición: El cemento Portland es un cemento hidráulico producido mediante la pulverización del Clinker (materia prima principal), compuesto por silicatos de calcio hidráulicos y que generalmente contiene sulfato de calcio y caliza como aditivo durante su molienda.

Información para pedidos: Los pedidos de cementos deberán cumplir con:

- Número de la presente Norma Técnica Peruana y fecha
- El tipo o tipos de cemento requerido. Si no se especifica el tipo se deberá cumplir con los requisitos para el tipo I.

Clasificación y uso.

Los cementos están clasificados según sus propiedades específicas de acuerdo a las NTP 334.009.

- **Tipo I:** Para uso general que no requiera propiedades especiales de cualquier otro tipo.
- **Tipo II:** Para uso general, y específicamente cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación.
- **Tipo III:** Para ser utilizado cuando se requiere altas resistencias iniciales.

- **Tipo IV:** Para emplearse cuando se desea bajo calor de hidratación.
- **Tipo V:** Para emplearse cuando se desea alta resistencia a los sulfatos.

Requisitos químicos.

Cada uno de los 5 tipos de cementos indicados anteriormente deberán cumplir con los siguientes requisitos químicos indicados en la tabla 5.

Tabla 5

Requisitos químicos

COMPOSICIÓN QUÍMICA	MÉTODO DE ENSAYO APLICABLE	TIPO DE CEMENTO				
		I	II	III	IV	V
Dióxido de Silicio, (SiO ₂), % mín.		-	20,0	-	-	-
Oxido de Aluminio, (Al ₂ O ₃), % máx.		-	6,0	-	-	-
Oxido Férrico, (Fe ₂ O ₃), % max.		-	6,0	-	6,5	-
Oxido de Magnesio, (MgO), % máx.		6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Trióxido de Azufre, (SO ₃), % máx.	334.086					
Cuando (C3A) < 8%		3,0	3,0	3,5	2,3	2,3
Cuando (C3A) > 8%		3,5	(B)	4,5	(B)	(B)
Pérdida por Ignición, % máx.		3,0	3,0	3,0	2,5	3,0
Residuo Insoluble, % máx.		0,75	0,75	0,75	0,75	0,75

Nota: Tabla obtenida de las NTP 334.009

Requisitos físicos.

Cada uno de los 5 tipos de cementos indicados anteriormente deberán cumplir con los siguientes requisitos físicos indicados en la tabla 6.

Tabla 6

Requisitos físicos de los cementos

Características	Método de ensayo	Tipo de cemento				
		I	II	III	IV	V
Contenido de aire del mortero (A), % volumen,	NTP 334.048					
Máx.		12	12	12	12	12
Mín.		-	-	-	-	-
Finura, Superficie Específica, (m²/kg) (Métodos alternativos) (B)						
Ensayo de Turbidímetro, mín.	NTP 334.072	160	160	-	160	160
Ensayo de Permeabilidad, mín.	NTP 334.002	280	280	-	280	280
Expansión en Autoclave, % máx.	NTP 334.004	0,8	0,80	0,80	0,80	0,80
Resistencia a la Compresión, Mpa						
1 día	NTP 334.051	-	-	12,0	-	-
3 días		12,0	10,0	24,0	-	8,0
7 días		19,0	17,0	-	7,0	15,0
28 días		-	-	-	17,0	21,0
Tiempo de fraguado						
Ensayo de Gillmore (minutos)						
Fraguado Inicial: No menor que, mín.	NTP 334.056	60	60	60	60	60
Fraguado Final: No mayor que, mín.		600	600	600	600	600
Ensayo de Vicat (minutos)						
Tiempo de Fraguado: No menor que, mín.	NTP 334.006	45	45	45	45	45
Tiempo de Fraguado: No mayor que, mín.		375	375	375	375	375

Nota: Tabla obtenida de las NTP 334.009

Certificación del fabricante.

La certificación del fabricante se entregará una vez realizada la compra y cuando el comprador lo solicite, esta debe especificar los resultados de las pruebas, que incluyen el análisis químico, hecho en base a las muestras de cemento durante la producción o transferencia y verificando que se hayan cumplido los requisitos físicos y químicos.

Envase y rotulado.

- El cemento será recibido en el envase original de fábrica, ya sea en bolsa o granel
- El contenido neto será de 42.5 kg en caso de ser cemento embolsado.
- En la bolsa donde está el cemento debe incluir en su rótulo lo siguiente:
 - La palabra cemento Portland y el tipo correspondiente.
 - Nombre o símbolo del fabricante.
 - El contenido neto, en kilogramos.
 - El código de la presente Norma Técnica Peruana NTP

2.7.3 NTP 339.088 Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento portland. requisitos.

La siguiente norma establece los requerimientos que debe cumplir el agua a usar en la producción de concreto, definiendo las fuentes de agua, así como los tipos de ensayo para la calificación de las aguas adecuadas en la mezcla.

Agua no potable.

Fuentes de agua no aptas para el consumo humano, que será ensayada en conformidad con la Tabla 7.

Tabla 7*Requisitos agua no potable*

	Limites
Resistencia a compresión, % mínimo con relación a la muestra control a 7 días	90
Tiempo de fraguado, desviación respecto al control, horas: minutos	De 1:00 más temprano a 1:30 más tarde

Nota: Tabla obtenida de las NTP 339.088

Agua proveniente de las operaciones de producción de concreto.

Este tipo de aguas son aquellas recuperadas de la producción de concreto, es decir, aguas que contienen ingredientes de concreto.

Se realizan ensayos en base a la densidad del agua los cuales son:

-Si la densidad es menor que 1.01 g/mL → el agua deberá ser ensayada antes del primer uso, y posterior a ello cada seis meses, sin embargo, si en dos ensayos consecutivos los resultados cumplen con lo estipulado en la Tabla 7, la frecuencia de ensayos puede reducirse a uno cada doce meses.

-Si la densidad esta entre 1.01 y 1.03 → el agua deberá ser ensayada antes del primer uso, y posterior a ello mensualmente, sin embargo, esta frecuencia puede ser reducida a una vez cada tres meses, cuando los resultados cumplan con lo estipulado en la Tabla 7 en cuatro ensayos consecutivos.

-Si la densidad es mayor a 1.03 g/mL → el agua deberá ser ensayada semanalmente, sin embargo, esta frecuencia puede reducirse a una vez cada mes, si los resultados cumplen con lo estipulado en la Tabla 7 en dos meses de ensayos consecutivos.

Los ensayos de densidad serán realizados por lo menos diariamente y/o monitoreados con un hidrómetro en conformidad de la norma ASTM C1603.

Agua potable.

Agua apta para el consumo humano, y que se le permitirá su uso en la mezcla del concreto sin necesidad de ensayos para evaluar su conformidad.

2.7.4 NTP 400.037 Agregados para concreto. Requisitos.

Esta norma establece los requisitos que los agregados deben cumplir para su debido uso en la fabricación de concreto, los agregados son los siguientes:

Agregado fino.

Consiste en arena natural que pasa el tamiz 9,5mm (3/8pulg) y queda retenido en el tamiz 75um (No. 200), cuya granulometría debe estar dentro de los límites de la siguiente tabla, para su uso en la fabricación de concreto.

Tabla 8

Requisitos del agregado fino

Tamiz	Porcentaje que pasa
9,5 mm (3/8 pulg)	100
4,75 mm (No. 4)	95 a 100
2,36 mm (No. 8)	80 a 100
1,18 mm (No. 16)	50 a 85
600 um (No. 30)	25 a 60
300 um (No. 50)	5 a 30
150 um (No. 100)	0 a 10
75 um (No. 200)	0 a 3,0

Nota: Fuente de las normas NTP 400.037

El agregado fino no debe tener más del 45% que pasa en alguna malla retenida en la siguiente malla consecutiva, y su módulo de fineza no debe estar fuera del rango [2.3-3.1]

Agregado grueso.

Consiste en grava, piedra chancada, retenido en el tamiz 4,75 mm (No. 4), cuya granulometría debe estar dentro de los límites de la siguiente tabla 9, para su uso en la fabricación de concreto.

Tabla 9

Ensayo granulométrico en agregado grueso

	Tamaño máximo nominal	Porcentaje que pasa por los tamices normalizados													
		100 mm (4 pulg)	90 mm (3 1/2 pulg)	75 mm (3 pulg)	63 mm (2 1/2 pulg)	50 mm (2 pulg)	37.5 mm (1 1/2 pulg)	25.0 mm (1 pulg)	19.0 mm (3/4 pulg)	12.5 mm (1/2 pulg)	9.5 mm (3/8 pulg)	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16)	300 um (No. 50)
1	90 mm a 37.5 mm (3 1/2 pulg a 1 1/2 pulg)	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 5						
2	63 mm a 37.5 mm (2 1/2 pulg a 1 1/2 pulg)			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5						
3	50 mm a 25 mm (2 pulg a 1 pulg)				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5					
357	50 mm a 4.75 mm (2 pulg a No.4)				100	95 a 100		35 a 70		10 a 30		0 a 5			
4	37.5 mm a 19.0 mm (1 1/2 pulg a 3/4 pulg)					100	90 a 100	20 a 55		0 a 5					
467	37.5 mm a 4.75 mm (1 1/2 pulg a No. 4)					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 5			
5	25.0 mm a 12.5 mm (1 pulg a 1/2 pulg)						100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5				
56	25 mm a 9.5 mm (1 pulg a 3/8 pulg)						100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5			
57	25 mm a 4.75 mm (1 pulg a No.4)						100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5		
6	19 mm a 9.5 mm (3/4 pulg a 3/8 pulg)							100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5			
67	19 mm a 4 mm (3/4 pulg a No.4)							100	90 a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5		
7	12.5 mm a 4.75 mm (1/2 pulg a No.4)								100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5		
8	9.5 mm a 2.36 mm (3/8 pulg a No.8)									100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	
89	12.5 mm a 9.5 mm (1/2 pulg a 3/8 pulg)									100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	4.75 mm a 1.18 mm (No.4 a No.16)										100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Nota: Fuente de los requisitos de la NTP 400.037

2.8 Marco Conceptual

Adoquín de Concreto

Elemento prefabricado elaborado a base de cemento, agregados y agua, utilizado en la pavimentación de superficies como calles, veredas, estacionamientos y plazas. Los adoquines se caracterizan por su resistencia mecánicas, durabilidad y facilidad de mantenimiento, además de permitir la distribución adecuada de cargas en pavimentos articulados.

Plástico PET reciclado

Material obtenido del reciclaje del polietileno tereftalato (PET), comúnmente utilizado en la fabricación de botellas para bebidas. Este material puede ser reutilizado en la industria de la construcción como sustituto parcial de agregados en mezclas de concreto, contribuyendo a la reducción de plásticos y al desarrollo de materiales más sostenibles.

PET triturado

Material resultante del proceso de trituración de residuos de botellas PET recicladas. Se presenta en forma de pequeñas partículas que pueden incorporarse en mezclas de concreto para la fabricación de elementos prefabricados, como bloques o adoquines.

Resistencia a la compresión

Propiedad mecánica que mide la capacidad de un material para soportar cargas que tienden a reducir su tamaño sin fracturarse. En los adoquines de concreto, esta propiedad es fundamental para garantizar su desempeño frente a cargas de tránsito vehicular o peatonal.

Absorción de agua

Propiedad física que indica la cantidad de agua que puede absorber un material en relación con su peso seco. En los adoquines de concreto, un bajo porcentaje de absorción suele indicar menor porosidad y mayor durabilidad del material.

Porosidad

Relación entre volumen de vacíos presentes en un material y su volumen total. Una mayor porosidad en el concreto puede provocar mayor absorción de agua y una posible disminución de la resistencia mecánica.

Tolerancia dimensional

Es el margen de variación permitido en las dimensiones de un elemento prefabricado respecto a sus medidas nominales. En los adoquines de concreto, la tolerancia dimensional es un requisito importante de control de calidad, ya que garantiza la uniformidad de las piezas y facilita su correcta colocación en el pavimento.

Pavimento articulado

Sistema de pavimentación conformado por piezas prefabricadas, como los adoquines, colocadas sobre una capa de arena o base granular. Estas piezas trabajan de manera conjunta mediante el sistema de intertrabado, permitiendo una adecuada distribución de las cargas aplicadas.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

III METODOLOGÍA

3.1 Enfoque de la investigación

Cuantitativa: Se evaluaron las propiedades físico mecánicas de los adoquines (Porcentaje de absorción, tolerancia dimensional y resistencia a la compresión) mediante ensayos en los laboratorios GEOLAB SAC y la facultad de Ingeniería Civil de la UNS, cuyos resultados serán analizados estadísticamente.

3.2 Diseño de la investigación

Experimental: Según lo explicado en el índice 2.1.1, 2.1.2 y 2.1.3, se elaboraron adoquines con diferentes porcentajes de plástico reciclado (0%, 5%, 7.5% Y 10%) en función al peso del cemento, para evaluar su influencia en las propiedades físico mecánicas estipuladas en las NTP 399-611.

3.2.1 Población.

Adoquines industriales elaborados en la empresa EPPCON en Nuevo Chimbote con dimensiones de 20 x 10 x 6 cm y una resistencia promedio de 280 kg/cm².

3.2.2 Muestra.

Las Normas NTP 399.611 indican a través de los requisitos de % de Absorción y Resistencia a la Compresión, que deben usarse un promedio de 3 unidades de adoquines cada 7, 14 y 28 días de curado.

Por lo tanto, tenemos lo siguiente:

-0% PET

3 muestras en 7 días

3 muestras en 14 días

3 muestras en 28 días

-5% PET

3 muestras en 7 días

3 muestras en 14 días

3 muestras en 28 días

-7.5% PET

3 muestras en 7 días

3 muestras en 14 días

3 muestras en 28 días

-10% PET

3 muestras en 7 días

3 muestras en 14 días

3 muestras en 28 días

En consecuencia, el ensayo de laboratorio fue para 9 adoquines sin plástico reciclado y 27 adoquines con plástico reciclado en proporciones de 5%, 7.5% y 10%.

3.3 Variables.

3.3.1 Variable independiente.

Plástico reciclado.

