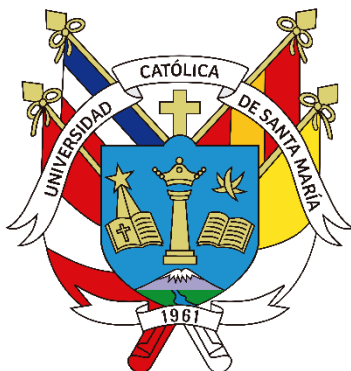


Universidad Católica de Santa María
Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**Evaluación del comportamiento del adoquín con la adición de ceniza
volcánica y TiO_2 bajo las metodologías ACI y Modelo de Acomodo
Compresible, Arequipa 2024**

Tesis presentada por los Bachilleres:

Benique Quispe, Luis Eduardo

ORCID: 0009-0008-6825-8821

Chayña Gomez, Angela Miluska

ORCID: 0009-0000-6776-9728

para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Asesor:

Mg. Loayza Rodriguez, José German

ORCID: 0000-0003-0997-674X

Arequipa – Perú

2025

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA CIVIL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 27 de Noviembre del 2024

Dictamen: 010426-C-EPIC-2024

Visto el borrador del expediente 010426, presentado por:

2017220581 - BENIQUE QUISPE LUIS EDUARDO

2017800712 - CHAYÑA GOMEZ ANGELA MILUSKA

Titulado:

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL ADOQUÍN CON LA ADICIÓN DE CENIZA
VOLCÁNICA Y TIO₂ BAJO LAS METODOLOGÍAS ACI Y MODELO DE ACOMODO COMPRESIBLE,
AREQUIPA 2024**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO CIVIL

**29329377 - NEIRA ARENAS JULY LILIAM
DICTAMINADOR**



**29412437 - UGARTE CALDERON ENRIQUE ALFONSO
DICTAMINADOR**



**41481170 - GAMARRA TUCO RUBEN FRANCISCO
DICTAMINADOR**



Evaluación del comportamiento del adoquín con la adición de ceniza volcánica y TiO₂ bajo las metodologías ACI y Modelo de Acomodo Compresible, Arequipa 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

22%

INDICE DE SIMILITUD

19%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

10%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	8%
2	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	2%
3	repositorio.ucsp.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	1%
5	repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	Submitted to uncedu Trabajo del estudiante	1%
7	www.repositorio.unach.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	1%

DEDICATORIA

A Dios, por bendecirme con este logro y permitirme crecer como persona y profesional.

A mis queridos padres, Juan y Verónica, cuyo amor y apoyo incondicional han sido mi mayor fuente de inspiración. Su fe en mí y su dedicación sin límites me han enseñado que la perseverancia y la pasión por el conocimiento son las claves para transformar los sueños en realidad. Cada palabra de aliento, cada consejo y cada abrazo lleno de cariño han sido el impulso para superar los desafíos y alcanzar esta meta. Este logro no es solo mío, sino también un reflejo del sacrificio y del cariño que siempre me han brindado.

A mis hermanos, Gabriel y Keyla, con quienes he compartido la alegría de crecer y aprender. Juntos hemos construido recuerdos inolvidables.

A mi compañero de tesis, gracias por compartir conmigo este camino lleno de desafíos y descubrimientos, gracias por cada hora de trabajo, por escuchar mis locas ideas y por celebrar mis pequeños triunfos. Tu amistad y tu colaboración han sido fundamentales en este proceso.

Angela Miluska Chayña Gomez

Para mis amados padres, Sabino y Paulina, quienes nunca dejaron que mi motivación y espíritu decaiga, son mi faro en la noche y mi ancla en la tormenta.

A mis amadas hermanas, Dennisse y Rocío, que siempre serán mi mayor tesoro y a quienes nunca dejare de admirar. A mis sobrinos dedico este trabajo con la esperanza de ser un buen ejemplo para ellos. Mi familia, mis raíces más fuertes, que han sido mi bastión y me han permitido crecer. A ellos dedico cada uno de mis logros.

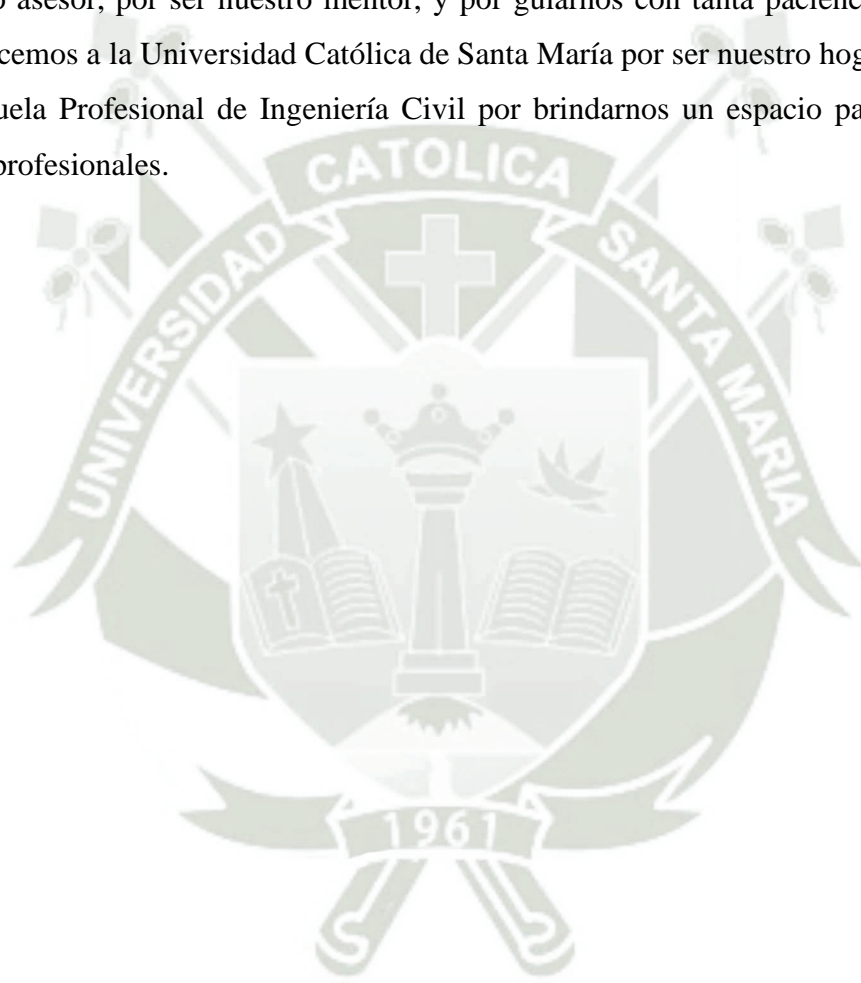
A mis mejores amigos, que siempre estuvieron dispuestos a escuchar mis divagaciones sobre este tema, con canciones y anécdotas amilanaron los más duros momentos de este proceso. Gracias por cada consejo y abrazo.

A mi compañera de tesis, una amistad sincera, por su carácter gallardo y compromiso con esta investigación. Entre risas y discusiones, logramos juntos este objetivo.

Luis Eduardo Benique Quispe

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo representa no solo un logro académico, sino también un crecimiento personal significativo. A lo largo de este camino, hemos aprendido, madurado y descubierto nuevas pasiones. Agradecemos a Dios, por permitirnos vivir esta experiencia y por darnos la fortaleza para superar los desafíos. A nuestros padres, nuestro más sincero agradecimiento por ser nuestra mayor fuente de inspiración y por enseñarnos el valor del trabajo duro. A nuestro asesor, por ser nuestro mentor, y por guiarnos con tanta paciencia y sabiduría. Y agradecemos a la Universidad Católica de Santa María por ser nuestro hogar académico y a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil por brindarnos un espacio para desarrollarnos como profesionales.



RESUMEN

El adoquín ha emergido como un elemento esencial en la pavimentación urbana. Sin embargo, su producción conlleva un impacto ambiental notable debido al alto consumo de recursos y energía; para abordar esta cuestión, se han investigado adiciones como la ceniza volcánica y el dióxido de titanio (TiO_2), con el fin de optimizar las propiedades del adoquín y disminuir su impacto ecológico. El presente estudio se enfoca en examinar el comportamiento del adoquín con estas adiciones, utilizando las metodologías ACI y el Modelo de Acomodo Compresible (MAC), con el propósito de igualar o superar las características del adoquín tradicional.