3.3.2 Variable dependiente.

Propiedades físico mecánicas de los adoquines industriales

3.4 Matriz de Operacionalización de variables

Tabla 10

Matriz de Operacionalización de variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Métodos
Variable Independiente: Plástico Reciclado	Es un material polimérico obtenido a partir del reprocesamiento de residuos de polietilentereftalato (PET), principalmente de botellas y envases postconsumo, que fueron recuperados, clasificados, limpiados y transformados mediante procesos físico y/o químicos para su reutilización.	Cantidad de plástico PET reciclado incorporado en la mezcla de concreto en diferentes proporciones en función del peso del cemento para la elaboración de adoquines	Física	Densidad del plástico reciclado PET	Uso de bibliografía y estudios previos que están relacionados con el tema
			Dosificación del PET	5%, 7.5% y 10%	Dosificación en función al peso del cemento
Variable Dependiente: Propiedades físico-mecánicas de los adoquines	Conjunto de características físicas y mecánicas que determinan su comportamiento estructural y desempeño para su uso en pavimentos peatonales y vehiculares según su Tipo	Se refiere a las propiedades físicas (Tolerancia Dimensional, Porcentaje de Absorción) y mecánicas (Resistencia a la Compresión) que deben cumplir los adoquines tipo I según los requisitos estipulados de las NTP 399.611.	Física	Porcentaje de Absorción	Ensayos de laboratorio en la facultad de Ingeniería Civil de la UNS
			Mecánica	Tolerancia Dimensional Resistencia a la compresión	

Nota: Fuente propia

3.5 Técnicas e instrumentos para recolección de datos.

3.5.1 Ensayos de laboratorio de los agregados.

Cuarteo (NTP 339.089)

Se colocan las muestras (agregado fino y grueso por separado) sobre un superficie, lisa y limpia, mezclándose hasta formar un cono, para luego aplanarse y darle una base circular, presionando hasta abajo con una cuchara de pala. El diámetro debe ser aproximadamente cuatro a ocho veces el espesor.

Luego se divide la muestra en cuatro partes iguales, separando dos cuartos diagonalmente opuestos, los dos cuartos restantes se mezcla formando nuevamente la forma cónica y aplazándose repitiendo el procedimiento hasta 4 veces, obteniéndose la cantidad requerida para los ensayos.

Granulometría (NTP 400.037)

Se realizarán ensayos granulométricos en los agregados (arena gruesa y confitillo) para determinar si cumplen con los requisitos estipulados en las normas NTP 400.037 indicados en el índice **2.9**, en la producción de concreto para la fabricación de adoquines industriales.

Equipos y herramientas

- Tamices
- Balanza
- Horno
- Laptop
- Cuchara Metálica
- Recipiente Metálico

La granulometría no solo nos permitirá determinar qué tipo de agregados son los correctos, sino también nos dará otros dos resultados como el **módulo de fineza** y el **TMN** (Tamaño Máximo Nominal) necesarios para el diseño de mezcla que se explicará más adelante.

Módulo de Fineza (NTP 400.037)

A partir de los datos obtenidos en la curva granulométrica podremos determinar el módulo de fineza de los agregados a través de la siguiente ecuación según la norma ASTM-136.

Ecuación 8

Determinación del módulo de fineza

$$M_F = \frac{\sum Ret. Ac. (1\ 1/2" + 3/4" + 3/8" + N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$$

Recordemos que esta ecuación esta normalizada, sin embargo, los datos requeridos dependerán de los requisitos de la norma NTP a la que están establecidos los agregados, en este caso los agregados deberán cumplir con los requisitos NTP 400.037.

Diseño de mezcla ACI 211.1

Una vez confirmamos los agregados adecuados, debemos determinar un diseño de mezcla para la fabricación de concreto, si bien existen diversos tipos de dosificaciones para diversas resistencias de los concretos, en este proyecto se desea un diseño lo más exacto posible, es por ello que se hará uso de la norma ACI-211, esta norma nos pide los siguientes datos en los materiales de la producción de concreto.

- Tamaño Máximo Nominal
- Resistencia del Concreto Requerida
- Peso específico del agua
- Peso específico del cemento
- Peso Unitario Suelto Seco de los agregados
- Peso Unitario Compactado Seco de los agregados
- Porcentaje de Absorción de los agregados
- Contenido de Humedad de los agregados
- Módulo de Fineza de los agregados

Peso Unitario Suelto Seco de los agregados

Se determina el peso y volumen del recipiente (cubo de madera de 16cm de lado).

Se introduce el agregado grueso en el cubo de madera hasta tapar la superficie, posterior a ello se pesa en una balanza, cuyo resultado se restará del peso del cubo, lo que nos dará el peso del agregado.

Finalmente se dividirá el peso del agregado entre el volumen interior del recipiente, mediante la siguiente ecuación.

Ecuación 9

Peso Unitario Suelto

$$P_{ua} = \frac{P_{r+ag} - P_r}{V}$$

P_{ua} = *Peso unitario del agregado*

P_{r+ag} = *Peso del recipiente mas el agregado*

P_r = *Peso del recipiente*

V = *Volumen del recipiente*

Repetimos este procedimiento con dos muestras más y hallamos el promedio de las tres.

Peso Unitario Compactado Seco de los agregados

Se llena el recipiente (cubo de madera de 16cm de lado), hasta una tercera parte, luego se apisonada la capa con 25 golpes usando una varilla metálica de 5/8" de diámetro, sin golpear el fondo del recipiente.

Posterior a ello se procede a llenar hasta completar las 2/3 partes del recipiente y apisonar con la varilla metálica con 25 golpes, sin golpear el fondo del recipiente.

Finalizamos llenando el recipiente hasta el borde, apisonando con la varilla metálica con 25 golpes, para luego repetir el procedimiento del paso anterior, y así determinar el peso unitario compactado de los agregados.

Peso específico y absorción de los agregados.

Agregado Fino (NTP 400.022)

A través del cuarteo, se obtuvo una muestra que pase por la malla N°4 (4.75mm), posterior a ello se coloca la muestra en un recipiente metálico lleno de agua por 24 horas.

Pasado dicho tiempo, se retira el agua cuidadosamente evitando la pérdida de finos.

Se procede a secar la muestra, extendiéndola previamente sobre una bandeja, y haciendo uso de una secadora, removiendo constantemente para que el secado sea uniforme. Para determinar la condición de superficie seca, se realizará el siguiente procedimiento, mediante el uso del cono de abrams.

Se coloca el cono con su diámetro mayor sobre la superficie plana, dentro se coloca la muestra y se apisona ligeramente la superficie con la varilla metálica hasta 25 veces. Se levanta el molde y se determina lo siguiente:

1. Si la superficie conserva exceso de humedad, entonces, el agregado mantendrá su forma cónica, por lo tanto, se continuará agitando y secando la muestra.
2. Si la superficie se desmorona, entonces, el agregado ha alcanzado finalmente la condición de superficie seca.

Una vez concluimos que la muestra alcanzo la condición de superficie seca, procedemos a usar 300 g del material e introducirlo en un frasco con agua hasta alcanzar la marca de 500 cm³. Se agita el frasco hasta eliminar todas las burbujas de aire atrapado.

Finalmente se remueve el agregado fino del frasco, y se coloca en el horno a una temperatura de 110°C por 24 horas, se retira y se pesa la muestra seca, para luego determinar el peso específico de la muestra y además el porcentaje de absorción de la misma.

Equipos y Materiales:

- Balanza
- Horno de 110°C
- Cono de Abrams
- Varilla metálica de 5/8"
- Tamiz normalizado de 4.75mm (N°4)
- Secadora, recipientes y cucharón

Agregado grueso (NTP 400.021)

Se extrajo una muestra de agregado grueso luego de ser debidamente cuarteada, Se paso la muestra por la malla N°4, solo usando el material retenido, luego se lavo para remover el polvo u otras impurezas.

Se coloca la muestra en un recipiente metálico, llenando de agua hasta cubrir el agregado y reposar por 24 horas. Pasado dicho periodo, se seca la muestra rodando las partículas sobre una tela de gran tamaño, hasta eliminar el agua superficial visible.

Se registra el peso de la muestra, y se coloca en el interior de la canastilla metálica, al mismo tiempo se registra su peso sumergido en agua.

Se coloca el agregado en un recipiente, para luego ser ingresado a un horno de temperatura constante de 110°C durante 24 horas, para luego registrar el peso de la muestra seca.

Equipos y Materiales:

- Balanza
- Horno de 110°C
- Cesta con malla metálica cuya abertura será del tamiz N°6

-Varilla metálica de 5/8"

-Tamiz normalizado de 4.75mm (Nº4)

-Cucharón metálico.

Cálculos:

Ecuación 10

Peso específico de la masa

$$P. E. M. = \frac{A}{(B + S - C)} \%$$

Ecuación 11

Peso específico Aparente (Saturado)

$$P. S. S. = \frac{S}{(B + S - C)} \%$$

Ecuación 12

Peso específico Aparente (Seca)

$$P. S. S. = \frac{A}{(B + A - C)} \%$$

Ecuación 13

Porcentaje de absorción

$$\%Abs = \frac{S}{(S - A)} \times 100$$

Donde:

A: Peso del aire de la muestra seca

B: Peso del frasco lleno de agua

C: Peso total del frasco con la muestra saturada

S: Peso de la muestra saturada con superficie seca

Contenido de Humedad de los agregados.

Para el contenido de humedad, se peso y se registraron los recipientes vacíos, y luego con sus respectivos agregados.

Luego se colocan los recipientes en el horno a 110°C por 24 horas.

Pasadas las 24 horas se pesan las muestras en sus recipientes, y en base a dichos datos se determinarán los contenidos de humedad, mediante la siguiente ecuación.

Ecuación 14

Contenido de Humedad

$$W = \frac{(P - D)}{D} \times 100\%$$

Donde:

W = Contenido de humedad

P = Peso de la muestra sin secar

D = Peso de la muestra seca

Figura 5

Muestras al horno



Nota: Fuente propia

3.5.2 Obtención y propiedades del plástico PET reciclado.

El plástico reciclado a usarse será producto de la recolección y triturado de botellas de plástico en la ciudad de Nuevo Chimbote.

Figura 6

Botellas de plástico PET triturado



Nota: Fuente propia

Cuyas propiedades son las siguientes:

Propiedades térmicas:

- Temperatura de transición vítrea = 75°C.
- Punto de fusión = 250-260 °C.
- Coeficiente de expansión térmica y conductividad térmica características de un termoplástico.

Propiedades químicas:

- Químicamente estable; insoluble en agua.
- Resistente a la mayoría de ácidos y álcalis diluidos.
- Soluble en ciertos solventes orgánicos.

Propiedades mecánicas:

- Resistencia a tracción entre 50-100 MPa.
- Alargamiento a la rotura elevado (100-300 %).
- Dureza notable (Rockwell M70-M80).

En otras palabras, el PET se caracteriza por una buena resistencia a la tracción, un módulo de elasticidad medio y alta resistencia al impacto, sin embargo, presenta baja resistencia a esfuerzos de compresión, lo que influye en su comportamiento cuando se le incorpora en matrices cementicias, como material reciclado. (SATHEE, s.f.).

3.6 Técnicas de análisis de resultados.

3.6.1 Diseño de mezcla método ACI-211.1.

El primer objetivo específico es determinar el diseño de mezcla para el concreto, esto lo realizaremos mediante el método ACI-211 el cual estipula los siguientes pasos a seguir:

PASO 1: Determinación de la resistencia promedio

Dependiendo del tipo de resistencia que queremos obtener, se determina la resistencia promedio a través de la tabla 10

Tabla 11

Resistencia a la compresión promedio

F'c	F'cr
<210	F'c + 70
210 a 350	F'c + 84
>350	F'c + 98

Nota: Fuente ACI-211.1

PASO 2: Selección del Tamaño Máximo Nominal (TNM)

Este dato se obtuvo del ensayo granulométrico del agregado grueso.

PASO 3: Selección del Asentamiento

La selección del asentamiento dependerá de cuan trabajable necesitamos que sea la mezcla siguiendo los valores de la tabla 11.

Tabla 12

Slump requerido

Consistencia	Slump	Trabajabilidad
Seca	0" a 2"	Poco Trabajable
Plástica	3" a 4"	Trabajable
Fluida	> 5"	Muy Trabajable

Nota: Fuente propia

PASO 4: Estimación del agua de mezcla y del contenido del aire

Obtener estos datos dependerá del Slump requerido y el tamaño máximo nominal obtenido en el ensayo de granulometría, a través de la tabla 13.

Tabla 13

Estimación de agua de mezcla

Slump (")	Agua en kg/m ³ de concreto para los tamaños máximos nominales				
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"
0" a 2"	205	200	185	180	160
3" a 4"	225	215	200	195	175
> 5"	240	230	210	205	185
Contenido de aire %	3	2.5	2	1.5	1

Nota: Fuente ACI-211.1

PASO 5: Relación agua/cemento

La relación agua cemento dependerá de la resistencia promedio obtenida en el **PASO 1** siguiendo la tabla 12.

Tabla 14

Relación agua/cemento

Resistencia a la Compresión en 28 días	Relación agua/cemento, por peso (w/c)	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
450	0.38	--
400	0.43	--
350	0.48	0.4
300	0.54	0.45
250	0.61	0.52
200	0.7	0.61
150	0.8	0.71

Nota: Fuente ACI-211.1

En caso el resultado de la resistencia promedio obtenida en el **PASO 1** no figure en la tabla, se podrá hallar la relación de agua cemento mediante interpolación.

PASO 6: Determinación del agregado grueso

Para la determinación del agregado grueso debemos hallar un volumen de agregado grueso varillado en seco, a través de la siguiente tabla 14, con ayuda del TMN del agregado grueso y el módulo de fineza del agregado fino, en caso el módulo de fineza no esté en los valores de la tabla, se hallará el volumen a través de interpolación.

Tabla 15

Determinación del agregado grueso

Tamaño Máximo del Agregado Grueso		Volumen de agregado grueso varillado en seco, por volumen unitario de concreto, para diferentes módulos de fineza del agregado fino			
(mm)	(Pulg)	2.4	2.6	2.8	3
10	3/8"	0.5	0.48	0.46	0.44
12.5	1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
20	3/4"	0.66	0.64	0.62	0.6
25	1"	0.71	0.69	0.67	0.65
40	1 1/2"	0.77	0.73	0.71	0.69
50	2"	0.78	0.76	0.74	0.72
75	3"	0.81	0.8	0.78	0.76

Nota: Fuente ACI-211.1

PASO 7: Peso total del agregado grueso

Una vez hallado el *volumen del agregado grueso varillado en seco*, procedemos a calcular su peso total, multiplicando el valor anterior con el valor del peso unitario compactado hallado en Laboratorio.

Ecuación 15

Peso total del agregado grueso

$$P.T. Ag. G = P.U.C.S \times V.V.S$$

P.T. Ag. G = Peso Total del Agregado Grueso

P.U.C.S = Peso Unitario Compactado Suelto

V.V.S = Volumen Varillado en Seco

PASO 8: Volumen Absoluto de los materiales para el concreto

Hallado el peso total del agregado grueso, procedemos a calcular los volúmenes de todos los materiales del concreto en especial del agregado fino teniendo en cuenta que la suma de todos estos volúmenes debe sumar 1m^3 .

- **Volumen Absoluto del Cemento**

Ecuación 16

Volumen absoluto del cemento

$$V.A.C = \frac{P.C}{D.C \times D.A}$$

V.A.C = Volumen Absoluto del Cemento

P.C = Peso del Cemento

D.C = Densidad del Cemento

D.A = Densidad del Agua

- **Volumen Absoluto del Agregado Grueso**

Ecuación 17

Volumen absoluto del agregado grueso

$$V.A.Ag.G = \frac{P.T.Ag.G}{P.E.Ag.G}$$

V.A.Ag.G = Volumen Absoluto del Agr. Grueso

P.T.Ag.G = Peso Total del Agregado Grueso

P.E.Ag.G = Peso Específico del Agregado Grueso

- **Volumen Absoluto del Agua**

Ecuación 18

Volumen absoluto del agua

$$V.A.A = \frac{P.A}{P.E.A}$$

V.A.A = Volumen Absoluto del Agua

P.A = Peso del Agua

P.E.A = Peso Específico del Agua

- **Volumen Absoluto del Aire Atrapado**

Según el valor hallado en la tabla 14 del PASO 4 se divide el número entre 100.

- **Volumen Absoluto del Agregado Fino**

Ecuación 19

Volumen absoluto del agregado fino

$$V. A. Ag. F = 1m^3 - \sum Vol. Abs$$

$$V. A. Ag. F = \text{Volumen Absoluto del Agregado Fino}$$

$$\sum Vol. Abs = \text{Sumatoria de los Vol. Absolutos}$$

$$\text{Peso del Ag. Fino} = V.A.Ag.F \times \text{Peso Específico Ag.Fino}$$

PASO 9: Corrección de los Agregados

Recordemos que, a pesar de hallar los pesos totales de los materiales, los agregados cuentan con dos propiedades que alteran el agua usada en la mezcla, y son el contenido de humedad y el porcentaje de absorción, estos determinan que cantidad exacta de agua se empleara, para ello debemos corregir dichos valores teniendo en cuenta dichas propiedades, de la siguiente forma.

- **Por Humedad**

-Agregado Fino

$$\text{Corrección} = \text{Peso Total} \times (\text{Contenido de Humedad} + 1)$$

-Agregado Grueso

$$\text{Corrección} = \text{Peso Total} \times (\text{Contenido de Humedad} + 1)$$

- **Por Absorción**

-Agregado Fino

$$\text{Corrección1} = \text{Peso Total} \times (\text{C.H} - \text{P. Abs})$$

-Agregado Grueso

$$\text{Corrección2} = \text{Peso Total} \times (\text{C.H} - \text{P. Abs})$$

$$\text{Agua Libre} = \text{Corrección 1} + \text{Corrección 2}$$

PASO 10: Agua Efectiva

Con el dato anterior mencionado podemos calcular el agua efectiva en la mezcla mediante la siguiente ecuación.

Ecuación 20

Agua Efectiva

$$\text{Agua Efectiva} = \text{Peso del agua} - \text{Agua libre}$$

PASO 11: Cemento Efectivo

Ecuación 21

Cemento efectivo

$$\text{Cemento Efectivo} = \frac{\text{Agua efectiva}}{\text{Relacion a/c}}$$

PASO 12: Proporciones

Una vez corregido todos los materiales a emplear podemos determinar las proporciones de estos en peso/m³, bolsas de cemento y por volumen.

- En peso (xm³)

Ecuación 22

Proporciones

$$\text{Cemento} = \frac{\text{Cemento Efectivo}}{\text{Cemento Efectivo}}$$

$$\text{Ag. Fino} = \frac{\text{Ag. Fino Corregido}}{\text{Cemento Efectivo}}$$

$$\text{Ag. Grueso} = \frac{\text{Ag. Grueso Corregido}}{\text{Cemento Efectivo}}$$

$$\text{Agua} = \frac{\text{Agua Efectiva}}{\text{Cemento Efectivo}}$$

- Por Volumen

$$\text{Cemento} = \text{Volumen} \times \text{Cemento Efectivo}$$

$$\text{Ag. Fino} = \text{Volumen} \times \text{Ag. Fino Corregido}$$

$$\text{Ag. Grueso} = \text{Volumen} \times \text{Ag. Grueso Corregido}$$

$$\text{Agua} = \text{Volumen} \times \text{Agua Efectiva}$$

PASO 13: Proporciones con plástico triturado reciclado PET

Una vez determinado nuestro diseño de mezcla, crearemos un nuevo diseño de mezcla con plástico triturado incluido, este último material se añadirá en base al peso del cemento, en porcentajes de 5%, 7.5% y 10%.

- Por volumen

Cemento = Volumen x Cemento Efectivo

Ag. Fino = Volumen x Ag. Fino Corregido

Ag. Grueso = Volumen x Ag. Grueso Corregido

Agua = Volumen x Agua Efectiva

PET = 5% x Cemento

PET = 7.5% x Cemento

PET = 10% x Cemento

3.6.2 Ensayos de laboratorio en los adoquines industriales.

Se realizarán los siguientes ensayos en ambos tipos de adoquines industriales (con plástico y sin plástico) para realizar una comparación en dichos resultados y poder determinar cuál es el efecto del plástico reciclado en las propiedades físico-mecánicas de los adoquines industriales según las normas **NTP 399.611**.

Instrumentos

- Balanza
- Horno Industrial
- Recipiente con agua
- Medidor Vernier
- Maquina Compresora
- Laptop (Excel)
- Cuaderno de apuntes

Una vez fabricado los adoquines, se los colocara dentro de un recipiente lleno de agua y se los dejara reposar por 28 días.

Porcentaje de Absorción

Durante el proceso de curado se realizarán los ensayos de porcentaje de absorción en periodos de 7, 14 y 28 días.

Para determinar el porcentaje de absorción es necesario primero retirar la humedad contenida en los adoquines después de retirarse del recipiente con agua, para ello se hará uso de un horno industrial a 110°C donde reposarán por 24 horas

Figura 7

Adoquines en horno



Nota: Fuente propia

Una vez retirados, se medirá su peso en gramos en una balanza, de esta forma calcularemos el peso en seco.

Figura 8

Peso de muestra en seco



Nota: Fuente propia

Posterior a ello, se volverán a colocar en un nuevo recipiente con agua, para saturarlos por 24 horas.

Figura 9

Muestras en proceso de saturación



Nota: Fuente propia

Pasadas las 24 horas se retirarán del recipiente y se procederá a calcular su nuevo peso saturado.

Figura 10

Peso de muestra saturada



Nota: Fuente Propia

Una vez obtenidos los valores necesarios, procedemos a calcular el porcentaje de absorción de los adoquines según la ecuación explicada en el Índice 2.3 Propiedades físicas, el cual es

Ecuación 23

Porcentaje de absorción

$$A\% = \frac{\text{Peso saturado} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \times 100\%$$

Variación Dimensional

Para determinar la tolerancia dimensional de los adoquines, usaremos el medidor vernier, donde sacaremos una única medición en la posición central de cada dimensión (largo, ancho, espesor).

Posterior a ello cada medida se restará con las dimensiones reales de un adoquín convencional tipo I y el resultado deberá estar en el intervalo de la tabla 3 del índice 2.6.2

Resistencia a la Compresión

Por último, como dato importante necesitamos determinar la resistencia a la compresión de los adoquines (con plástico y sin plástico) guiándonos de la tabla 2 del índice 2.6.2, la comparación de estos resultados nos permitirá determinar cómo influye el plástico reciclado en las propiedades de los adoquines industriales.

Para determinar la resistencia a la compresión se hará uso de una maquina compresora, cuyo lector digital solo nos indicará la fuerza en kg que soporta el adoquín hasta su primera ruptura en el laboratorio GEOLAB Ingenieros Consultores EIRL, cuyos resultados están indicados en el **anexo 7.9**.

Norma ACI 318

Para determinar si la resistencia a la compresión es adecuada, debemos seguir los requisitos fundamentados en la norma ACI 318 que indica lo siguiente:

- A los 7 días de curado, la resistencia debe alcanzar un 70% del valor estimado.
- A los 14 días de curado, la resistencia debe alcanzar un 85% del valor estimado.
- A los 28 días de curado, la resistencia debe alcanzar un 100% del valor estimado.

Figura 11

Ensayo de resistencia a la compresión



Nota: Fuente propia

El valor indicado en el lector digital no es la resistencia a la compresión, para hallar la resistencia a la compresión haremos uso de la ecuación indicado en el índice 2.4.

Ecuación 24

Resistencia a la compresión

$$\sigma = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Area de seccion transversal}}$$

CAPITULO IV
RESULTADOS Y
DISCUSIONES

IV RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Resultados

4.1.1 Resultados del Objetivo Específico Nro. 1.

- ✓ Datos Generales
 - Tipo de construcción: Adoquines
 - Resistencia del concreto: 320 kg/cm²
 - Peso específico del agua: 1000 kg/m³
- ✓ Datos del Cemento
 - Tipo: Inka Ico
 - Peso por bolsas: 42.50 kg
 - Peso específico: 3.10 g/cm³
- ✓ Datos del Agregado Fino (**Ver anexo 7.1, 7.2, 7.3, 7.4 y 7.5**)
 - Peso unitario suelto seco: 1590 kg/m³
 - Peso unitario compactado: 1762 kg/m³
 - Peso específico del agregado: 2679 kg/m³
 - Porcentaje de Absorción: 0.87%
 - Contenido de Humedad: 0.41%
 - Módulo de Fineza (Calculado en el **índice 4.1.2.1, ENSAYO 2**): 2.89
- ✓ Datos del Agregado Grueso (**Ver anexo 7.1, 7.2, 7.3, 7.4 y 7.5**)
 - Peso unitario suelto seco: 1269 kg/m³
 - Peso unitario compactado: 1471 kg/m³
 - Peso específico del agregado: 2796 kg/m³
 - Porcentaje de Absorción: 0.93%
 - Contenido de Humedad: 0.34%
 - Tamaño Máximo Nominal (TMN) (Calculado en el **índice 4.1.2.2**): 3/8"

PASO 1: Determinación de la resistencia promedio

La resistencia que deseamos obtener es de 320, por lo tanto, según la tabla 10 nuestra resistencia promedio será 404 kg/cm².

Tabla 16

Resistencia promedio

F'c	F'cr
<210	F'c + 70
210 a 350	F'c + 84
>350	F'c + 98

PASO 2: Selección del Tamaño Máximo Nominal (TNM)

El tamaño máximo nominal del agregado grueso según el ensayo granulométrico es de 3/8".

PASO 3: Selección del Asentamiento

La selección del asentamiento dependerá de cuan trabajable necesitamos que sea la mezcla siguiendo los valores de la tabla 11.

Tabla 17

Slump requerido

Consistencia	Slump	Trabajabilidad
Seca	0" a 2"	Poco Trabajable
Plástica	3" a 4"	Trabajable
Fluida	> 5"	Muy Trabajable

PASO 4: Estimación del agua de mezcla y del contenido del aire

Según el Slump y el TMN del agregado grueso, el agua en kg/m^3 será de **205lt.**

Tabla 18

Estimación de agua de mezcla

Slump (")	Agua en kg/m^3 de concreto para los tamaños máximos nominales				
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"
0" a 2"	205	200	185	180	160
3" a 4"	225	215	200	195	175
> 5"	240	230	210	205	185
Contenido de aire %	3	2.5	2	1.5	1

Además, según la tabla 22 el contenido de aire es de un **3%**.

PASO 5: Relación agua/cemento

Sabiendo que, la resistencia promedio es de 404 kg/cm^2 , podremos hallar la relación agua/cemento, sin embargo, este valor no se encuentra en la tabla 13, por lo tanto, se hará uso de un método de interpolación.

Tabla 19

Relación agua/cemento

Resistencia a la Compresión en 28 días	Relación agua/cemento, por peso (w/c)	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
450	0.38	--
400	0.43	--
350	0.48	0.40
300	0.54	0.45
250	0.61	0.52
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

Interpolación

$$450 \rightarrow 0.38$$

$$404 \rightarrow x$$

$$400 \rightarrow 0.43$$

$$\frac{450 - 400}{404 - 400} = \frac{0.38 - 0.43}{x - 0.43}$$

$$\frac{50}{4} = \frac{-0.05}{x - 0.43}$$

$$x - 0.43 = \frac{4 * (-0.05)}{50}$$

$$x = 0.43 - 0.004$$

$$x = 0.426$$

Por lo tanto, el peso del cemento será:

$$C = \frac{205}{0.426} = 481.22 \text{ Kg}$$

PASO 6: Determinación del agregado grueso

Sabiendo que el TMN es de 3/8" y el módulo de fineza del agregado fino es de 2.89 por ensayos de laboratorio, hallaremos el volumen del agregado grueso varillado en seco a través de la tabla 14 por el método de interpolación.

Tabla 20*Determinación del agregado grueso*

Tamaño Máximo del Agregado Grueso		Volumen de agregado grueso varillado en seco, por volumen unitario de concreto, para diferentes módulos de fineza del agregado fino			
(mm)	(Pulg)	2.40	2.60	2.80	3.00
10	3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
20	3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
25	1"	0.71	0.69	0.67	0.65
40	1 1/2"	0.77	0.73	0.71	0.69
50	2"	0.78	0.76	0.74	0.72
75	3"	0.81	0.80	0.78	0.76

Interpolación

$$2.80 \rightarrow 0.46$$

$$2.89 \rightarrow x$$

$$3.00 \rightarrow 0.44$$

$$\frac{2.80 - 3.00}{2.89 - 3.00} = \frac{0.46 - 0.44}{x - 0.44}$$

$$\frac{-0.20}{-0.11} = \frac{0.02}{x - 0.44}$$

$$x - 0.44 = \frac{0.11 * 0.02}{0.20}$$

$$x = 0.451 \text{ m}^3$$

PASO 7: Peso total del agregado grueso

Una vez hallado el *volumen del agregado grueso varillado en seco*, procedemos a calcular su peso total, multiplicando el valor anterior con el valor del peso unitario compactado hallado en Laboratorio.

$$P.T. Ag. G = 1471 \text{ kg/m}^3 \times 0.451 \text{ m}^3$$

$$P.T. Ag. G = 663.421 \text{ kg}$$

PASO 8: Volumen Absoluto de los materiales para el concreto

Hallado el peso total del agregado grueso, procedemos a calcular los volúmenes de todos los materiales del concreto en especial del agregado fino teniendo en cuenta que la suma de todos estos volúmenes debe sumar 1 m^3 .