Mediante la presente investigación, se evaluó el rendimiento de adoquines intertrabados de concreto Portland con sustituciones mixtas, la ceniza volcánica, como material reciclado, y el dióxido de titanio (TiO_2), conocido por sus cualidades autolimpiantes, analizando sus características desde los puntos de vista físico-mecánico, económico y ecológico tanto en estado fresco como endurecido, con el propósito de mantener o mejorar sus propiedades esenciales, incluida su capacidad fotocatalítica. Para ello, se fabricaron adoquines tipo II, con una resistencia de 380 kgf/cm^2 y dimensiones de $200 \times 100 \times 80 \text{ mm}$, siguiendo los diseños de mezcla definidos por las metodologías ACI y el Modelo de Acomodo Compresible, seleccionados por su capacidad para optimizar los materiales y cumplir con los estándares normativos, con el objetivo de maximizar la resistencia y mejorar la integración de los materiales. Estos adoquines fueron elaborados utilizando sustituciones parciales del peso de cemento en proporciones de 3%, 7% y 12% de dióxido de titanio (TiO_2) y 20%, 25% y 30% de ceniza volcánica. El estudio incluyó evaluaciones a los 3, 7 y 28 días de edad, y se calculó la capacidad fotocatalítica mediante el ensayo con Rodamina B.

Los resultados en la presente investigación indican que la adición de un 7% de TiO_2 y un 25% de ceniza volcánica a la mezcla de concreto para adoquines, optimizada mediante el diseño MAC, resulta en una reducción del costo de producción del 20.3%. Además, la incorporación de TiO_2 confiere a los adoquines propiedades fotocatalíticas, lo que les permite descomponer contaminantes y contribuir a la purificación del aire.

Palabras clave: Adoquín intertrabado, ceniza volcánica, dióxido de titanio, fotocatalisis, concreto de alta resistencia, análisis económico.

ABSTRACT

Cobblestone has emerged as an essential element in urban paving. However, its production entails a notable environmental impact due to the high consumption of resources and energy; to address this issue, additions such as volcanic ash and titanium dioxide (TiO_2) have been investigated in order to optimize the properties of pavers and decrease their ecological impact. The present study focuses on examining the behavior of pavers with these additions, using ACI and Compressible Accommodation Model (MAC) methodologies, with the purpose of matching or surpassing the characteristics of traditional pavers.

This research evaluated the performance of interlocking Portland concrete pavers with mixed substitutions, volcanic ash, as a recycled material, and titanium dioxide (TiO_2), known for its self-cleaning qualities, analyzing their characteristics from the physical-mechanical, economic and ecological points of view, both in the fresh and hardened state, with the purpose of maintaining or improving their essential properties, including their photocatalytic capacity. For this purpose, type II pavers were manufactured, with a resistance of 380 kgf/cm^2 and dimensions of $200 \times 100 \times 80 \text{ mm}$, following the mix designs defined by the ACI methodologies and the Compressible Accommodation Model, selected for their capacity to optimize the materials and comply with the regulatory standards, with the objective of maximizing resistance and improving the integration of the materials. These pavers were produced using partial cement weight substitutions of 3%, 7% and 12% titanium dioxide (TiO_2) and 20%, 25% and 30% volcanic ash. The study included evaluations at 3, 7 and 28 days of age, and the photocatalytic capacity was calculated using the Rhodamine B test.

The results in the present investigation indicate that the addition of 7% TiO_2 and 25% volcanic ash to the concrete mix for pavers, optimized through MAC design, results in a 20.3% reduction in production cost. In addition, the incorporation of TiO_2 gives the pavers photocatalytic properties, allowing them to decompose pollutants and contribute to air purification.

Keywords: Interlocking pavers, volcanic ash, titanium dioxide, photocatalysis, high strength concrete, economic analysis.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ANEXOS

INTRODUCCIÓN..... 1

CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 3

1. Problemática de la investigación 3

2. Justificación de la investigación 5

2.1. Justificación tecnológica..... 5

2.2. Justificación económica..... 5

2.3. Justificación social..... 5

2.4. Justificación profesional 5

2.5. Justificación ambiental 5

2.6. Justificación política/institucional 6

2.7. Justificación ética..... 6

3. Problema de la investigación 7

3.1. Problema General 7

3.2. Problemas Específicos 7

4. Objetivos de la investigación 7

4.1. General..... 7

4.2. Específicos 7

5. Hipótesis 8

6. Operacionalización de las variables..... 8

7. Importancia de la Investigación 9

8. Alcances y limitaciones 9

8.1. Alcance	9
8.2. Limitaciones:	11
CAPÍTULO II FUNDAMENTO TEÓRICO	12
9. Antecedentes de la investigación	12
10. Marco Teórico.....	18
10.1. Contaminación nociva	18
10.2. Pavimentos.....	19
10.3. Adoquines	21
10.4. Concreto.....	23
CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....	33
1. Tipo y nivel de investigación.....	33
2. Diseño de la investigación	33
3. Técnicas e instrumentos.....	33
3.1. Observación presente	33
3.2. Observación documental.....	33
4. Descripción metodológica	34
4.1. Área de estudio	36
4.2. Herramientas	37
4.3. Ensayos	40
CAPÍTULO IV CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES.....	45
5. Materiales.....	45
5.1. Cemento	45
5.2. Agua.....	46
5.3. Agregados	46
5.4. Ceniza Volcánica	47
5.5. Dióxido de Titanio	48
6. Propiedades físico-mecánicas del agregado grueso.....	49
6.1. Granulometría	49
6.2. Peso unitario suelto	53
6.3. Peso unitario compactado	54
6.4. Peso específico y absorción	55
6.5. Contenido de humedad	56
7. Propiedades físico-mecánicas del agregado fino	56

7.1. Granulometría	57
7.2. Azul de Metileno	60
7.3. Peso unitario suelto	61
7.4. Peso unitario compactado	62
7.5. Peso específico y absorción	63
7.6. Contenido de humedad	64
CAPÍTULO V PREPARACIÓN DEL CONCRETO	65
1. Diseño de mezcla	65
1.1. Parámetros para el diseño de mezcla	65
1.2. Características físicas del Agregado Fino	65
1.3. Características físicas del Agregado Grueso	65
1.4. Características del cemento	66
1.5. Diseño Final de mezcla de Concreto por m ³	67
2. Determinación de asentamiento y temperatura de adoquines	72
3. Tolerancia dimensional	73
4. Absorción de adoquines	75
5. Análisis del ensayo de resistencia a la compresión	76
5.1. Ensayo de resistencia a la compresión a los 7, 14, 28 días de un concreto portland convencional	76
5.2. Ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días al 3% de TiO ₂	78
5.3. Ensayo de resistencia a la compresión a los 14 días al 3% de TiO ₂	80
5.4. Ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días al 3% de TiO ₂	81
5.5. Ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días al 7% de TiO ₂	83
5.6. Ensayo de resistencia a la compresión a los 14 días al 7% de TiO ₂	84
5.7. Ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días al 7% de TiO ₂	86
5.8. Ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días al 12% de TiO ₂	87
5.9. Ensayo de resistencia a la compresión a los 14 días al 12% de TiO ₂	89
5.10. Ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días al 12% de TiO ₂	90
CAPÍTULO VI ANÁLISIS AMBIENTAL Y ECONÓMICO DEL ADOQUÍN	93
6. Análisis Ambiental	93
6.1. Ensayo de Fotocatálisis	93
7. Análisis Económico del adoquín	96
7.1. Beneficio económico en los materiales	96
7.2. Análisis comparativo del costo de elaboración de adoquines	97

7.3. Análisis comparativo de adoquines en base a costos actuales mercado	100
CONCLUSIONES.....	101
RECOMENDACIONES	103
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104
ANEXOS.....	110



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Cuadro de operacionalización de variables	8
Tabla 2	Espesor nominal y resistencia a la compresión	22
Tabla 3	Tolerancia dimensional	22
Tabla 4	Absorción	22
Tabla 5	Requisitos granulométricos para agregado fino	24
Tabla 6	Cantidad de ensayos a realizar para las pruebas de compresión	40
Tabla 7	Ensayos para el Agregado	42
Tabla 8	Ensayos para el diseño de Concreto de Alto Desempeño	42
Tabla 9	Ensayos para el cemento	42
Tabla 10	Ensayos para el Concreto en estado Fresco	43
Tabla 11	Ensayos para el Concreto en estado Endurecido	43
Tabla 12	Composición química del cemento	46
Tabla 13	Determinación de peso específico del cemento.....	46
Tabla 14	Tamaño de partícula de la ceniza volcánica y contenido de humedad.....	48
Tabla 15	Determinación de peso específico de la ceniza volcánica.....	48
Tabla 16	Granulometría agregado grueso. Muestra 1	50
Tabla 17	Granulometría agregado grueso. Muestra 2	51
Tabla 18	Granulometría agregado grueso. Muestra 3	52
Tabla 19	Peso unitario suelto del agregado grueso	53
Tabla 20	Peso unitario compactado del agregado grueso.....	54
Tabla 21	Peso específico y absorción del agregado grueso.....	55
Tabla 22	Contenido de humedad del agregado grueso.....	56
Tabla 23	Granulometría agregado fino. Muestra 1.....	58
Tabla 24	Granulometría agregado fino. Muestra 2.....	59
Tabla 25	Ensayo de azul de metileno	60
Tabla 26	Ensayo de azul de metileno	60
Tabla 27	Peso unitario suelto del agregado fino.....	61
Tabla 28	Peso unitario compactado del agregado fino.....	62
Tabla 29	Peso específico y absorción del agregado fino.....	63
Tabla 30	Contenido de humedad del agregado fino	64
Tabla 31	Parámetro de selección para el diseño de mezcla.....	65
Tabla 32	Resumen de características de Agregado Fino	65
Tabla 33	Resumen de características de Agregado Grueso.....	66
Tabla 34	Características del Cemento	66
Tabla 35	Parámetros según Metodología ACI.....	67
Tabla 36	Cálculo de volúmenes absolutos para el agregado fino.....	67
Tabla 37	Resumen de pesos obtenidos a partir de los volúmenes.....	68
Tabla 38	Corrección por humedad de agregados	68
Tabla 39	Corrección por absorción.....	68
Tabla 40	Diseño de mezcla ACI x m ³	68
Tabla 41	Dosificación según Metodología ACI x m ³	69
Tabla 42	Combinaciones de agregados según MAC.....	69
Tabla 43	Volumen de Agregados	70
Tabla 44	Resumen de pesos obtenidos a partir de los volúmenes.....	71

Tabla 45	Corrección por humedad de agregados para MAC	71
Tabla 46	Corrección por absorción para MAC.....	71
Tabla 47	Diseño de mezcla MAC x m ³	71
Tabla 48	Asentamiento y temperatura del concreto en estado fresco	72
Tabla 49	Determinación de tolerancia dimensional en adoquines(mm)	73
Tabla 50	Determinación de absorción en adoquines	75
Tabla 51	Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines a la edad de 7, 14 y 28 días (ACI).....	77
Tabla 52	Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines a la edad de 7, 14 y 28 días (MAC)	78
Tabla 53	Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines a la edad de 7 días (ACI)	79
Tabla 54	Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines a la edad de 7 días (MAC)	79
Tabla 55	Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines a la edad de 14 días (ACI)	80
Tabla 56	Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines a la edad de 14 días (MAC)	81
Tabla 57	Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines a la edad de 28 días	82
Tabla 58	Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines a la edad de 28 días (MAC)	82
Tabla 59	Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines a la edad de 7 días	83
Tabla 60	Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines a la edad de 7 días	84
Tabla 61	Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines a la edad de 14 días	85
Tabla 62	Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines a la edad de 14 días	85
Tabla 63	Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines a la edad de 28 días	86
Tabla 64	Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines a la edad de 28 días	87
Tabla 65	Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines a la edad de 7 días	88
Tabla 66	Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines a la edad de 7 días	88
Tabla 67	Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines a la edad de 14 días	89
Tabla 68	Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines a la edad de 14 días	90
Tabla 69	Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines a la edad de 28 días	91
Tabla 70	Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines a la edad de 28 días	91
Tabla 71	Exposición de adoquines con diseño patrón a rayos UV	93
Tabla 72	Determinación de a* en exposición a rayos UV (Diseño Patrón)	94
Tabla 73	Exposición de adoquines con diseño óptimo a rayos UV	94
Tabla 74	Determinación de a* en exposición a rayos UV (Diseño Óptimo)	95
Tabla 75	Determinación de Índice de Degradación de (R4 y R24).....	95
Tabla 76	Análisis de Costos Unitarios para Adoquín Convencional	97
Tabla 77	Sub-Partida de acopio y manipuleo de adoquines	98
Tabla 78	Análisis de Costos Unitarios para la recolección de ceniza volcánica	98
Tabla 79	Análisis de Costos Unitarios para Adoquín con sustitución	99
Tabla 80	Presupuesto comparativo de elaboración de adoquines x m ³	100
Tabla 81	Análisis comparativo de adoquines x und.	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación del área de estudio.	36
Figura 2 Bolsa de cemento "Multipropósito Yura 1P"	45
Figura 3 Ubicación de cantera.....	47
Figura 4 Ceniza Volcánica	47
Figura 5 Dióxido de Titanio	49
Figura 6 Agregado grueso	49
Figura 7 Curva granulométrica de agregado grueso. Muestra 1	50
Figura 8 Curva granulométrica de agregado grueso. Muestra 2	51
Figura 9 Curva granulométrica de agregado grueso. Muestra 3	52
Figura 10 Ensayo de peso unitario suelto del agregado grueso.....	53
Figura 11 Ensayo de peso unitario compactado del agregado grueso.....	54
Figura 12 Ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso.....	55
Figura 13 Ensayo de contenido de humedad del agregado grueso.....	56
Figura 14 Ubicación de cantera de agregado fino	57
Figura 15 Granulometría agregado fino	57
Figura 16 Curva granulométrica de agregado fino. Muestra 1.....	58
Figura 17 Curva granulométrica de agregado fino. Muestra 2.....	59
Figura 18 Ensayo de peso unitario suelto del agregado grueso.....	60
Figura 19 Ensayo de peso unitario suelto del agregado fino.....	61
Figura 20 Ensayo de peso unitario compactado del agregado fino	62
Figura 21 Ensayo de peso específico y absorción del agregado fino.....	63
Figura 22 Ensayo de contenido de humedad del agregado fino	64
Figura 23 Ensayo de finura del cemento	66
Figura 24 Curva de compacidad vs porcentaje óptimo de agregado grueso	70
Figura 25 Determinación de asentamiento de concreto en estado fresco.....	72
Figura 26 Determinación de temperatura de concreto en estado fresco.....	73
Figura 27 Rotura de especímenes de adoquines a los 7 días de edad.....	76
Figura 28 Rotura de especímenes de adoquines a los 14 días de edad.....	76
Figura 29 Rotura de especímenes de adoquines a los 28 días de edad.....	77
Figura 30 Rotura de especímenes de adoquines a los 7 días de edad.....	78
Figura 31 Rotura de especímenes de adoquines a los 14 días de edad.....	80
Figura 32 Rotura de especímenes de adoquines a los 28 días de edad.....	81
Figura 33 Rotura de especímenes de adoquines a los 7 días de edad.....	83
Figura 34 Rotura de especímenes de adoquines a los 14 días de edad.....	84
Figura 35 Rotura de especímenes de adoquines a los 28 días de edad.....	86
Figura 36 Rotura de especímenes de adoquines a los 7 días de edad.....	87
Figura 37 Rotura de especímenes de adoquines a los 14 días de edad.....	89
Figura 38 Rotura de especímenes de adoquines a los 28 días de edad.....	90
Figura 39 Grafica de resistencias a la compresión promedio de 28 días de curado	92
Figura 40 Variación Fotocatalítica	96
Figura 41 Fabricación de bloques de adoquines en grandes cantidades	97

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Matriz de Consistencia	110
Anexo 2 Panel fotográfico.....	111
Anexo 3 Tolerancia Dimensional.....	115
Anexo 4 Absorción de adoquines.....	125
Anexo 5 Fichas técnicas	128
Anexo 6 Constancia de Uso de Laboratorio de la UCSM.....	131



INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción busca alternativas sostenibles para mitigar su impacto ambiental. La producción de cemento Portland, fundamental en la elaboración del concreto, genera elevadas emisiones de gases de efecto invernadero. Ante este escenario, la incorporación de materiales alternativos como la ceniza volcánica y el dióxido de titanio surge como una solución favorable. La ceniza volcánica, un subproducto natural, reduce la necesidad de cemento, mejora la resistencia del concreto y disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero. Por su parte, el dióxido de titanio, además de aumentar la reflectividad solar de los adoquines, actúa como un material fotocatalizador, reduciendo la contaminación vehicular nociva al descomponer los contaminantes en el aire. Esta combinación de materiales no solo ofrece beneficios ambientales significativos, sino también ventajas económicas, posicionándose como una alternativa viable para una construcción más sostenible y eficiente. El objetivo principal es desarrollar mezclas de concreto para adoquines más sostenibles y eficientes, que reduzcan el impacto ambiental de la construcción y mitiguen el cambio climático. La combinación de estos materiales ofrece beneficios tanto económicos como ambientales, posicionándose como una alternativa viable para la industria de la construcción.

El presente estudio está articulado por 6 capítulos detalladamente expuestos a continuación:

Capítulo I: Planteamiento del Problema, conformado por la problemática, la cual aborda temas de contaminación vehicular nociva, problemas ambientales a causa de la ceniza volcánica y la necesidad de una propuesta de adoquín con eficiencia económica y ambiental, además, justificación que sostiene la (palabra para explicar una meta o guía) de la presente investigación, objetivos enfocados en resolver la problemática planteada, hipótesis, operacionalización de las variables a estudiar, importancia del desarrollo del presente estudio, alcances y limitaciones a las cuales se rige la investigación desarrollada.