- **Volumen Absoluto del Cemento**

$$\text{Volumen Absoluto del Cemento} = \frac{481.22 \text{ Kg}}{3100 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Volumen Absoluto del Cemento} = 0.155\text{m}^3$$

- **Volumen Absoluto del Agregado Grueso**

$$\text{Volumen Absoluto del Ag. Grueso} = \frac{663.421\text{kg}}{2796 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Volumen Absoluto del Ag. Grueso} = 0.237\text{m}^3$$

- **Volumen Absoluto del Agua**

$$\text{Volumen Absoluto del Agua} = \frac{205 \text{ kg}}{1000 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Volumen Absoluto del Agua} = 0.205\text{m}^3$$

- **Volumen Absoluto del Aire Atrapado**

$$\text{Volumen Absoluto del Aire} = \frac{3}{100}$$

$$\text{Volumen Absoluto del Aire} = 0.03\text{m}^3$$

- **Volumen Absoluto del Agregado Fino**

$$V. A. Ag. F = 1\text{m}^3 - \sum Vol. Abs$$

$$V. A. Ag. F = 1\text{m}^3 - (0.155\text{m}^3 + 0.237\text{m}^3 + 0.205\text{m}^3 + 0.03\text{m}^3)$$

$$V. A. Ag. F = 1\text{m}^3 - 0.627\text{m}^3$$

$$V. A. Ag. F = 0.373\text{m}^3$$

$$\text{Peso específico del Agregado Fino} = 2679\text{kg/m}^3$$

$$\text{Peso del Ag. Fino} = V.A.Ag.F \times \text{Peso Específico Ag.Fino}$$

$$\text{Peso del Ag. Fino} = 0.373\text{m}^3 * 2679\text{kg/m}^3$$

$$\text{Peso del Ag. Fino} = 999.267\text{kg}$$

PASO 9: Corrección de los Agregados

- **Por Humedad**

-Agregado Fino

$$\text{Corrección} = 999.267 \times (0.41/100 + 1)$$

$$\text{Corrección} = 1,003.364 \text{ kg}$$

-Agregado Grueso

$$\text{Corrección} = 663.421 \times (0.34/100 + 1)$$

$$\text{Corrección} = 665.677 \text{ kg}$$

- **Por Absorción**

-Agregado Fino

C.H. Ag. F = 0.41%

Abs. Ag. F = 0.87%

Corrección1 = $999.267 \times (0.41 - 0.87) / 100$

Corrección1 = -4.59 kg

-Agregado Grueso

C.H. Ag. F = 0.34%

Abs. Ag. F = 0.93%

Corrección1 = $663.421 \times (0.34 - 0.93) / 100$

Corrección1 = -3.91 kg

Agua Libre = Corrección 1 + Corrección 2 = -8.50 lt

PASO 10: Agua Efectiva

Agua Efectiva = 205 lt + 8.50lt

Agua Efectiva = 213.50 lt

PASO 11: Cemento Efectivo

Cemento Efectivo = $\frac{213.50}{0.426}$

Cemento Efectivo = 501.174kg

PASO 12: Proporciones

Una vez corregido todos los materiales a emplear podemos determinar las proporciones de estos en peso/m³, bolsas de cemento y por volumen.

- En peso (xm³)

$$Cemento = \frac{501.174 \text{ kg}}{501.174 \text{ kg}} = 1$$

$$Ag. Fino = \frac{1003.364 \text{ kg}}{501.174 \text{ kg}} = 2.002$$

665.677 kg

$$Ag. Grueso = \frac{213.50}{501.174 kg} = 1.33$$

$$Agua = \frac{213.50}{501.174} = 0.426$$

- Por Volumen

El volumen dependerá de la capacidad de la maquina Adoquinera. Esta tiene la capacidad de fabricar 27 unidades con dimensiones de (0.10 x 0.20 x 0.06).

Por lo tanto, el volumen total será.

$$V = 0.10 \times 0.20 \times 0.06 \times 27 = 0.0324 m^3$$

$$Cemento = 0.0324 \times 501.174 = 16.24kg$$

$$Ag. Fino = 0.0324 \times 1003.364 = 32.50kg$$

$$Ag. Grueso = 0.0324 \times 665.677 = 21.60kg$$

$$Agua = 0.0324 \times 213.50 = 6.92kg$$

Considerando un 15% de desperdicio tenemos

$$Cemento = 16.24 \times 1.15 = 18.68kg \approx 20kg$$

$$Ag. Fino = 32.50 \times 1.15 = 37.38 \approx 40kg$$

$$Ag. Grueso = 21.60 \times 1.15 = 24.84 \approx 26.6kg$$

$$Agua = 6.92 \times 1.15 = 7.96 \approx 8.50kg$$

Por lo tanto, la dosificación para la fabricación de 27 adoquines industriales convencionales sin plástico reciclado de 0.10 x 0.20 x 0.06 para una resistencia requerida de 320 kg/cm² según el método ACI 211.1 es:

- Diseño de mezcla en proporción xm³

- Cemento : 1

- Ag. Fino : 2

- Ag. Grueso : 1.33

- Agua : 0.426

- Diseño de mezcla en peso

- Cemento : 20kg

- Ag. Fino : 40kg

- Ag. Grueso : 26.6kg

- Agua : 8.5kg

4.1.2 Resultados del Objetivo Específico Nro. 2.

Luego de determinar el diseño de mezcla, se elaboraron muestras de adoquines de concreto Tipo I convencionales que cumplan con las NTP 399.611. Siguiendo dichos requisitos, nos indican que los materiales empleados en la fabricación de concreto (agregados, cemento y agua) deben cumplir cada uno con los siguientes requisitos según lo indicado en el **índice 2.6.1**:

Agregados → NTP 400.037

Cemento → NTP 334.009

Agua → NTP 339.088

Según la norma NTP 334.009 no fue necesario el ensayo de laboratorio para cemento siempre y cuando el cemento a usar tenga un certificado de calidad entregado al comprador, estipulado en el **índice 2.7.4**. Este certificado puede visualizarse en el Anexo **7.8 Certificado de Calidad Cemento Inka Ico**.

Misma situación será para el agua, que según la norma NTP 339.088 estipulado en el **índice 2.8.3**, se usó agua potable cuyos ensayos de laboratorio no fueron necesarios.

Sin embargo, a diferencia del cemento y el agua, los agregados son extraídos de canteras donde no se realizan ensayos de laboratorio para un certificado de calidad, por lo tanto, se realizaron los ensayos de los agregados en el laboratorio de Mecánica de Suelos, de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Santa.

4.1.2.1 Granulometría: agregado fino (NTP 400.037).

ENSAYO 1:

Resultados del primer ensayo de agregados finos (arena gruesa zarandeada) siguiendo lo estipulado en el índice 2.8.1.

Tabla 21

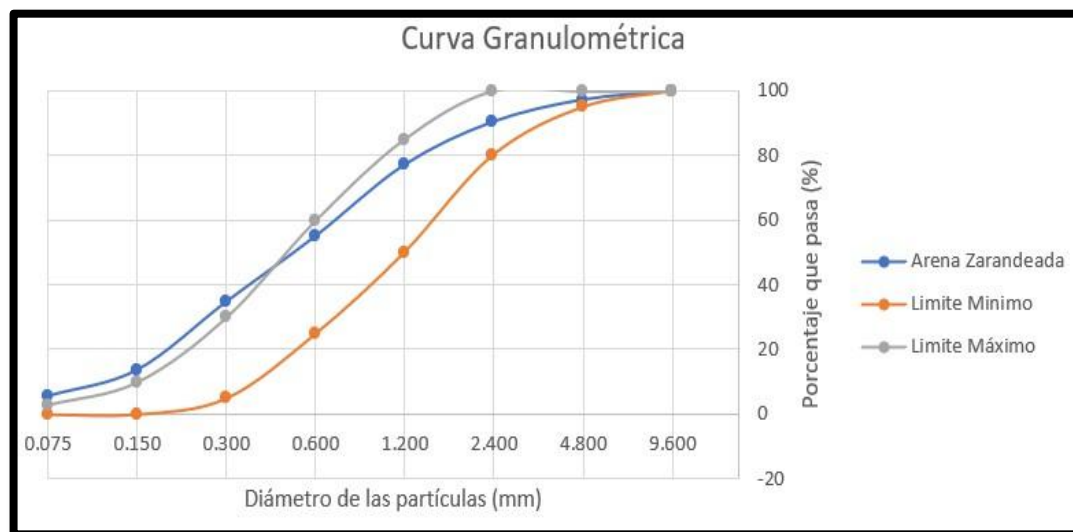
Primer ensayo granulométrico

Tamiz	(mm)	PESO RETENIDO	Porcentaje Retenido	Retenido Acumulado	Porcentaje Que pasa	Módulo de Fineza
3/8"	9.500	--	--	--	100.0	
N°4	4.750	21.8	2.7	2.7	97.3	
N°8	2.360	56.1	6.9	9.6	90.4	
N°16	1.190	108.2	13.3	22.9	77.1	
N°30	0.600	177.8	21.9	44.8	55.2	2.3
N°50	0.300	164.7	20.3	65.1	34.9	
N°100	0.150	171.0	21.1	86.2	13.8	
N°200	0.075	65.4	8.1	94.3	5.7	
<N°200	FONDO	46.6	5.7	100.0	--	

Nota: Fuente propia

Figura 12

Curva granulométrica ensayo 1



Nota: Fuente propia

Interpretación

En este primer ensayo, los resultados de la curva granulométrica están fuera de los límites mínimo y máximos, según lo indicado en el **índice 2.8.1**, más precisamente, la curva está por encima del límite superior, que significa que hay un exceso de finos, además el módulo de fineza es de 2.3, valor que está en el límite inferior [2.3-3.1]. Para ello se procederá a ventear la muestra.

ENSAYO 2:

Resultados del segundo ensayo de agregados finos (arena gruesa zarandeada con 2 venteadas) siguiendo lo estipulado en el *índice 2.8.1*

Tabla 22

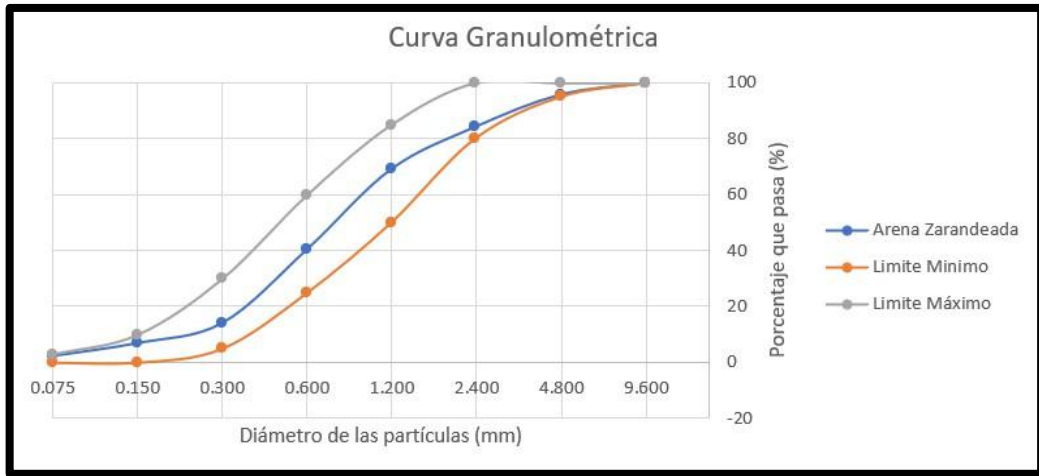
Segundo ensayo granulométrico

Tamiz	(mm)	PESO RETENIDO	Porcentaje Retenido	Retenido Acumulado	Porcentaje Que pasa	Módulo de Fineza
3/8"	9.500	--	--	--	100.0	
N°4	4.750	27.6	4.2	4.2	95.8	
N°8	2.360	76.8	11.6	15.8	84.2	
N°16	1.190	100.0	15.1	30.9	69.1	
N°30	0.600	189.5	28.6	59.5	40.5	2.89
N°50	0.300	175.2	26.5	85.9	14.1	
N°100	0.150	47.5	7.2	93.1	6.9	
N°200	0.075	30.2	4.6	97.7	2.3	
<N°200	FONDO	15.5	2.3	100.0	--	

Nota: Fuente propia

Figura 13

Curva granulométrica ensayo 2



Nota: Fuente propia

Interpretación:

Luego de realizar dos venteadas a la arena zarandeada, la curva granulométrica está dentro de los límites establecidos en el **índice 2.8.1**, además el módulo de fineza es de 2.89, que está dentro del rango [2.3-3.1]. por lo tanto, la arena gruesa puede ser usada en la fabricación de concreto para adoquines industriales según las normas NTP 399.611.

4.1.2.2 Granulometría: agregado grueso (NTP 400.037)

Tabla 23

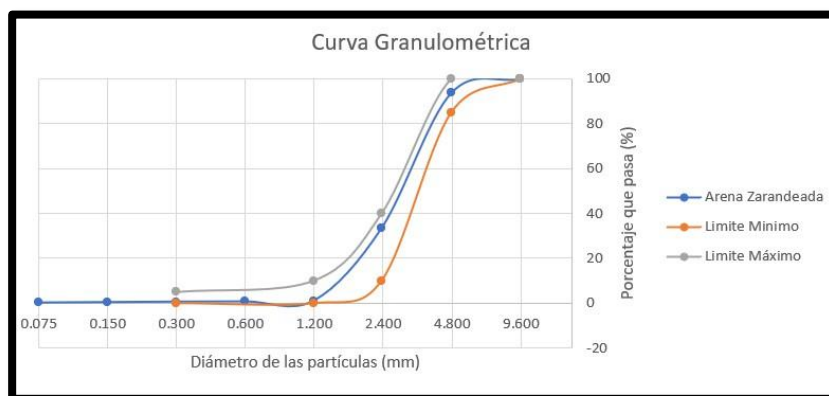
Ensayo granulométrico del agregado grueso

Tamiz	(mm)	PESO RETENIDO	Porcentaje Retenido	Retenido Acumulado	Porcentaje Que pasa	Módulo de Fineza
3/8"	9.500	--	--	--	100.0	
N°4	4.750	72.3	6.3	6.3	93.7	
N°8	2.360	689.2	60.2	66.5	33.5	
N°16	1.190	372.2	32.5	99.0	1.0	
N°30	0.600	3.7	0.3	99.3	0.7	4.7
N°50	0.300	1.2	0.1	99.4	0.6	
N°100	0.150	1.3	0.1	99.6	0.4	
N°200	0.075	2.5	0.2	99.8	0.2	
<N°200	FONDO	2.6	0.2	100.0	0.0	

Nota: Fuente propia

Figura 14

Curva granulométrica ensayo 3



Nota: Fuente propia

Interpretación

El agregado grueso utilizado es de clasificación AG-9 según la Tabla 9 y según la curva granulométrica cumple, con los requisitos estipulados en el índice 2.8.2. Por lo tanto, este material puede ser usado en la fabricación del concreto para adoquines industriales según la norma NTP 399.611.

4.1.2.3 Cemento NTP 334.009.

Respecto al cemento, se requiere que cumpla con requisitos físicos y químicos, sin embargo, tal y como estipula la norma 334.009 según el índice 2.6.4. el cemento no necesitara necesariamente algún ensayo para comprobar su uso en la fabricación de concreto, siempre y cuando se tenga comprobante de la ficha técnica según el ANEXO 7.9.

Figura 15

Cemento Inka ICO



Nota: Fuente INKA Ico

4.1.2.4 Agua NTP 339.088

Según lo estipulado en el índice 2.8.3, si el agua a usar en la mezcla es agua potable entonces no será necesario realizar ensayos en la misma.