Capítulo II: Fundamento Teórico, el capítulo comienza con los antecedentes, los cuales abordan el análisis de la propiedad fotocatalítica del dióxido de titanio (TiO_2) aplicado en la fabricación de concreto, así mismo, la aplicación de ceniza volcánica como sustituto parcial del cemento portland; también está conformado por el marco teórico donde se

explican detalladamente temas como la contaminación nociva, pavimento, adoquín, concreto y un desglose de información específica de las propiedades de las adiciones y su injerencia.

Capítulo III: Metodología, por su parte el presente capítulo rige y enmarca la investigación en base al tipo, nivel y diseño de esta, la técnica utilizada fue la observación teniendo como instrumentos la observación presente y documental, finalmente, la descripción de la metodología que explica el área de estudio, herramientas y ensayos que serán analizados en esta investigación.

Capítulo IV: Características de los Materiales, el capítulo abarca el ensayo, análisis y de los materiales utilizados en el presente estudio, analizando propiedades físico-mecánicas de los agregados, finura a la ceniza volcánica y propiedades contempladas dentro de la ficha técnica del dióxido de titanio.

Capítulo V: Resultados, capítulo que abarca desde el desarrollo del diseño de mezclas, donde se analizan los parámetros del diseño de American Concrete Institute (ACI) y el diseño de Modelo de Acomodo Compresible (MAC) determinando así las proporciones adecuadas para el proceso de diseño; seguidamente se encuentra el ensayo al concreto en estado fresco, asentamiento y temperatura, y los ensayos al concreto en estado endurecido, resistencia a la compresión, absorción, tolerancia dimensional y fotocatalisis..

Capítulo VI: Análisis Económico o Discusión, explica y analiza la influencia económica del dióxido de titanio y la ceniza volcánica como sustituto parcial del cemento, además, generando una comparativa en los Análisis de Costos Unitarios del adoquín propuesto y el adoquín convencional.

Capítulo VII: Conclusiones, conclusiones de la investigación realizada.

Capítulo VIII: Recomendaciones, recomendaciones de la investigación realizada.

CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1. Problemática de la investigación

Según Pérez et al. (2022) y Arias y Vargas (2023) con el paso de los años a nivel mundial, el área de la construcción ha tenido un gran desarrollo llegándose a convertir en una de las principales actividades que contribuyen con la economía del país, donde el adoquín resalta como uno de los productos más utilizados en el pavimento urbano llegando a tener una gran evolución, sin embargo, este desarrollo trajo consigo una problemática, debido a que genera mayor impacto ambiental por su alto consumo de recursos naturales y energéticos en su elaboración; por ello, se han realizado diversas investigaciones para incorporar adiciones al adoquín de concreto que mejoren sus propiedades y reduzcan su huella ecológica; lamentablemente, estas adiciones no siempre son aplicadas en la práctica, debido a que implican un mayor costo inicial o una falta de normativa que las regule; en este contexto. El presente trabajo aborda el tema de la no aplicación de las investigaciones de adiciones en la creación de concreto en el sector de la construcción, analizando las causas y consecuencias de esta situación, así como proponiendo algunas alternativas para fomentar su uso.

Según el Instituto Tecnológico de la Construcción (2019), cuyo enfoque principal está en Perú, un país ubicado en el Cinturón de Fuego del Pacífico, constantemente se encuentra frente diferentes emisiones de cenizas volcánicas, lo cual representa un peligro latente para los habitantes de las diferentes regiones, perjudicando de esta manera muchas de las actividades diarias de la población. En consecuencia, surge la necesidad de una continua búsqueda por la reducción de la contaminación que esta genera, presentándose como opción la reutilización de esta como sustituto parcial del cemento en la elaboración de adoquines de concreto los cuales son usualmente empleados en las diferentes vías del país, lo que significaría una alternativa accesible y rentable reduciendo costos y aprovechando dicho residuo por medio de la reutilización de este.

En el informe del portal web Andina Agencia Peruana de Noticias (2012) y Radio Programas del Perú (RPP, 2021), se señala que las fumarolas provocadas por los volcanes no constituyen el único contaminante; lamentablemente el transporte urbano es responsable del 58% de las emisiones de material particulado que contamina el aire en las ciudades; puesto que el parque automotor de país representa el 70% de estas emisiones, lo que en gran

medida puede llegar a ser dañino para el bienestar y la salud de la población, debido a lo cual se hace necesaria y urgente la búsqueda de alternativas que permitan limpiar y purificar el aire mejorando así la calidad de vida. Siendo el dióxido de titanio (TiO_2) una de las alternativas más viables, puesto que posee la propiedad fotocatalítica autolimpiante, la cual tiene la característica de descomponer material particulado cuando este se expone a la luz solar, reduciendo así la contaminación del aire en las zonas urbanas (Red Peruana de Investigación en Calidad del Aire, 2023).

La ceniza volcánica, obtenida del volcán Ubinas, y el dióxido de titanio adquirido de una empresa comercializadora son los principales materiales empleados en esta investigación. En base a lo mencionado por el Ministerio de Seguridad (2022), las zonas volcánicas presentan una serie de problemáticas ambientales asociadas a la actividad de estas, como la emisión de gases tóxicos, la caída de ceniza y la generación de flujos piroclásticos, estos eventos pueden causar daños a la agricultura, la ganadería y la infraestructura, además de representar un riesgo para la salud de las poblaciones locales. Por otro lado, el dióxido de titanio, conocido por sus propiedades fotocatalíticas, ha sido seleccionado debido a su capacidad de autolimpieza. Esta propiedad, basada en la degradación de contaminantes orgánicos al entrar en contacto con la luz ultravioleta, lo convierte en un material de gran interés en diversas aplicaciones, incluyendo la descontaminación de superficies y la generación de energía solar (Bermejo, 2018).

Frente a la problemática del desconocimiento del impacto de las adiciones en el adoquín intertrabado de concreto portland, se propone una evaluación exhaustiva del comportamiento de este material cuando se le incorpora ceniza volcánica y dióxido de titanio (TiO_2). La evaluación se realizó bajo dos metodologías reconocidas: "ACI" y "Modelo de Acomodo Compresible o MAC", enfocado en adoquines intertrabados tipo II. El objetivo principal es igualar o superar las propiedades físicas y mecánicas del adoquín intertrabado convencional. La incorporación de nanopartículas de TiO_2 y ceniza volcánica, un material reciclado, aporta beneficios adicionales. Las nanopartículas de TiO_2 otorgan propiedades autolimpiantes, mientras que la ceniza volcánica contribuye a la reducción de la contaminación y del costo de producción del adoquín.

2. Justificación de la investigación

2.1. Justificación tecnológica

El presente trabajo de investigación se realizó con el propósito de aportar en la búsqueda de nuevas tecnologías de doble adición, esto debido a que los antecedentes indican mejoras físico-mecánicas, económicas y ambientales con adiciones como la ceniza volcánica y el TiO_2 , en este caso aplicado a los pavimentos articulados, específicamente a los adoquines intertrabados de concreto. Como mencionan Estrada et al. (2016) el pavimento articulado es uno de los pavimentos con mayor acogida debido a su facilidad de construcción y puesta en uso, proponiendo así un prototipo de adoquines eco amigables.

2.2. Justificación económica

La presente investigación contribuye con la propuesta de un adoquín eco amigable, el cual gracias a la sustitución de cemento portland por ceniza volcánica genera una reducción de costos en su producción. Este contempla un gran costo en la elaboración del concreto de alta resistencia, como las que son requeridas al realizar el diseño de pavimentos articulados (Portugal, 2007).

2.3. Justificación social

El impacto que tiene la investigación en el ámbito social es la presentación de un pavimento articulado que logre reducir la contaminación, gases emitidos por los vehículos. El parque automotor presente en la zona de estudio asciende la cifra de 600 mil vehículos inscritos en la Superintendencia Nacional de Registros Públicos (SUNARP), generando así un aporte positivo a la esperanza de vida de las habitantes que se encuentren en a la zona de aplicación de la presente propuesta (Diario El Pueblo, 2024).

2.4. Justificación profesional

En la presente investigación se está aplicando conocimientos adquiridos en la escuela profesional de la Universidad Católica de Santa María, con la finalidad de una vez terminada la investigación obtener el título profesional de ingeniero civil, además de, iniciar el rubro de la investigación generando un aporte a la ingeniería moderna y eco amigable.

2.5. Justificación ambiental

El propósito de investigación es tener un alto impacto en el ámbito ambiental, esto debido a la propuesta base de sustitución parcial de cemento portland por ceniza volcánica

y también a la sustitución parcial con relación al peso total de la mezcla de concreto por dióxido de titanio.