Se comprobó que los materiales (Cemento, Agua, Agregados), cumplen con sus respectivas NTP, posterior a ello se procedió a la fabricación de los adoquines convencionales Tipo I que cumplan con los requisitos de las NTP 399.611, sin embargo, según la tabla 2 del índice 2.6.2 este tipo de adoquín debe tener como resistencia mínima 320 kg/cm^2 que es mayor a 210 kg/cm^2 , comúnmente usado como concreto estructural en columnas, vigas, losas estructurales y zapatas. Según la norma ACI 211.1, este tipo de concreto debe seguir ciertos procedimientos para un correcto diseño de mezcla.

4.1.2.5 Fabricación de los adoquines.

Una vez definido el diseño de mezcla mediante el metodo ACI 211.1, se procedió a la elaboración de los adoquines convencionales de concreto que cumplan con los requisitos de las NTP 399.611 en la maquina adoquinera suministrada por la empresa EPPCON.

- 1.- Se pesaron los materiales, cemento, arena gruesa, confitillo y agua debidamente proporcionados según el diseño de mezcla.

Figura 16

Materiales debidamente proporcionados



- 2.- Primera tanda sin plástico reciclado en la mezcladora hasta ver una mezcla poco trabajable.

Figura 17

Materiales en mezcladora



3.- Según el PASO 2 del diseño de mezcla por el método ACI.211.1 se comprobó que la mezcla es de consistencia seca.

Figura 18

Mezcla en consistencia seca



4.- Se limpiaron los moldes de la maquina Adoquinera con petróleo para que los adoquines puedan ser liberados con facilidad.

Figura 19

Limpieza de los moldes



Figura 20

Mezcla vibrada en la Adoquinera



5.- Se observó, en la primera tanda que los adoquines sin plástico reciclado tienen una forma aceptable a simple vista.

Figura 21

Primer ensayo con 0% PET



6.- Una vez fabricados los adoquines, esperamos un día para su secado y elegimos las mejores muestras visibles para colocarlas en un recipiente con agua por 28 días.

Figura 22

Muestras siendo curadas por 28 días



Tal y como se indicó en el **índice 3.3.2**, las muestras para adoquines convencionales sin plástico reciclado son 3 muestras cada 7, 14 y 28 días, dándonos un total de 9 adoquines a ensayar.

4.1.2.6 Ensayos en los adoquines de concreto Tipo I según NTP 399.611.

Porcentaje de absorción.

7 DIAS

Tabla 24

Absorción 0% PET 7 días

Muestra	% Absorción		
	Peso Seco (g)	Peso Saturado (g)	Absorción
M1	2177.1	2363.0	8.54
M2	2453.2	2587.2	5.46
M3	2386.3	2520.8	5.64
	Promedio 3 unidades		6.55

Nota: Fuente propia

Interpretación 1

De este primer ensayo la muestra 2 y 3 cumplieron los requisitos de manera individual, siendo su porcentaje de absorción menor a 7.5%, mientras que la muestra 1 supera dicho requisito, sin embargo, el promedio de los 3 es de 6.55, siendo superior a 6%, por lo tanto, la muestra 1 puede ser descartada.

Ahora bien, la absorción de agua en materiales cementicias esta relacionada con la porosidad del concreto. Según Neville, la absorción constituye un indicador del volumen de poros capilares presentes en la estructura interna del material. Asimismo, Mehta y Monteiro señalan que la porosidad del concreto controla su permeabilidad y capacidad de absorción, afectando directamente sus propiedades mecánicas y su durabilidad. En este sentido, un menor porcentaje de absorción indica una estructura más densa y compacta del concreto, lo cual favorece el desarrollo de mayores resistencias mecánicas.

Por lo tanto, la muestra 2 será elegida para el ensayo a la compresión.

14 DIAS

Tabla 25

Absorción 0% PET 14 días

Muestra	% Absorción		
	Peso Seco (g)	Peso Saturado (g)	Absorción
M1	2380.7	2512.2	5.52
M2	2411.9	2541.3	5.37
M3	2321.0	2459.2	5.95
Promedio 3 unidades			5.61

Nota: Fuente propia

Interpretación 2

En este caso las 3 muestras cumplen con los requisitos de la NTP tanto en lo individual como en promedio, siendo la muestra 2 la elegida para el ensayo a la compresión.

28 DIAS

Tabla 26

Absorción 0% PET 28 días

Muestra	% Absorción		
	Peso Seco (g)	Peso Saturado (g)	Absorción
M1	2184.7	2383.1	9.08
M2	2213.5	2396.4	8.26
M3	2403.8	2533.1	5.38
Promedio 3 unidades			7.57

Nota: Fuente propia

Interpretación 3

Por último, solo consideraremos la muestra 3 como apta en absorción y la elegida para el ensayo a la compresión.

Interpretación Final

En este primer ensayo los adoquines diseñados por el método ACI.211 sin plástico reciclado presentan resultados aceptables en cuanto al porcentaje de absorción.

4.1.2.7 Tolerancia Dimensional según NTP 399.611.

- 7 días - Muestra 2
 - Largo = $19.84 - 20.00 = -0.16$ cm Si
 - Ancho = $9.85 - 10.00 = -0.15$ cm Si
 - Espesor = $6.30 - 6.00 = 0.30$ cm Si
- 14 días - Muestra 2
 - Largo = $19.87 - 20.00 = -0.13$ cm Si
 - Ancho = $9.88 - 10.00 = -0.12$ cm Si
 - Espesor = $5.95 - 6.00 = -0.05$ cm Si
- 28 días - Muestra 3
 - Largo = $19.89 - 20.00 = -0.11$ cm Si
 - Ancho = $9.88 - 10.00 = -0.12$ cm Si
 - Espesor = $6.01 - 6.00 = 0.01$ cm Si

Interpretación:

Las 3 muestras elegidas para el ensayo a la compresión cumplieron con la tolerancia dimensional según las NTP 399.611, garantizando un correcto encaje entre piezas, distribución uniforme de cargas y pavimentación.

Las unidades de adoquín que no cumplen con las tolerancias dimensionales establecidas en las NTP 399.611 no garantizan uniformidad del pavimento. Sin embargo, pueden ser comercializados en mercados sin control técnico (ejemplo: Ferreterías), mas no en obras que exijan cumplimiento normativo (ejemplo: Pavimentación de un parque municipal).

4.1.2.8 Resistencia a la Compresión según NTP 399.611.

Resultados obtenidos del laboratorio GEOLAB (ver Anexo 7.8)

Tabla 27

Ensayo a la compresión de adoquines convencionales

DET	Días	Absorción (%)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Fuerza (kg)	Resistencia (kg/cm ²)
0%	7	5.46	19.84	9.85	6.3	39361	201.4
	14	5.37	19.87	9.88	5.95	53400	272.0
	28	5.38	19.89	9.88	6.01	67809	345.0

Nota: Fuente propia

Tabla 28

Resistencia en porcentajes según ACI 318

% PET	Muestra	Días	Resistencia (kg/cm ²)	Porcentaje (%)
0%	M1	7	201.4	62.94
	M2	14	272.0	85.00
	M3	28	345.0	107.81

Nota: Fuente propia

Interpretación:

Se observó que la muestra elegida por el ensayo de porcentaje de absorción, que fue curada a los 28 días cumple con lo estipulado en la tabla 2 del **índice 2.6.2**, además las muestras curadas a los 7 y 14 días junto con la muestra de 28 días cumplen de forma creciente la resistencia a la compresión en porcentajes de 67%, 87% y 100% indicados en el índice 3.6.2.

Interpretación final:

Por lo tanto, se logro analizar, calcular y determinar un diseño de mezcla para la elaboración de adoquines de concreto convencionales que cumplan con las NTP 399.611.

4.1.3 Resultados del Objetivo Específico Nro. 3.

4.1.3.1 Diseño de mezcla experimental:

- Adoquines con un 5% de plástico reciclado
 - Cemento : 20kg
 - Ag. Fino : 40kg
 - Ag. Grueso : 26.6kg
 - Agua : 8.5kg
 - Plástico PET : 1kg
- Adoquines con un 7.5% de plástico reciclado
 - Cemento : 20kg
 - Ag. Fino : 40kg
 - Ag. Grueso : 26.6kg
 - Agua : 8.5kg
 - Plástico PET : 1.5kg
- Adoquines con un 10% de plástico reciclado
 - Cemento : 20kg
 - Ag. Fino : 40kg
 - Ag. Grueso : 26.6kg
 - Agua : 8.5kg
 - Plástico PET : 2kg

4.1.3.2 Porcentaje de absorción:

-MUESTRA 5 % PET

7 DIAS

Tabla 29

Absorción 5% PET 7 días

Muestra	% Absorción		
	Peso Seco (g)	Peso Saturado (g)	Absorción
M1	2484.9	2641.4	6.29
M2	2229.2	2390.3	7.23
M3	2382.3	2544.4	6.80
Promedio 3 unidades			6.77

Nota: Fuente propia

Interpretación 1

En este primer ensayo, todas las muestras cumplen con los requisitos de forma individual, mas no en promedio, pero a diferencia de los adoquines sin plástico podemos ver que el porcentaje de absorción ha aumentado en 1% más aproximadamente. En este caso la muestra 1 será la elegida para el ensayo a la compresión.

14 DIAS

Tabla 30

Absorción 5% PET 14 días

Muestra	% Absorción		
	Peso Seco (g)	Peso Saturado (g)	Absorción
M1	2676.2	2821.5	5.43
M2	2607.1	2759.6	5.85
M3	2353.6	2525.1	7.28
	Promedio 3 unidades		6.18

Nota: Fuente propia

Interpretación 2

Las dos primeras muestras son aceptables, menos la tercera muestra, de manera individual, incluso en promedio cumplen los requisitos, sin embargo, estos resultados carecen de sentido, debido al ensayo de los 7 días, esto puede deberse a lo anteriormente mencionado respecto a la maquinaria y la no tan perfecta distribución de la mezcla en los moldes. Muestra 1 será la elegida.

28 DIAS

Tabla 31

Absorción 5% PET 28 días

Muestra	% Absorción		
	Peso Seco (g)	Peso Saturado (g)	Absorción
M1	2602.1	2759.0	6.03
M2	2288.9	2434.2	6.34
M3	2401.5	2558.4	6.53
Promedio 3 unidades			6.3

Nota: Fuente propia

Interpretación 3

Aunque todas las muestras cumplan los requisitos de absorción tanto en forma individual así en promedio, se sigue apreciando un ligero aumento de absorción respecto a los adoquines sin plástico reciclado, en este caso la muestra 1 será elegida para el ensayo de compresión.

Interpretación final

Como pudimos apreciar solo dos muestras tienen un porcentaje de absorción menor a 6%, estas únicas dos muestras no son suficientes para confirmar que un 5% de plástico incluido pueda mejorar el porcentaje de absorción, los resultados de estas dos muestras pueden deberse a la distribución no uniforme de la mezcla en los moldes.

-MUESTRA 7.5 % PET

7 DIAS

Tabla 32

Absorción 7.5% PET 7 días

Muestra	% Absorción		
	Peso Seco (g)	Peso Saturado (g)	Absorción
M1	2356.6	2498.9	6.04
M2	2332.0	2487.1	6.65
M3	2652.0	2790.8	5.23
Promedio 3 unidades			5.97

Nota: Fuente propia

Interpretación 1

Según los resultados, todas las muestras cumplen los requisitos tanto individual como en promedio. La muestra 3 será la elegida para el ensayo de compresión.

14 DIAS

Tabla 33

Absorción 7.5% PET 14 días

Muestra	% Absorción		
	Peso Seco (g)	Peso Saturado (g)	Absorción
M1	2619.9	2770.2	5.74
M2	2600.6	2755.0	5.94
M3	2382.8	2518.3	5.68
Promedio 3 unidades			5.78

Nota: Fuente propia

Interpretación 2

Según los resultados, todas las muestras cumplen los requisitos de forma individual y en promedio. La muestra 3 será elegida para el ensayo a la compresión.

28 DIAS

Tabla 34

Absorción 7.5% PET 28 días

Muestra	% Absorción		
	Peso Seco (g)	Peso Saturado (g)	Absorción
M1	2427.4	2595.6	6.93
M2	2395.2	2571.3	7.35
M3	2208.9	2405.1	8.88
Promedio 3 unidades			7.72

Nota: Fuente propia

Interpretación 3

Sin embargo, al cabo de 28 días las muestras no cumplen los requisitos ni en lo individual ni en promedio, siendo la muestra 1 la más apta para el ensayo a la compresión.

Interpretación final

Como hemos podido apreciar, las muestras que fueron sumergidas en agua por 7 y 14 días muestran resultados favorables, no obstante, esto cambia con las muestras que fueron sumergidas por 28 días, podemos interpretar esto como una mejora solo en muestras sumergidas durante 7 y 14 días, sin embargo, los adoquines deben cumplir con los requisitos NTP establecidos en los ensayos a la compresión después de 28 días.

-MUESTRA 10 % PET

7 DIAS

Tabla 35

Absorción 10% PET 7 días

Muestra	% Absorción		Absorción
	Peso Seco (g)	Peso Saturado (g)	
M1	2166.6	2328.7	7.48
M2	2263.1	2414.5	6.69
M3	2257.2	2434.5	7.85
Promedio 3 unidades			7.34

Nota: Fuente propia

Interpretación 1

Como podemos apreciar, solo la muestra 2 cumple con los requisitos de manera individual, siendo esta la que será usada en el ensayo a la compresión, mientras que, las demás muestras tienen un considerable aumento en el porcentaje de absorción, incluso en su promedio.

14 DIAS

Tabla 36

Absorción 10% PET 14 días

Muestra	% Absorción		Absorción
	Peso Seco (g)	Peso Saturado (g)	
M1	2253.4	2425.3	7.63
M2	2247.4	2402.3	6.89
M3	2067.6	2259.3	9.27
Promedio 3 unidades			7.93

Nota: Fuente propia

Interpretación 2

Nuevamente al cabo de 14 días vemos como el porcentaje de absorción aumenta de manera desproporcionada en la muestra 3, siendo la muestra 2 la más apta para el ensayo a la compresión.

28 DIAS

Tabla 37

Absorción 10% PET 28 días

Muestra	% Absorción		
	Peso Seco (g)	Peso Saturado (g)	Absorción
M1	2030.0	2214.5	9.09
M2	2171.7	2359.7	8.66
M3	2186.3	2357.4	7.83
Promedio 3 unidades			8.53

Nota: Fuente propia

Interpretación 3

Al cabo de 28 días ninguna de las muestras cumple los requisitos ni en promedio ni de forma individual. Siendo la muestra 3 la más apta para el ensayo a la compresión.