Generando así una propuesta que inicialmente reduzca la creación de cemento portland durante la fabricación de los adoquines y que durante el uso de estos se genere una reacción fotocatalítica. Dicha reacción genera una reducción de la contaminación automovilística (Soncco, 2020).

2.6. Justificación política/institucional

El objetivo principal de la investigación es estudiar las propiedades físicas y mecánicas normadas de concreto portland para adoquines Tipo II intertrabados con adición de ceniza volcánica (volcán Ubinas) y dióxido de titanio. El estudio está enfocado en generar un aporte de conocimiento hacia la Universidad Católica de Santa María.

En el ámbito de la construcción sostenible y el cuidado del medio ambiente, esta investigación está enfocada en posicionarse a la vanguardia en el desarrollo de novedosas técnicas y tecnologías, generando así una propuesta de adoquines amigables con la creciente y continua expansión del parque automotriz de transporte público, inicialmente en la región de Arequipa y consecuentemente en las regiones aledañas y ciudades que van en camino a la generación de ciudades de alta densidad poblacional.

2.7. Justificación ética

En cuanto a la normativa correspondiente al tema, se aplicó las regulaciones y normas actualizadas a la fecha de forma pertinente para garantizar que la investigación se realice de manera ética y responsable. El compromiso con la gestión de la información implica garantizar que los datos se almacenen y compartan de manera segura y responsable para proteger la privacidad y confidencialidad durante el proceso de investigación.

La transparencia en el uso de la información y su autoría es fundamental para garantizar que los resultados sean confiables y reproducibles. La autenticidad de la investigación se garantizó mediante el uso de métodos rigurosos y verificables para recopilar y analizar los datos. Se evitó la duplicación de otros estudios mediante una revisión exhaustiva de la literatura existente antes de comenzar la investigación.

3. Problema de la investigación

3.1. Problema General

¿Cómo ha variado el comportamiento de adoquines con la adición de ceniza volcánica y TiO_2 bajo la metodología ACI y Modelo de Acomodo Compresible?

3.2. Problemas Específicos

- ¿Cuáles son las propiedades fisicoquímicas de la ceniza volcánica y TiO_2 para el uso como reemplazo parcial de cemento?
- ¿Qué propiedades físicas y mecánicas posee el adoquín convencional bajo la influencia de las metodologías ACI y Modelo de Acomodo Compresible?
- ¿Cuáles son las propiedades de adoquín con la adición de ceniza volcánica y TiO_2 bajo la influencia de la metodología ACI?
- ¿Cuáles son las propiedades de adoquín con la adición de ceniza volcánica y TiO_2 con la metodología de Modelo de Acomodo Compresible?
- ¿Qué porcentajes serían óptimos de adición de ceniza volcánica y TiO_2 en el adoquín bajo la influencia de las metodologías ACI y Modelo de Acomodo Compresible?
- ¿Cuál es el valor cuantitativo de la propiedad fotocatalítica añadida en el adoquín bajo las metodologías ACI y Modelo de Acomodo Compresible?
- ¿Cómo afecta en los costos la adición óptima de ceniza volcánica y TiO_2 en el adoquín?

4. Objetivos de la investigación

4.1. General

Evaluar el comportamiento del adoquín con adición de ceniza volcánica y dióxido de titanio, bajo la metodología ACI y Modelo de Acomodo Compresible.

4.2. Específicos

- Identificar las propiedades físicas y químicas de la ceniza volcánica y TiO_2 como sustituto parcial del cemento.
- Identificar las propiedades físicas y mecánicas que posee el adoquín intertrabado de concreto portland convencional bajo la influencia de las metodologías ACI y Modelo de Acomodo Compresible.

- Examinar las propiedades físicas y mecánicas de los adoquines adicionando 20%, 25% y 30% de ceniza volcánica y 3%, 7% y 12% de dióxido de titanio respectivamente con la metodología ACI.
- Examinar las propiedades físicas y mecánicas de los adoquines adicionando 20%, 25% y 30% de ceniza volcánica y 3%, 7% y 12% de dióxido de titanio respectivamente con la metodología Modelo de Acomodo Compresible.
- Definir el porcentaje óptimo de adición de ceniza volcánica y TiO₂ en conjunto en el adoquín intertrabado de concreto portland bajo la influencia de las metodologías ACI y Modelo de Acomodo Compresible.
- Encontrar el valor cuantitativo de la propiedad fotocatalítica añadida en el adoquín bajo las metodologías ACI y Modelo de Acomodo Compresible.
- Evaluar la influencia de los costes por la adición de ceniza volcánica y TiO₂ en el adoquín.

5. Hipótesis

Se plantea que la adición de ceniza volcánica y TiO₂ en la fabricación de adoquines, siguiendo la metodología ACI y el Modelo de Acomodo Compresible, es probable que no solo logre igualar o mejorar sus propiedades físico-mecánicas, sino también incorporar la propiedad fotocatalítica.

6. Operacionalización de las variables.

Tabla 1

Cuadro de operacionalización de variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Items	Técnicas	Instrumentos
Adoquín tipo II intertrabado de concreto portland.	Instituto Nacional de Calidad (2019), bloque prefabricado de concreto utilizado principalmente en pavimentación, diseñado para ser instalado de manera que las piezas se entrelacen entre sí, distribuyendo cargas de manera uniforme.	Esta variable será medida a través de fichas de resultados en base a ensayos realizados en laboratorio y fichas de cálculos matemáticos.	Geometría del adoquín	Tolerancia Dimensional	L: ± 1.6 mm A: ± 1.6 mm E: ± 3.2 mm	Ensayos de laboratorio	Ficha de resultados
			Propiedades Mecánicas	Resistencia a la Compresión	37 MPa (380 kgf/cm ²)	Ensayos de laboratorio	Ficha de resultados
V. Dependiente	Instituto Nacional de Calidad (2019), bloque prefabricado de concreto utilizado principalmente en pavimentación, diseñado para ser instalado de manera que las piezas se entrelacen entre sí, distribuyendo cargas de manera uniforme.	Esta variable será medida a través de fichas de resultados en base a ensayos realizados en laboratorio y fichas de cálculos matemáticos.	Propiedades Físicas	Absorción	6%	Ensayos de laboratorio	Ficha de resultados
Fotocatálisis				R-4 >20% R-24 >50%			
			Influencia de los Costes	Análisis de costo beneficio	Análisis de Costos Unitarios	Cálculo matemático	Ficha de Cálculo

Metodología ACI y Modelo de Acomodo Compresible.	Portugal (2007), herramientas que buscan predecir y controlar el comportamiento de los materiales para garantizar la seguridad y eficiencia en base a un diseño de mezcla.	Esta variable será medida a través de guías de análisis documental mediante un análisis documental.	Propiedad Físicas de Ceniza Volcánica	Tamaño de Partícula	0.2 - 200 micras de diámetro	Análisis documental	Guía del análisis documental
				Contenido de Humedad	Variable - in situ		
V. Independiente			Propiedades Físicas de TiO ₂ (rutilo)	Peso Molecular	79.89 g/mol	Análisis documental	Guía del análisis documental
				Volumen Molar	18.69 m ³ /mol		
				Densidad	4.274 kgf/m ³		
				Sistema Cristalino	Tetragonal		

Nota. Desarrollo de variables de la investigación, 2024.

7. Importancia de la Investigación

Según Apaza et al. (2018), la ceniza volcánica puede afectar la salud de las personas alérgicas y causar enfermedades como la rinitis y el asma. Además, esta puede contener metales pesados y otros contaminantes que pueden ser perjudiciales para la salud humana.

Siendo esta una de las razones por las que la presente investigación tiene es de gran importancia debido a que estudiar el uso como sustituto parcial del cemento puede generarnos mejoras en la resistencia a la compresión del concreto y reducir su permeabilidad al agua y a los iones cloruros, también incrementa la durabilidad de del concreto y recude la cantidad de cemento a utilizar en la fabricación de adoquines.

Como explica Najjar (2021) en su investigación de la adición del TiO₂ al concreto, una de las propiedades principales del dióxido de titanio es la fotocatalisis, siendo este capaz de reducir la contaminación del aire y el agua, debido a que puede descomponer contaminantes del aire cuando este se expone a la luz solar.

Es por estas explicaciones que podemos inferir que la presente investigación genera una propuesta que podría postular a un diseño con el costo similar y con propiedades que ayuden tanto en la mejora del medio ambiente como en las mejores y desarrollo dentro de la tecnología del concreto.

8. Alcances y limitaciones

8.1. Alcance

Mediante la presente investigación se proyectó estudiar el desenvolvimiento de los adoquines intertrabados de concreto portland con sustituciones mixtas bajo dos diferentes

metodologías, desde los aspectos físico-mecánico, económico y eco amigable en el concreto fresco y endurecido, siendo estos los principales determinantes para su uso.

La investigación parte desde el análisis de las propiedades de los agregados, siendo estos los ensayos base para el desarrollo de la tesis. Además, se realizaron ensayos de finura a la ceniza volcánica para que pueda añadirse como reemplazo parcial del cemento.

Posterior a estos ensayos iniciales, viene los ensayos a los adoquines, estos se dividen en 2 grupos, ensayos en estados al concreto en estado fresco y ensayos al concreto en estado endurecido.

Ensayos en concreto fresco:

- Ensayos de control de asentamiento
- Ensayos de temperatura

Ensayos en concreto endurecido:

- Ensayo de resistencia a la compresión
- Absorción
- Densidad relativa
- Ensayo de Fotocatálisis con Rodamina B
- Tolerancia dimensional

Los materiales para utilizar son:

- Adición ceniza volcánica, la cual es recolectada del volcán Ubinas.
- Adición de Dióxido de Titanio, la cual es adquirida de una empresa comercializadora de productos químicos.

El slump para adoquines que se consideró es de entre 0" a 1" y los porcentajes de adiciones a utilizar son:

- % Ceniza Volcánica (respecto al peso del cemento): 20%, 25%, 30%.
- % dióxido de Titanio (respecto al peso del cemento): 3%, 7%, 12%.

8.2. Limitaciones:

Para los ensayos de los agregados, se tomó muestras y se analizaron en los laboratorios de la Universidad Católica de Santa María, los ensayos mencionados anteriormente en el acápite de Alcances fueron desarrollados, evaluados y verificados dentro de las instalaciones de la Universidad Católica de Santa María, a excepción del ensayo de Fotocatálisis con Rodamina B, el cual necesita ser expuesto a radiación UV (luz solar), para que pueda activar la propiedad fotocatalíticas de los testigos de adoquín, es debido a eso que este será expuesto en la vía pública.

Actualmente dentro de la normativa peruana no existe mención alguna a una elaboración normada de testigos de adoquín.

En el mercado de la construcción existen diseños desde maquinas empíricas de golpes hasta maquinas completamente automatizadas que vibro compactan durante un periodo de tiempo el concreto, contemplando esa limitante es que se opta por generar moldes artesanales y realizar una compactación manual de 25 golpes en 2 capas.

Únicamente se estudiaron los diseños de mezcla en base a la metodología ACI y Modelo de Acomodo Compresible (MAC). Esto debido a que la presente investigación se centra en la búsqueda de optimización de los materiales cumpliendo a su vez los estándares propuestos por la norma, siendo así que la Metodología ACI al ser el método más conocido y empleado cumpliendo con los aspectos mencionados anteriormente es un óptimo diseño de mezcla a analizar en dichas circunstancias. A su vez, el Modelo de Acomodo Compresible el cual está dirigido a concretos de alto desempeño, que busca mediante ensayos de compacidad tener un modelo matemático de empaquetamiento, logrando que las partículas adopten la estructura óptima a fin de obtener la mayor resistencia y por ende mejores resultados en la integración de todos los materiales.

CAPÍTULO II FUNDAMENTO TEÓRICO

9. Antecedentes de la investigación

Según Chaitanya (2020) en su investigación denominada “Titanium Dioxide-Potential use in Permeable Pavements, Maharashtra State Board of Technical Education, Mumbai – India”

Planteó como objetivo evaluar la eficacia de TiO_2 , el cual tiene como propiedad la reducción de contaminantes, en mantener las características de infiltración del concreto permeable, la evaluación se desarrolló con los siguientes materiales: cemento, agregado, dióxido de titanio y agua, además, mediante los ensayos al concreto en estado fresco y endurecido, examinando así sus propiedades físico-mecánicas y de durabilidad, la investigación se enfocó en mezclas con distintos porcentajes de adición de dióxido de titanio y se concluye que el porcentaje óptimo de adición de dióxido de titanio es de 1.5% en el pavimento permeable y el cual resulta muy útil para la reducción de gases nocivos para el medio ambiente y también para reducir las escorrentía de aguas pluviales. Esta investigación resulta ser de gran utilidad para la presente investigación debido a que analiza el porcentaje óptimo de adición para que las propiedades físico-mecánicas no generen variabilidad en las mismas, tomando así este porcentaje como punto de partida para la dosificación investigada.

Según Zhao et al. (2019) en su investigación titulada “Study on Photo-catalytic Efficiency and Durability of Nano- TiO_2 in Permeable Concrete Pavement Structure, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Shandong – China”

Menciona que el objetivo principal fue generar soluciones para la baja eficiencia fotocatalítica y la durabilidad de los fotocatalizadores con las pruebas comparativas. En el presente estudio se seleccionó una estructura de concreto permeable reciclado con una estructura de agregados y poros interconectados, este estudio explora sistemáticamente el ámbito de aplicación, la selección de materiales, modo de carga y la profundidad estructural, se obtuvo como conclusión que la concentración optima de nano dióxido de titanio en los agregados reciclados debe ser del 0.8%, además, la cantidad optima de mezcla de áridos reciclados no debe ser mayor al 70% ni menor al 30%, si es menor al 30% la carga fotocatalizadora será demasiado pequeña, afectando así su propiedad fotocatalítica.

Según Najar (2021) en su tesis “Evaluación de las propiedades fotocatalíticas de adoquines para obras de infraestructura vial adicionado con TiO_2 (dióxido de titanio) en la ciudad de Arequipa 2021, Universidad Católica San Pablo, Arequipa – Perú”

Plantea como objetivo principal determinar el porcentaje más adecuado de dióxido de titanio respecto al peso del cemento HE Yura añadido a la mezcla convencional de concreto, el cual permita mantener las propiedades físico-mecánicas y propiedad autolimpiante aplicado a la fabricación de adoquines de tipo II de resistencia de 420 kgf/cm^2 , el análisis a los adoquines se basó en las propiedades físicas y mecánicas, la resistencia a la compresión y el análisis de fotocatalisis con la prueba de rodamina, estos ensayos se realizaron a adoquines fabricados en la ciudad de Arequipa con el uso e agregados de 2 diferentes canteras de la ciudad de Arequipa, las cuales son El Ángel y San Miguel, al muestra conto con 36 adoquines con adición de dióxido de titanio para los ensayos de resistencia a la compresión y 12 adoquines con adición de dióxido de titanio destinado para el ensayo de capacidad fotocatalítica, de la investigación en mención se concluye que el tratamiento de dióxido de titanio entre el 3% y el 7% no perjudican en las propiedades mecánicas del concreto, sino que la optimizan al igual que capacidad fotocatalítica, finalmente se concluye que el porcentaje óptimo de tratamiento es de 7%, alcanzo la resistencia requerida con el curado de 7 días, este análisis se logró con relación a/c de 0.4 y de 1:3 cemento : arena, además, se concluye que el aumento del porcentaje de dióxido de titanio no influye en un mayor desempeño de capacidad fotocatalítica. La investigación mencionada es de suma utilidad debido a que se analiza la búsqueda del porcentaje óptimo de adicción de dióxido de titanio en adoquines Tipo II.

Según Calderón (2022) en su investigación denominada “Caracterización de morteros geo polímeros sintetizados por activación alcalina de ceniza volcánica y agregados finos”

Expone como objetivo la caracterización de los morteros geo poliméricos fabricados con ceniza volcánica como material precursor y con distintos tipos de agregados finos, para la realización de esta investigación se empleó una relación líquido: sólido de 0.1, además, una relación de sólidos de 1:1, se realizó una adición de silicato de sodio al 25% en la solución activadora y además se usó agregado fino de distintas procedencias, de la ciudad de Arequipa y de Lima; las probetas fueron obtenidas por el método de compactación y su endurecimiento fue en condiciones de curado preestablecidas; los morteros geo poliméricos

se sometieron a ensayos de difracción de rayos x, absorción y densidad, resistencia mecánica a la compresión y microscopia electrónica de barrido. Los resultados obtenidos de la mezcla de mortero sintetizado con ceniza volcánica presentaron valores entre el rango de 11.38 MPa y 24.57 MPa de resistencia a la compresión a los 28 días de curado.

Según Apaza et al. (2018) en su estudio titulado “La ceniza volcánica en la obtención de geo polímeros como alternativa en la industria de la construcción ”

Presenta como base el uso de geo polímeros de ceniza volcánica con la adición de agregado grueso y/o fino tanto para la creación de morteros o ladrillos de concreto geo polimérico, las propiedades que tiene este nuevo material son superiores a las del cemento portland convencional obteniendo resistencias a la compresión de hasta 60 mega pascales, hoy el proceso de realización de este material no es mediante la combustión de la materia por lo cual no genera problemas de contaminación por CO₂, siendo favorable para el desarrollo de un concreto eco amigable, sin embargo, al ser un geo polímero y al necesitar un material activador genera nuevos procesos que al realizar el concreto en sitio llegan a ser poco eficientes.