Interpretación final

Como se pudo apreciar en los resultados, la inclusión de un 10% de plástico reciclado influye de forma negativa el porcentaje de absorción aceptable en los adoquines, esto puede deberse a que el plástico siendo un material aislante, provoca porosidad interna en las muestras aumentando así su porcentaje de absorción

4.1.3.3 Tolerancia Dimensional

5% PET

- 7 días
 - Largo = $19.66 - 20.00 = -0.34$ cm No
 - Ancho = $9.78 - 10.00 = -0.22$ cm No
 - Espesor = $6.39 - 6.00 = 0.39$ cm No
- 14 días
 - Largo = $19.80 - 20.00 = -0.20$ cm No
 - Ancho = $9.81 - 10.00 = -0.19$ cm No
 - Espesor = $6.48 - 6.00 = 0.48$ cm No
- 28 días
 - Largo = $19.88 - 20.00 = -0.12$ cm Si
 - Ancho = $9.92 - 10.00 = -0.08$ cm Si
 - Espesor = $5.95 - 6.00 = -0.05$ cm Si

7.5% PET

- 7 días
 - Largo = $20.00 - 20.00 = 0.00$ cm Si
 - Ancho = $9.67 - 10.00 = -0.33$ cm No
 - Espesor = $6.50 - 6.00 = -0.50$ cm No
- 14 días
 - Largo = $19.87 - 20.00 = -0.13$ cm Si
 - Ancho = $10.00 - 10.00 = 0.00$ cm Si
 - Espesor = $5.96 - 6.00 = -0.04$ cm Si
- 28 días
 - Largo = $19.71 - 20.00 = -0.29$ cm No
 - Ancho = $9.75 - 10.00 = -0.25$ cm No
 - Espesor = $6.38 - 6.00 = 0.38$ cm No

10% PET

- 7 días
 - Largo = $19.70 - 20.00 = -0.30$ cm No
 - Ancho = $9.72 - 10.00 = -0.28$ cm No
 - Espesor = $5.75 - 6.00 = -0.25$ cm Si
- 14 días
 - Largo = $19.70 - 20.00 = -0.30$ cm No
 - Ancho = $9.70 - 10.00 = -0.30$ cm No
 - Espesor = $5.97 - 6.00 = -0.03$ cm Si
- 28 días
 - Largo = $19.61 - 20.00 = -0.39$ cm No
 - Ancho = $9.71 - 10.00 = -0.29$ cm No
 - Espesor = $5.95 - 6.00 = -0.05$ cm Si

Interpretación

Se aprecia que los adoquines con plástico incorporado no cumplen con los requisitos de tolerancia dimensional, por lo tanto, no pueden ser comercializados ni aceptados para obras que exigen requisitos de calidad.

4.1.3.4 Resistencia a la compresión

Tabla 38

Ensayo a la compresión

PET	Días	Absorción (%)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Fuerza (kg)	Resistencia (kg/cm ²)
5.0%	7	6.3	19.66	9.78	6.39	38480	200.1
	14	5.43	19.8	9.81	6.48	48744	250.9
	28	6.03	19.88	9.92	5.95	63730	323.2
7.5%	7	5.23	20	9.67	6.5	36220	187.3
	14	5.69	19.87	10	5.96	42452	213.6
	28	6.93	19.71	9.75	6.38	49828	259.3
10.0%	7	6.69	19.7	9.72	5.75	29150	152.2
	14	6.89	19.7	9.7	5.97	38531	201.6
	28	7.83	19.61	9.71	5.95	47691	250.5

Nota: Fuente propia

Tabla 39

Resistencia en porcentajes según ACI 318

% PET	Muestra	Días	Resistencia (kg/cm ²)	Porcentaje (%)
5.0%	M1	7	200.1	62.5
	M2	14	250.9	78.4
	M3	28	323.2	101.0
7.5%	M1	7	187.3	58.5
	M2	14	213.6	66.8
	M3	28	259.3	81.0
10.0%	M1	7	152.2	47.6
	M2	14	201.6	63.0
	M3	28	250.5	78.3

Nota: Fuente propia

Interpretación:

Según las tablas 38 y 39, los adoquines con un 5% de plástico reciclado PET, cumplen con lo estipulado en la tabla 2 índice 2.6.2, sin embargo, a partir de un 7.5% y un 10% la resistencia a la compresión disminuye a tal punto que los adoquines con estos porcentajes de plástico no cumplen con las NTP 399.611.

4.1.4 Resultados del Objetivo Específico Nro. 4.

4.1.4.1 Comparación del Porcentaje de Absorción

Tabla 40

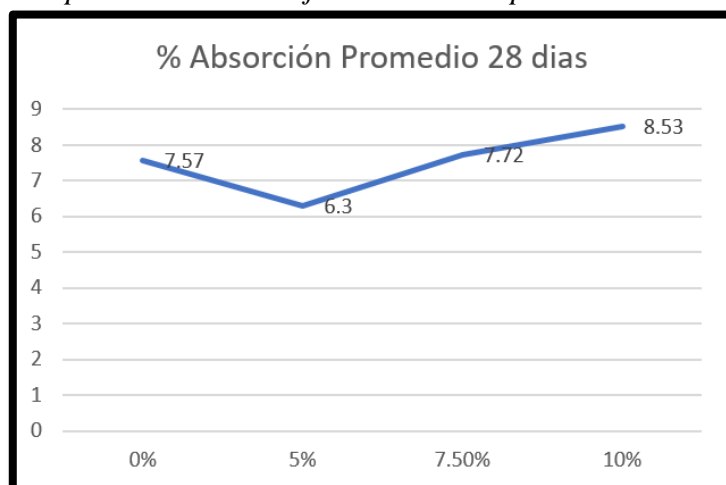
Comparación Porcentaje de Absorción

Porcentaje PET	Promedio 28 días	Mejor muestra
0%	7.57	5.38
5%	6.3	6.03
7.50%	7.72	6.93
10%	8.53	7.83

Nota: Fuente propia

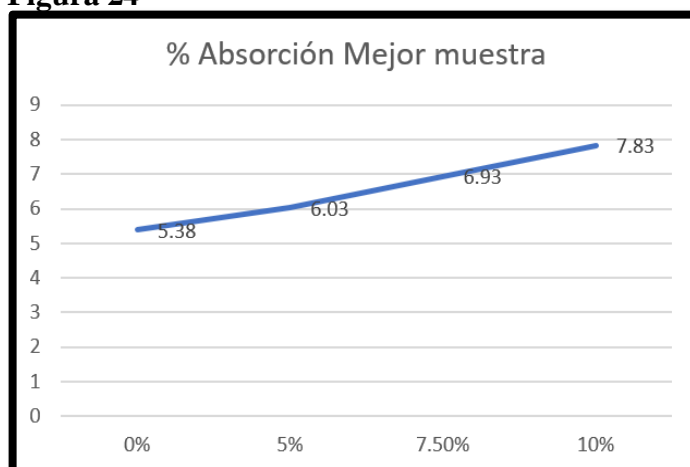
Figura 23

Comparación Porcentaje de Absorción promedio 28 días



Nota: Fuente propia

Figura 24



Comparación Porcentaje de absorción de la mejor muestra

Nota: Fuente propia

Interpretación:

En las gráficas se evidenció que el porcentaje de absorción se incrementa progresivamente a medida que aumenta el contenido de plástico PET reciclado en la mezcla. Según lo señalado en la interpretación 1 del índice 4.1.2.6, el porcentaje de absorción guarda una relación directa con la porosidad de la estructura interna del material. En este contexto, el incremento de la absorción sugiere que la incorporación de PET reciclado genera una mayor cantidad de vacíos dentro de la matriz del adoquín. Esto se debe a que el plástico PET presenta características físicas distintas a las de los agregados minerales, lo cual dificulta la adecuada compactación y adherencia entre los componentes de la mezcla. Como resultado, se produce un aumento en la porosidad del material, lo que a su vez favorece una mayor capacidad de absorción de agua.

4.1.4.2 Comparación de la Tolerancia Dimensional

Tabla 41

Comparación Tolerancia Dimensional

PET	Días	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Requisitos NTP 399.611
0%	7	-0.16	-0.15	0.3	SI
	14	-0.13	-0.12	-0.05	SI
	28	-0.11	-0.12	0.1	SI
5%	7	-0.34	-0.22	0.39	NO
	14	-0.2	-0.19	0.48	NO
	28	-0.12	-0.08	-0.05	NO
7.50%	7	0	-0.33	-0.5	NO
	14	-0.13	0	-0.04	NO
	28	-0.29	-0.25	0.38	NO
10%	7	-0.3	-0.28	-0.25	NO
	14	-0.3	-0.3	-0.03	NO
	28	-0.39	-0.29	-0.05	NO

Nota: Fuente propia

Interpretación

La tolerancia dimensional en los adoquines con PET incluido no cumple con los requisitos según las NTP 399.611, esto puede atribuirse a las diferencias en las propiedades físicas entre el plástico y los agregados minerales tradicionales. El PET presenta menor rigidez y estabilidad, lo que puede afectar la uniformidad de la

mezcla durante el proceso de moldeo, generando ligeras variaciones en las dimensiones finales de los adoquines.

4.1.4.3 Comparación de la Resistencia a la compresión

Tabla 42

Ensayo a la compresión

PET	Días	Absorción (%)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Fuerza (kg)	Resistencia (kg/cm ²)
0%	7	5.46	19.84	9.85	6.3	39361	201.4
	14	5.37	19.87	9.88	5.95	53400	272.0
	28	5.38	19.89	9.88	6.01	67809	345.0
5%	7	6.3	19.66	9.78	6.39	38480	200.1
	14	5.43	19.8	9.81	6.48	48744	250.9
	28	6.03	19.88	9.92	5.95	63730	323.2
7.50%	7	5.23	20	9.67	6.5	36220	187.3
	14	5.69	19.87	10	5.96	42452	213.6
	28	6.93	19.71	9.75	6.38	49828	259.3
10%	7	6.69	19.7	9.72	5.75	29150	152.2
	14	6.89	19.7	9.7	5.97	38531	201.6
	28	7.83	19.61	9.71	5.95	47691	250.5

Nota: Fuente propia

Se realizó la comparación a los 28 días porque es la edad estándar del concreto según la norma ACI 318.

Tabla 43

Comparación a los 28 días

PET	Resistencia 28 días (kg/cm ²)	Variación respecto al 0%
0.0%	345.0	Referencia
5.0%	323.2	↓ 6.32%
7.5%	259.3	↓ 24.84%
10.0%	250.5	↓ 27.39%

Nota: Fuente propia

Interpretación

1. 5% de PET

- La resistencia baja de 345 → 323.2 kg/cm².
- Disminuye aproximadamente 6.32%.
- La pérdida es moderada, por lo que podría considerarse el porcentaje menos perjudicial.

2. 7.5% de PET

- La resistencia baja a 259.3 kg/cm².
- Disminuye aproximadamente 24.84%.
- Aquí el PET empieza a afectar fuertemente la resistencia

3. 10% de PET

- La resistencia baja a 250.5 kg/cm².
- Disminuye aproximadamente 27.39%.
- Es el porcentaje que más reduce la resistencia del adoquín.

Los resultados muestran que la incorporación de plástico PET reciclado genera una disminución progresiva de la resistencia a la compresión de los adoquines a medida que aumenta su porcentaje en la mezcla. El adoquín convencional sin PET alcanzó una resistencia de 345.0 kg/cm² a los 28 días, mientras que las mezclas con 5%, 7.5% y 10% de PET presentaron resistencias de 323.2 kg/cm², 259.3 kg/cm² y 250.5 kg/cm², respectivamente. Esto indica que el 5% de PET presenta la menor reducción de resistencia, mientras que porcentajes mayores generan una disminución más significativa, posiblemente debido a la menor rigidez del plástico y a la reducción de la adherencia entre el PET y la pasta de cemento.

4.2 Discusiones

1.- Los resultados obtenidos permiten evaluar el comportamiento físico-mecánico de los adoquines de concreto elaborados con la incorporación de plástico PET reciclado. De manera general, se observó que el incremento del contenido de PET en la mezcla produce un aumento en el porcentaje de absorción y una disminución en la resistencia a la compresión del material. Este comportamiento está asociado a la menor densidad y rigidez del plástico en comparación con los agregados minerales, lo que genera una mayor cantidad de vacíos en la matriz del concreto. Como consecuencia, se incrementa la porosidad del material, afectando su capacidad resistente y su desempeño físico-mecánico de forma negativa en comparación con las muestras de adoquines de concreto convencionales, no siendo aptas según los requisitos de las NTP 399.611.

2.- Los resultados obtenidos en los adoquines de concreto convencional, evidencian que las muestras cumplen con los requisitos establecidos en la norma NTP 399.611 para adoquines Tipo I. Esto indica que el proceso de fabricación y la dosificación de los materiales permitieron obtener unidades con propiedades adecuadas para su evaluación. Además, estas muestras sirvieron como referencia para comparar el comportamiento de las mezclas que incorporan plástico PET reciclado.

3.- El diseño de mezcla del concreto fue determinado siguiendo el procedimiento establecido en la norma ACI 211.1, lo cual permitió establecer proporciones adecuadas entre cemento, agua y agregados para alcanzar la resistencia requerida. La aplicación de este método permitió obtener una mezcla base adecuada para la elaboración de los adoquines, asegurando que las variaciones observadas en las propiedades del material se deban principalmente a la incorporación del plástico PET y no a errores en la dosificación del concreto.

4.- En relación con las propiedades físico-mecánicas evaluadas, se observó que el porcentaje de absorción aumenta a medida que se incrementa el contenido de PET reciclado en la mezcla. Este comportamiento está asociado a un aumento en la porosidad de la matriz del material, debido a la menor adherencia entre el plástico y la pasta de cemento. Asimismo, se

identificaron variaciones en las dimensiones de los adoquines, superando los límites de tolerancia establecidos por las NTP 399.611, lo cual podría estar relacionado con la diferencia de densidad entre el PET y los agregados minerales, afectando la compactación durante el proceso de fabricación.

5.- Al comparar los resultados obtenidos entre los adoquines convencionales y aquellos elaborados con diferentes porcentajes de plástico PET reciclado, se observa que la mezcla con 5% de PET presenta el comportamiento más favorable entre las mezclas modificadas, ya que mantiene una resistencia a la compresión relativamente cercana a la del adoquín convencional. En contraste, los porcentajes de 7.5% y 10% muestran una disminución más significativa en la resistencia.

CAPITULO V
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.

- ✓ Se concluye que la incorporación de plástico PET reciclado en la fabricación de adoquines de concreto influye de manera desfavorable en sus propiedades físico-mecánicas, ya que su presencia incrementa la porosidad interna del material. Como consecuencia, las muestras con plástico PET incorporado no cumplen con los requisitos estipulados en las NTP 399.611. Por lo tanto, la hipótesis formulada es rechazada.
- ✓ Se determinó el diseño de mezcla óptimo de 1:2:1.33:0.426 (Cemento, Arena Gruesa, Confitillo y Agua) para la fabricación de adoquines de concreto convencionales tipo I.
- ✓ Se concluye que los adoquines de concreto convencional elaborados sin incorporación de plástico PET cumplen con los requisitos establecidos en la norma NTP 399.611, usados como una referencia válida para evaluar el efecto de la adición de plástico reciclado.
- ✓ Se determinaron las propiedades físico-mecánicas de las mejores muestras de adoquines de concreto elaborados con la incorporación de plástico PET reciclado en porcentajes de 5%, 7.5% y 10% a los 28 días de curado. Los resultados evidenciaron que el porcentaje de absorción obtenido fue de 6.03%, 6.93% y 7.83%. En cuanto a la resistencia a la compresión, se registraron valores de 323.2 kg/cm², 259.3 kg/cm² y 250.5 kg/cm². Finalmente, los resultados de tolerancia dimensional (Largo, Ancho y Espesor) fueron, 5%: -0.12cm, -0.08cm y -0.05cm; 7.5%: -0.29cm, -0.25cm, 0.38cm; 10%: -0.39cm, -0.29cm y -0.05cm.
- ✓ La comparación de los resultados obtenidos permitió concluir que el porcentaje de absorción de los adoquines de concreto se incrementa progresivamente conforme aumenta la proporción de plástico PET reciclado incorporado en la mezcla. De manera contraria, la resistencia a la compresión presenta una tendencia decreciente a medida que se incrementa el contenido de plástico.