Según Prasanna (2019) en su investigación “Improvement of aggregate packing model of interlocking concrete block pavement (ICBP) mixture using fly ash, University of Moratuwa, Sri Lanka”

Plantea como objetivo principal la mejora del modelo de empaquetamiento de los agregados del pavimento articulado mediante la utilización de cenizas volcánicas, disminuyendo así la porosidad los bloques de concreto, esto conduce a la posibilidad de disminuir la cantidad de cemento, las muestras de adoquines se someten a ensayos de resistencia a la compresión y absorción de agua de acuerdo a las normas, además, se realizaron pruebas de microscopio electrónico de barrido (SEM), las muestras de adoquines se ensayaron a las edades de 7, 14, 28 días, las pruebas de absorción y SEM se realizaron únicamente a los 28 días, se concluye que los porcentajes óptimos son de 21% a 22% que la utilización de ceniza volcánica es una solución útil para la optimización de empaquetadura de la mezcla en los adoquines, además de su apoyo en la minimización del impacto ambiental. Esta investigación de suma utilidad debido a que analiza los factores de relleno de porosidad de la mezcla de concreto en adoquines.

Según Huamani y Solís (2021), en su investigación “Efecto de las propiedades físico-mecánicas y químicas del mortero convencional adicionado con dióxido de titanio para el sector construcción en la provincia y región de Arequipa”

Expone el análisis de las aplicaciones del dióxido de titanio adicionado a un mortero en proporciones de 0%, 3%, 6% y 9%, donde se evaluó la actividad fotocatalítica, mediante la degradación de colorante orgánico(rodamina B) a las 0h, 4h y 26h con la finalidad de medir el rendimiento autolimpiante y sus propiedades como la resistencia a la compresión y absorción en edades de 3, 7, 14 y 28 días, además de una análisis comparativo de costos por medio de costos unitarios entre un mortero convencional y el adicionado con TiO_2 , donde el porcentaje que mostró resultados más favorables fue el de 3% manteniendo su trabajabilidad, disminuyendo su porcentaje de absorción, adquiriendo la propiedad fotocatalítica y logrando obtener un costo beneficio factible. Este estudio demuestra que la incorporación de TiO_2 en los morteros, en la proporción adecuada, puede conferir propiedades adicionales como la autolimpieza, sin afectar significativamente sus características mecánicas, por lo que brinda un rango a considerar en cuanto a la proporción óptima que este debe tener.

Según Núñez y Yapuchura (2019), en su estudio titulado “Diseño de Mezcla con el Método Modelo de Empaquetamiento Compresible Y Uso Del Vidrio Molido En Concretos De Alta Resistencia, Huancavelica”

Evalúa el efecto del vidrio molido finamente en la resistencia a la compresión del concreto a las edades de 7, 14 y 28 días, empleando el método de empaquetamiento compresible o también conocido como modelo de acomodo compresible, donde se investigó el impacto de distintas proporciones de vidrio molido en la resistencia del concreto y se consideró la necesidad de reciclar vidrio en Huancavelica debido a su impacto contaminante. Los resultados mostraron resistencias de 300 kgf/cm², 340 kgf/cm² y 390 kgf/cm² logrando superar el diseño base, según la cantidad de vidrio añadido, de lo cual se puede concluir que el diseño de mezcla empleado presenta mejor resistencia, mayor trabajabilidad, baja segregación y alta densidad del concreto. La investigación mencionada demuestra que la metodología del modelo de acomodo compresible es una herramienta valiosa para diseñar mezclas de concreto con adiciones, ampliando así las posibilidades de aplicación de este método en la construcción.

Según Butrón y Aragón (2024), en su investigación “Análisis y Diseño de Mezcla de Concreto Autocompactante de Alto Rendimiento Con Sustitución Parcial de Ceniza del Volcán Misti por Cemento”

Presenta el desarrollo de un concreto autocompactante de alto rendimiento con una resistencia a la compresión de 420 kgf/cm², como diseño, utilizando ceniza volcánica extraída del Volcán Misti como sustituto parcial del Cemento Portland Tipo I, donde se evaluaron proporciones del 10%, 15%, 20% y 25% de ceniza, siguiendo la norma ASTM C618 y el método ACI 237R-07, asimismo, se realizaron pruebas reológicas y mecánicas, a partir de las cuales se determinó que la sustitución óptima fue del 15% presentando un asentamiento de 68 cm con un tiempo de flujo de 4.7 segundos y con una resistencia a la compresión de 428.23 kgf/cm² a los 28 días, lo que representa una mejor tendencia cumpliendo los lineamientos normados.

Según Bunea et al. (2023), en su artículo de investigación “Use of Clay and Titanium Dioxide Nanoparticles in Mortar and Concrete—A State-of-the-Art Analysis” en Iasi, Rumania.

El presente estudio tiene como objetivo desarrollar alternativas sostenibles en la industria de la construcción, explorando el potencial de la nanoarcilla y el dióxido de titanio para mitigar el impacto ambiental asociado a la producción de concreto. A través de un análisis exhaustivo de las propiedades mecánicas y durabilidad de morteros y hormigones modificados con estos nanomateriales, se ha evidenciado una mejora significativa en su resistencia a la compresión, tracción y flexión. Los resultados obtenidos sugieren que la nanoarcilla, al actuar como un agente puzolánico a escala nanométrica, promueve la hidratación del cemento y densifica la matriz, mientras que el dióxido de titanio, como relleno inerte, refina la microestructura y favorece la nucleación de hidróxidos de calcio, además, de la propiedad foto-catalítica que posee. La sinergia entre ambos nanomateriales ofrece una vía prometedora para optimizar las propiedades mecánicas, aunque se requiere una optimización detallada de las dosificaciones en función de las características específicas de cada sistema.

Según Selvasofia et al. (2022), en su investigación “Study on the mechanical properties of the nanoconcrete using nano-TiO₂ and nanoclay” en Tamil Nadu, India.

La metodología empleada en el estudio consistió en realizar experimentos con hormigón con distintas fracciones de partículas de nano-TiO₂ y nanoarcilla para determinar

la composición óptima para mejorar las propiedades. Esto incluyó pruebas iniciales para identificar las mejores proporciones de partículas de nano-TiO₂, pruebas secundarias con nanoarcilla, pruebas mecánicas en probetas, examen microscópico, diseño de mezclas de hormigón con nano aditivos, preparación de probetas, curado y pruebas de propiedades de resistencia mecánica. El objetivo era investigar el efecto de las partículas de nano-TiO₂ y las nanoarcillas en las características mecánicas del nano concreto y hallar la composición óptima para mejorar sus propiedades mediante ensayos experimentales, se determinó que una combinación específica de estos nanomateriales, en proporciones del 2.0% y 3.0% respectivamente, maximiza las propiedades mecánicas del material compuesto. Los resultados obtenidos demuestran que la nanotecnología puede aportar soluciones innovadoras para mejorar las prestaciones del concreto, abriendo nuevas perspectivas en el desarrollo de infraestructuras más sostenibles y duraderas.

Según Hamada et al. (2023) en el artículo “Effect of Volcanic Ash and Natural Pozzolana on mechanical properties of sustainable cement concrete: A comprehensive review”

Este artículo presenta una revisión exhaustiva de la literatura científica existente sobre el impacto de la ceniza volcánica (VA) y otras puzolanas naturales (NP) en las propiedades mecánicas del hormigón. Se analiza la influencia de las características químicas, físicas y microestructurales de estos materiales en el comportamiento del hormigón y del mortero. El estudio explora el potencial de la VA y la NP como alternativas sostenibles al cemento Portland, destacando sus beneficios en términos de reducción de costos, consumo energético y huella ambiental. Sin embargo, se reconoce que un elevado reemplazo de cemento puede afectar negativamente propiedades como la trabajabilidad y la densidad del hormigón. La revisión bibliográfica abarcó múltiples investigaciones que evaluaron parámetros como resistencia a la compresión, flexión y tracción, módulo de elasticidad, velocidad de propagación de ultrasonidos, densidad y asentamiento. Los resultados consolidados indican que la incorporación de VA y NP mejora significativamente las propiedades mecánicas y microestructurales del hormigón, aumentando su durabilidad y resistencia a largo plazo. No obstante, se advierte que un reemplazo excesivo puede comprometer algunas propiedades. En conclusión, este trabajo subraya la relevancia de las puzolanas naturales como materiales de construcción sostenibles, aunque se requieren investigaciones adicionales para optimizar su uso y maximizar los beneficios.