5.2 Recomendaciones.

- ✓ Se recomienda realizar dos venteadas al agregado fino antes de ser usada para la fabricación de adoquines industriales, al mismo tiempo se recomienda el uso del AG-9 como agregado grueso.
- ✓ Se recomienda a la empresa EPPCON el debido mantenimiento a la maquina Adoquinera para una distribución uniforme de la mezcla en los 27 moldes metálicas de la misma.
- ✓ Se recomienda al laboratorio GEOLAB cuya maquina compresora permitió el ensayo a la compresión de las mejores muestras de adoquines industriales.
- ✓ Se recomienda seleccionar las muestras de adoquines con plástico reciclado con mejores resultados en porcentaje de absorción para su posterior estudio de compresión.
- ✓ Se recomienda realizar más ensayos con porcentajes de plástico reciclado mas elevados, aproximadamente en 15%, 20% y 30%, para determinar que tanto influyen estas nuevas proporciones en las propiedades físico-mecánicas de los adoquines industriales.
- ✓ No se recomienda el uso de plástico reciclado en la fabricación de adoquines industriales.

CAPITULO VI
REFERENCIAS
BIBLIOGRÁFICAS

VI REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Castillo, J. (2023). *Sustitución parcial de cemento por plástico reciclado PET en adoquines de concreto*. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho, Perú.

Fernández, M. (2024). *Evaluación de las propiedades mecánicas del adoquín con residuos PET*. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú.

Hernández, L. (2024). *Desempeño mecánico del concreto con PET reciclado como agregado fino*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Kumar, R. (2024). *Optimización de la incorporación de residuos plásticos en bloques tipo adoquín*. Indian Institute of Technology Delhi, India.

Mendes, C. (2024). *Concreto estructural liviano sostenible con agregado de PET reciclado*. Universidade de Sao Paulo, Brasil.

Mehta, P. K., P. K., & Monteiro, P. J. M., P. J. M. (2014). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials* (4th ed.). McGraw-Hill Education.

Neville, A. M. (1995). *Properties of Concrete* (4th ed.). Longman.

Okello, D. (2025). *Evaluación del desempeño de adoquines fabricados con residuos plásticos como material aglomerante*. Makerere University, Uganda.

Quispe, L. (2023). *Uso de adoquines de concreto con PET reciclado para mejoramiento de infraestructura vial urbana*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú.

Ramos, C. (2021). *Diseño de adoquines con PET reciclado para tránsito ligero*. Universidad Peruana Los Andes, Huancayo, Perú.

Rojas, M. (2024). *Adoquines de concreto con agregados reciclados y su influencia en la resistencia y costos*. Universidad de Huánuco, Perú.

Silva, J. (2024). *Reciclaje de tiras de PET en adoquines: ensayo experimental y evaluación del ciclo de vida*. Universidad Nacional de La Plata, Argentina.

Torres, A. (2023). *Influencia del plástico reciclado PET en las características físico-mecánicas de adoquines de concreto*. Universidad Señor de Sipán, Chiclayo, Perú.

Villena Murga, H. (2023). *Elaboración de prototipo de bloque ecológico con plástico reciclado para losas aligeradas*. Universidad Nacional del Santa, Nuevo Chimbote, Perú.

CAPITULO VII

ANEXOS

VII ANEXOS.

7.1 Ensayo granulométrico en agregado fino.



UNS
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
CIVIL

TESIS: EFECTO DE LA INCLUSIÓN DEL PLÁSTICO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LOS ADOQUINES SEGÚN LAS NORMAS NTP 399-611.

TESISTA: BACH. JEYMY ENRIQUE PANDURO TUMBAJULCA

LUGAR: LABORATORIO DE MATERIALES Y CONCRETO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FECHA: 27/06/2025

Segundo ensayo granulométrico del agregado fino (Arena Gruesa) NTP 400.037

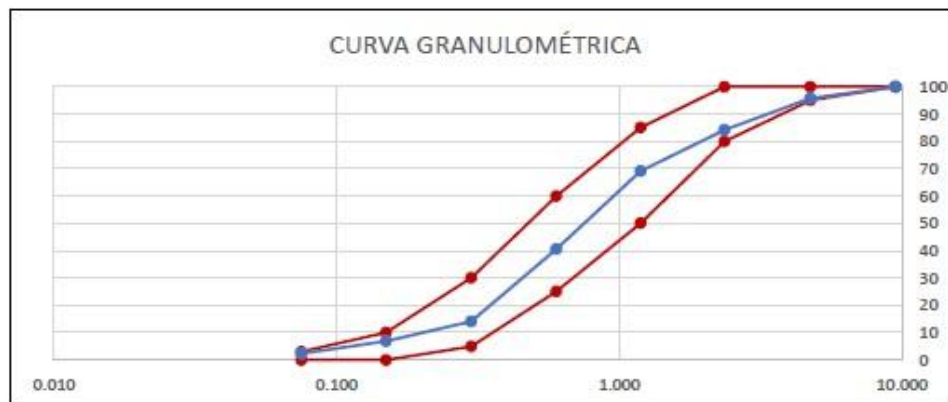
Muestra: Arena Zarandeada

Tamaño Máximo: 3/8"

Procedencia: Cantera CHERO

Peso inicial seco: 662.3g

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	Peso Retenido	Porcentaje Retenido	Retenido Acumulado	Porcentaje que pasa	Especificación AG-9	
3/8"	9.500				100.0	100	100
N°4	4.750	27.6	4.2	4.2	95.8	95	100
N°8	2.360	76.8	11.6	15.8	84.2	80	100
N°16	1.190	100	15.1	30.9	69.1	50	85
N°30	0.600	189.5	28.6	59.5	40.5	25	60
N°50	0.300	175.2	26.5	86	14.1	5	30
N°100	0.150	47.5	7.2	93.2	6.9	0	10
N°200	0.075	30.2	4.6	97.8	2.3	0	3
<N°200	FONDO	15.5	2.3	100.1			



Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz
Jefe del Laboratorio de la Escuela Profesional de
Ingeniería Civil

Bach. Ing. Civil Javier Ramos Paredes
Técnico de Laboratorio de la Escuela Profesional de
Ingeniería Civil

7.2 Ensayo granulométrico del agregado grueso ag-9.



UNS
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
CIVIL

TESIS: EFECTO DE LA INCLUSIÓN DEL PLÁSTICO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LOS ADOQUINES SEGÚN LAS NORMAS NTP 399-611.

TESISTA: BACH. JEYMY ENRIQUE PANDURO TUMBAJULCA

LUGAR: LABORATORIO DE MATERIALES Y CONCRETO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FECHA: 25/06/2025

Ensayo granulométrico del agregado grueso (Confitillo) NTP 400.037

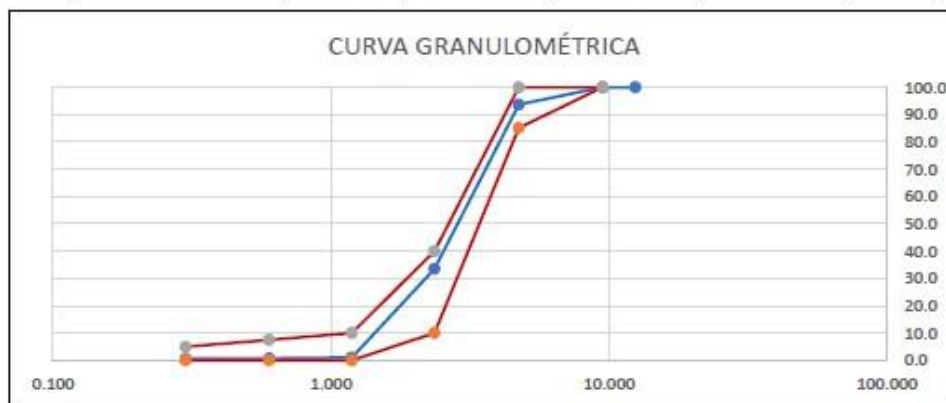
Muestra: Confitillo

Tamaño Máximo: 3/8"

Procedencia: Cantera la Sorpresa

Peso inicial seco: 1145.0g

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	Peso Retenido	Porcentaje Retenido	Retenido Acumulado	Porcentaje que pasa	Especificación AG-9	
1/2"	12.500				100.0		
3/8"	9.500				100.0	100	100
Nº4	4.750	72.3	6.3	6.3	93.7	85	100
Nº8	2.360	689.2	60.2	66.5	33.5	10	40
Nº16	1.190	372.2	32.5	99	1.0	0	10
Nº30	0.600	3.7	0.3	99.3	0.7	0	7.5
Nº50	0.300	1.2	0.1	99.4	0.6	0	5
Nº100	0.150	1.3	0.1	99.5	0.4		
Nº200	0.075	2.5	0.2	99.7	0.2		
<Nº200	FONDO	2.6	0.2	99.9	0.0		



Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz
Jefe del Laboratorio de la Escuela Profesional de
Ingeniería Civil

Bach. Ing. Civil Javier Ramos Paredes
Técnico de Laboratorio de la Escuela Profesional de
Ingeniería Civil

7.3 Peso específico y absorción del agregado fino.



UNS
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
CIVIL

TESIS: EFECTO DE LA INCLUSIÓN DEL PLÁSTICO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LOS ADOQUINES SEGÚN LAS NORMAS NTP 399-611.

TESISTA: BACH. JEYMY ENRIQUE PANDURO TUMBAJULCA

LUGAR: LABORATORIO DE MATERIALES Y CONCRETO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FECHA: 18/07/2025

1. Peso Específico del agregado fino (ASTM C 128)

Muestra: Arena Gruesa

Procedencia: Cantera CHERO

	MASIVO	MASIVO SSS	APARENTE
Peso al aire de la muestra secada en horno (g)	495.7	495.7	495.7
Peso del fiola llena de agua a la marca de calibración (g)	666.0	666.0	666.0
Peso del picnómetro, con la muestra y el agua (g)	981.0	981.0	981.0
Peso específico (g/cm ³)	2.679	2.703	2.743

2. Porcentaje de Absorción del agregado fino (ASTM C 126)

Muestra: Arena Gruesa

Procedencia: Cantera CHERO

Peso de muestra SSS (g)	500.0
Peso al aire de la muestra secada en horno (g)	495.7
Porcentaje de absorción (%)	0.87

Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz
Jefe del Laboratorio de la Escuela Profesional de
Ingeniería Civil

Bach. Ing. Civil Javier Ramos Paredes
Técnico de Laboratorio de la Escuela Profesional de
Ingeniería Civil

7.4 Peso específico y absorción del agregado grueso.



UNS
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
CIVIL

TESIS: EFECTO DE LA INCLUSIÓN DEL PLÁSTICO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LOS ADOQUINES SEGÚN LAS NORMAS NTP 399-611.

TESISTA: BACH. JEYMY ENRIQUE PANDURO TUMBAJULCA

LUGAR: LABORATORIO DE MATERIALES Y CONCRETO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FECHA: 23/07/2025

1. Peso Específico del agregado grueso (ASTM C 128)

Muestra: Confitillo

Procedencia: Cantera La Sorpresa

	MASIVO	MASIVO SSS	APARENTE
Peso al aire de la muestra secada en horno (g)	495.4	495.4	495.4
Peso del fiola llena de agua a la marca de calibración (g)	665.9	665.9	665.9
Peso del picnómetro, con la muestra y el agua (g)	988.7	988.7	988.7
Peso específico (g/cm ³)	2.796	2.822	2.87

2. Porcentaje de Absorción del agregado grueso (ASTM C 126)

Muestra: Confitillo

Procedencia: Cantera La Sorpresa

Peso de muestra SSS (g)	500.0
Peso al aire de la muestra secada en horno (g)	495.4
Porcentaje de absorción (%)	0.93

Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz
Jefe del Laboratorio de la Escuela Profesional de
Ingeniería Civil

Bach. Ing. Civil Javier Ramos Paredes
Técnico de Laboratorio de la Escuela Profesional de
Ingeniería Civil

7.5 Peso unitario del agregado grueso.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
CIVIL

TESIS: EFECTO DE LA INCLUSIÓN DEL PLÁSTICO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LOS ADOQUINES SEGÚN LAS NORMAS NTP 399-611.

TESISTA: BACH. JEYMY ENRIQUE PANDURO TUMBAJULCA

LUGAR: LABORATORIO DE MATERIALES Y CONCRETO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FECHA: 30/06/2025

Peso Unitario Promedio del Agregado Grueso (Confitillo)

Muestra: Confitillo

Tamaño Maximo: 3/8"

Procedencia: Cantera la Sorpresa

AGREGADO GRUESO						Tamaño Max. 3/8"	
DESCRIPCION	UND.	SUELTO			COMPACTADO		
		1	2	3	1	2	3
Peso del Agregado Grueso	kg	5.260	5.250	5.259	6.088	6.101	6.092
Volumen del Molde	m ³	0.00414			0.00414		
Peso Unitario	kg/m ³	1.270	1.267	1.269	1.470	1.473	1.471
Peso Unitario Promedio	kg/m ³	1.269			1.471		

Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz
Jefe del Laboratorio de la Escuela Profesional de
Ingeniería Civil

Bach. Ing. Civil Javier Ramos Paredes
Técnico de Laboratorio de la Escuela Profesional de
Ingeniería Civil

7.6 Contenido de humedad de los agregados



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
CIVIL

TESIS: EFECTO DE LA INCLUSIÓN DEL PLÁSTICO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LOS ADOQUINES SEGÚN LAS NORMAS NTP 399-611.

TESISTA: BACH. JEYMY ENRIQUE PANDURO TUMBAJULCA

LUGAR: LABORATORIO DE MATERIALES Y CONCRETO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FECHA: 08/07/2025

1. Contenido de Humedad del Agregado Grueso

Muestra: Confitillo

Procedencia: Cantera la Sorpresa

2. Contenido de Humedad del Agregado Fino

Muestra: Arena Gruesa

Procedencia: Cantera CHERO

Procedimiento	Ecuación	Tara Nro
		AC-9
1. Peso Tara (g)		101.30
2. Peso Tara + Suelo Húmedo (g)		689.70
3. Peso Tara + Suelo Seco (g)		687.70
4. Peso Agua (g)	2-3	2.00
5. Peso Suelo Seco (g)	3-1	586.40
6. Contenido de Humedad (%)	$(4/5) \times 100$	0.34







Procedimiento	Ecuación	Tara Nro
		AB-2
1. Peso Tara (g)		106.50
2. Peso Tara + Suelo Húmedo (g)		690.60
3. Peso Tara + Suelo Seco (g)		688.20
4. Peso Agua (g)	2-3	2.40
5. Peso Suelo Seco (g)	3-1	581.70
6. Contenido de Humedad (%)	$(4/5) \times 100$	0.41

Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz
Jefe del Laboratorio de la Escuela Profesional de
Ingeniería Civil

Bach. Ing. Civil Javier Ramos Paredes
Técnico de Laboratorio de la Escuela Profesional de
Ingeniería Civil

7.7 Certificado de calidad cemento Inka Ico.

RECOMENDACIONES

-  Usar agua y agregados libres de impurezas, sin modificar la dosificación de materiales o mayor consumo de agua que indica el diseño.
-  Si la mezcla es manual, realizar sobre superficie limpia y no absorbente.
-  Para evitar grietas, mantener curada la superficie por lo menos 7 días.
-  Utilizar métodos de curado empleados en las buenas prácticas de construcción.
-  La proporción correcta de los agregados cemento y agua, dará la resistencia buscada.
-  Proteger la superficie del concreto de pisos y losas de las condiciones ambientales extremas.


SEGURIDAD

Antes de la manipulación del producto, se recomienda utilizar guantes, botas y lentes de seguridad. En caso de contacto con los ojos lavar con abundante agua, para mayor información revisar la hoja de seguridad del producto.

MEDIO AMBIENTE

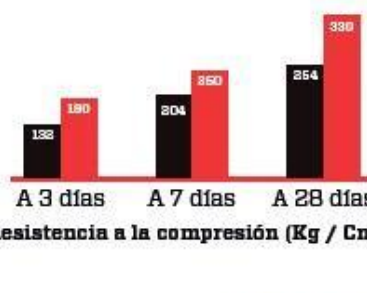
Cuida la Naturaleza, recicla y realiza la disposición correcta de envases.

Fraguado Inicial y Final



Tempo de fraguado (min)	Requisito NTP 334.090	Resultado promedio
Fraguado Inicial	45	112
Fraguado Final	450	314

Resistencia a la compresión



Resistencia a la compresión (Kg / Cm ²)	Requisito NTP 334.090	Resultado promedio
A 3 días	18	190
A 7 días	25	250
A 28 días	31	330

Cemento Portland tipo I Co

Requisitos Normalizados

NTP 334.090


Análisis químico	Valor	Unidad	NTP 334.090 ASTM C - 595
Óxido de Magnesio (MgO)	1.7	%	Máx. 6.0
Trióxido de Azufre (SO ₃)	2.8	%	Máx. 4.0

Ensayos físicos			
Densidad Le Chatelier	2.98	g/cm ³	-
Contenido de aire mortero	7	% Vol	Máx. 12
Fimura Elaine	492	m ² /Kg	-
Expansión en Autoclave	0.10	%	Máx. 0.80
Contracción en Autoclave	-	%	Máx. 0.20


Tiempo de fraguado			
Inicial	112	minutos	Mín. 45
Final	5.2	horas	Máx. 7.0

Resistencia a la compresión			
3 días	19	Mpa	Mín. 13
	(190)	(kg/cm ²)	(Mín. 132)
7 días	25	Mpa	Mín. 20
	(250)	(kg/cm ²)	(Mín. 204)
28 días	31	Mpa	Mín. 25
	(330)	(kg/cm ²)	(Mín. 254)


Conforme a normas técnicas:
NTP 334.090 / ASTM C-595




Certificados en
ISO 9001:2015




Certificados en
ISO 14001:2015



Certificados en
ISO 45001:2018





7.8 Ensayo de laboratorio GEOLAB

 <h3 style="margin: 0;">GEOLAB INGENIEROS CONSULTORES E.I.R.L.</h3> <p style="margin: 0; font-size: small;">LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS ELABORACION DE ESTUDIOS DE MECANICA DE SUELOS, ENSAYOS DE MATERIALES, CONTROL DE CALIDAD EN OBRA, EXPEDIENTES, PERFILES TECNICOS, SUPERVISION, RESIDENCIAS, LEVANTAMIENTOS TOPOGRAFICOS</p> <p style="margin: 0; font-size: x-small;">Oficina: P.J. 03 de octubre Jr. Tangay Mz. B lote 07 - Nuevo Chimbote - RUC: 20604190640 Teléfono: 954877150-945417124 e-mail: Wilze822@hotmail.com</p>	
---	---

INFORME DE ENSAYO		Código	GIC-822
UNIDADES DE ALBAÑILERIA. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ADOQUINES DE CONCRETO PARA PAVIMENTOS		Versión	2025
NTP 339.611 - ASTM C140-13		Página 1 de 1	
TESISTA:	Jeymy Enrique Panduro Tumbajulca	INFORME No.	GIC/822
TESIS:	EFEECTO DE LA INCLUSIÓN DE PLÁSTICO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LOS ADOQUINES SEGÚN LAS NORMAS NTP 399-611	FECHA DE EMISIÓN :	Diciembre del 2025
LOCALIZACIÓN:	DISTRITO DE NUEVO CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - DEPARTAMENTO DE ANCASH		
MÉTODO DE ENSAYO :	NORMA NTP 339.611 - ASTM C140 -13		
DESCRIPCIÓN MUESTRA:	ADOQUIN DE CONCRETO COLOR ROJO		

Adoquin No.	Dimensiones (cm)			Fecha de fabricación	Fecha de ensayo	Edad (días)	Area Bruta (cm ²)	Carga máxima aplicada (kgf)	Resistencia a la compresión	
	Largo (1)	Ancho (2)	Alto (3)						kg/cm ²	Mpa
M-1	19.84	9.85	6.30	S/N	7 DIAS	S/N	195.4	39361.0	201.4	20.3
M-2	19.87	9.88	5.95	S/N	14 DIAS	S/N	196.3	63400.0	272.0	27.2
M-3	19.89	9.88	6.01	S/N	28 DIAS	S/N	196.5	67809.0	345.0	34.7
M-4	19.66	9.78	6.39	S/N	7 DIAS	S/N	192.3	38480.0	200.1	19.6
M-5	19.80	9.81	6.48	S/N	14 DIAS	S/N	194.2	48744.0	250.9	24.6
M-6	19.88	9.92	5.95	S/N	28 DIAS	S/N	197.2	63730.0	323.2	31.7
M-7	20.00	9.67	6.50	S/N	7 DIAS	S/N	193.4	36220.0	187.3	18.4
M-8	19.87	10.00	5.96	S/N	14 DIAS	S/N	198.7	42452.0	213.6	21.0
M-9	19.71	9.75	6.38	S/N	28 DIAS	S/N	192.2	49828.0	269.3	26.4
M-10	19.70	9.72	5.75	S/N	7 DIAS	S/N	191.5	29150.0	152.2	14.9
M-11	19.70	9.70	5.97	S/N	14 DIAS	S/N	191.1	38531.0	201.6	19.8
M-12	19.61	9.71	5.95	S/N	28 DIAS	S/N	190.4	47691.0	250.6	24.6

Las muestras fueron proporcionadas por el solicitante



GEOLAB INGENIEROS CONSULTORES E.I.R.L.
 LAB. MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTO

 Ing. Wilson J. Zelaya Santos
 C.R. 195333 - CONSULTOR C - 127796
 ESPECIALISTA EN MECANICA DE SUELOS Y GEOTECNIA



7.9 Ensayos de absorción.

7.9.1 Secado al horno de las muestras.



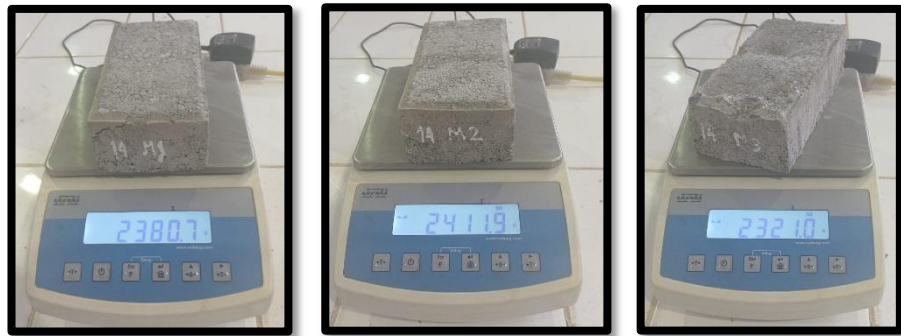
7.9.2 Peso seco de muestras 0% PET 7 días.



7.9.3 Peso saturado de muestras 0% PET 7 días.



7.9.4 Peso seco de muestras 0% PET 14 días.



7.9.5 Peso saturado de muestras 0% PET 14 días.



7.9.6 Peso seco de muestras 0% PET 28 días.



7.9.7 Peso saturado de muestras 0% PET 28 días.



7.9.8 Peso seco de muestras 5% PET 7 días.



7.9.9 Peso saturado de muestras 5% PET 7 días.



7.9.10 Peso seco de muestras 5% PET 14 días.



7.9.11 Peso saturado de muestras 5% PET 14 días.



7.9.12 Peso seco de muestras 5% PET 28 días.



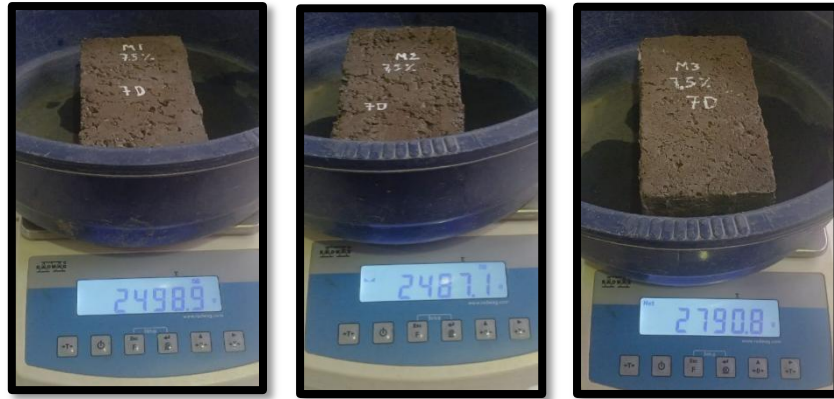
7.9.13 Peso saturado de muestras 5% PET 28 días.



7.9.14 Peso seco de muestras 7.5% PET 7 días.



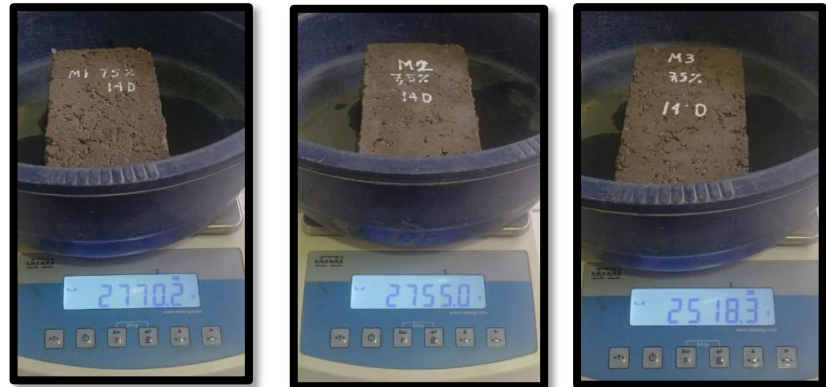
7.9.15 Peso saturado de muestras 7.5% PET 7 días.



7.9.16 Peso seco de muestras 7.5% PET 14 días.



7.9.17 Peso saturado de muestras 7.5% PET 14 días.



7.9.18 Peso seco de muestras 7.5% PET 28 días.



7.9.19 Peso saturado de muestras 7.5% PET 28 días.



7.9.20 Peso seco de muestras 10% PET 7 días.



7.9.21 Peso saturado de muestras 10% PET 7 días.



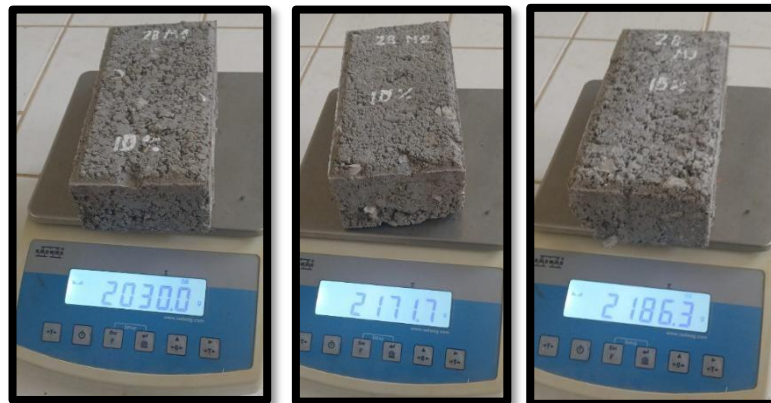
7.9.22 Peso seco de muestras 10% PET 14 días.



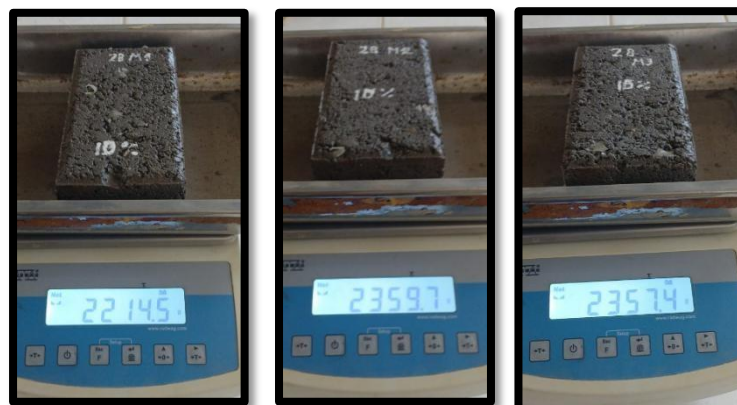
7.9.23 Peso saturado de muestras 10% PET 14 días.



7.9.24 Peso seco de muestras 10% PET 28 días.



7.9.25 Peso saturado de muestras 10% PET 28 días.



7.10 Anexo 10. Tolerancia dimensional mejores muestras

7.10.1 Adoquines con 0% plástico



7.10.2 Adoquines con 5% plástico



7.10.3 Adoquines con 7.5% plástico



7.10.4 Adoquines con 10% plástico



7.11 Anexo 11. Resistencia a la compresión

7.11.1 Adoquines con 0% plástico







7.11.2 Adoquines con 5% plástico







7.11.3 Adoquines con 7.5% plástico







7.11.4 Adoquines con 10% plástico







7.12 Tesista en laboratorio GEOLAB.