10. Marco Teórico

10.1. Contaminación nociva

Explican los autores Estrada et al. (2016) que el aire exterior a menudo está contaminado con monóxido de carbono, plomo, ozono, partículas, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, benceno, butadieno y escape de diésel; esta es la contaminación causada por diversas fuentes, incluidos los automóviles, la fabricación industrial, las centrales eléctricas de carbón, la quema de madera y pequeñas fuentes domésticas, como las máquinas de limpieza en seco; el aire interior puede estar contaminado por los mismos contaminantes que el aire exterior, asimismo puede estar contaminado con humo de tabaco ambiental y una variedad de productos químicos utilizados en productos domésticos o de consumo, por ejemplo, muebles, alfombras, productos de limpieza, adhesivos, materiales de construcción artísticos, ambientadores, perfumes y pesticidas, lo cual causa la contaminación del agua y del suelo también con efectos nocivos para la salud humana.

10.1.1. Contaminación de cenizas volcánica en Perú

Como refieren en Argentina el Ministerio de Seguridad (2022), las cenizas volcánicas son fragmentos de roca, minerales y vidrio volcánico que se producen durante erupciones explosivas de un volcán.

Algunos de los efectos contaminantes de la ceniza volcánica según el Ministerio de Seguridad (2022) son:

- Contaminación del aire: La ceniza volcánica puede afectar la calidad del aire al aumentar la concentración de partículas en suspensión, lo que puede tener un impacto negativo en la salud respiratoria de las personas y los animales.
- Contaminación del agua: La ceniza volcánica puede contaminar las aguas superficiales y subterráneas, cuando la ceniza volcánica se mezcla con el agua, puede formar una suspensión que puede afectar la calidad del agua y reducir la oxigenación, lo que puede afectar la vida acuática.
- Contaminación del suelo: La ceniza volcánica puede contener metales pesados y otros contaminantes que pueden afectar la calidad del suelo; la presencia de ceniza volcánica en el suelo también puede reducir la capacidad del suelo para retener agua y nutrientes, lo que puede afectar el crecimiento de las plantas.

- Impacto en la salud humana: La inhalación de ceniza volcánica puede causar irritación en los ojos, la nariz y la garganta, así como problemas respiratorios como la bronquitis.
- Además, la exposición prolongada a la ceniza volcánica puede aumentar el riesgo de enfermedades respiratorias crónicas y cáncer de pulmón.

10.1.2. Contaminación vehicular en Perú

Como afirma el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2021) el 58% de las emisiones de material particulado que causan la contaminación del aire urbano provienen del tráfico urbano, según el Plan de Acción para el Mejoramiento de la Calidad del Aire en Lima y Callao 2021 - 2025 elaborado por el MINAM; en este contexto, el poder ejecutivo ha emitido el Decreto N° 029-2021-MINAM, que modifica el Límite Máximo de Emisiones Permitidas (LMP) de la importación de vehículos nuevos y/o usados, con el fin de dar un paso importante en la reducción de emisiones contaminantes y mejorar la calidad del aire en beneficio de las personas.

10.2. Pavimentos

Históricamente como lo menciona Menendez (2009) el término pavimento se ha utilizado para describir de forma general la parte física del enlace de 2 puntos separados espacialmente.

Es así que Menendez (2009) menciona que los caminos se originan debido a una necesidad del hombre cuando deja de ser nómada y afronta el problema de intentar conectar con diferentes grupos humanos para poder generar un intercambio de diferentes cosas, como alimentos y objetos, es debido a esto que estos senderos poco a poco empezaron a enfrentar grandes densidades de tránsito surgiendo así una necesidad urgente de generar un desarrollo en algunas de las características las cuales pueden ser, el ancho, el paso de cursos de agua y la superficie, sin embargo es a partir de la invención de los vehículos que los caminos llegan a tener una transformación rotunda para así poder soportar las altas demandas de esfuerzos generados por dichos vehículos.

Además, Montejo (2002) indica que un pavimento esta generalmente conformado por una agrupación de capas puestas una encima de otra, las cuales primeramente se diseñan, para así ser construidos de forma técnica con materiales apropiados y que principalmente estén compactados de forma adecuada, además, dicha estructura, la cual posee una

configuración estratificada, se encuentra posada sobre una subrasante de una vía, la cual es conseguida debido al movimiento de tierras durante la fase de exploración. También menciona que parte importante es que el pavimento tiene como objetivo principal soportar adecuadamente los diferentes esfuerzos transmitidos por las cargas repetidas durante las cargas repetidas del tránsito, durante el período de vida útil por el cual fue diseñado.

Según el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2010) el término pavimento se podría definir como una estructura generalmente compuesta por más de una capa, las cuales se encuentran apoyadas en toda la superficie en el terreno previamente preparado para las sollicitaciones de esfuerzos que se generen durante un periodo denominado Período de Diseño y que se encuentre dentro de unos parámetros de Serviciabilidad.

10.2.1. Pavimentos urbanos

10.2.1.1. Pavimentos flexibles

MVCS (2010) introduce el concepto de clasificación por comportamiento de pavimentos que dispongan de una superficie asfáltica en cualquiera de sus modalidades, esté generalmente conformado por más de una o 2 capas de mezclas asfáltica, además, no se encuentran condicionadas a apoyarse sobre una base o subbase granular; dentro del análisis del comportamiento se genera el concepto opuesto al del pavimento rígido, al ser estos pavimentos flexibles la disipación que generan de los esfuerzos es mucho menor en comparación a la de los pavimentos rígidos, transmitiendo así gran parte de los esfuerzos a las bases inferiores a la capa de rodadura, siendo ésta la base y base parte esencial de estos pavimentos.

10.2.1.2. Pavimentos rígidos

Montejo (2002) explica que una de sus principales partes está conformada por una losa de concreto hidráulico, al igual aquí los pavimentos flexibles se encuentran superpuesta sobre una sub rasante o una capa la cual se encuentra construida con material seleccionado, una de las principales propiedades de la losa de concreto hidráulico es su alta rigidez así como su elevado coeficiente de elasticidad, generando así una distribución de los esfuerzos dentro de una zona muy amplia de la losa de concreto hidráulico disminuyendo de forma considerable los esfuerzos transmitidos a la base y su base de dicha configuración

estructural; esencialmente la capacidad estructural de un pavimento rígido se restringe bastante a la resistencia de la losa.

Añadiendo el MVCS (2010) introduce la clasificación por comportamiento al igual que en los pavimentos flexibles, tales como, losas de concreto simple conjuntas, losas de concreto reforzado con juntas, suelo-cemento, concreto compactado con rodillo, etc.

10.2.2. Pavimentos articulados

Describe Montejo (2002) que esta clase de pavimento guarda gran similitud con la estructuración que un pavimento flexible, sin embargo, dentro de su estructuración cuenta con una capa rigidizada de forma artificial mediante un aditivo; la finalidad de este método se basa en corregir las propiedades iniciales de los materiales locales, las cuales no son aptas para una de estas configuraciones estructurales de capas de pavimento, ya sea debido a que los materiales idóneos se encuentren a distancias tales que generen un encarecimiento considerable de los costos dentro de la construcción de un pavimento.

El concepto general que indica MVCS (2010) es que a diferencia del autor previo este propone el nombre de pavimento semi flexible, y tradicionalmente indica que fue constituida por unidades de piedra, madera, o arcilla cocida, actualmente la industria de la construcción utiliza unidades mucho más desarrolladas de concreto colocado sobre una capa de arena, utilizando el método de relleno de arena en los espacios entre los bloques para así generar la propiedad de trabazón.

10.3. Adoquines

Describe el Instituto Nacional de Calidad (2019) que un adoquín de concreto es una pieza de concreto simple, prefabricada y que necesariamente cumple con la Norma Técnica Peruana 399.611 actualizada en el 2019.

10.3.1. Tipos de adoquines

La clasificación que indica INACAL (2019) dentro de la NTP 399.611 si fragmenta en 3 tipos para diferentes usos, las cuales son; tipo I para adoquines de pavimentos de uso peatonal, tipo II para adoquines de pavimentos de uso vehicular ligero y tipo III para adoquines de pavimentos expuestos a tránsito vehicular pesado, patios industriales y contenedores. Los cuales deben tener los siguientes requisitos físicos, mencionados en las Tablas 1, 2 y 3, las cuales se mencionan en la norma mencionada al inicio de este párrafo:

Tabla 2

Espesor nominal y resistencia a la compresión

Tipo	M pa (kgf/cm ²)	Resistencia a la compresión, mín.	
	Espesor nominal (mm)	M pa (kgf/cm ²)	
		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)
	100	35 (360)	32 (325)
III (Vehicular pesado, patios industriales o de contenedores)	≥ 80	55 (561)	50 (510)

Nota. Espesor y resistencia a la compresión de adoquines. Adaptado de “NTP 399.611:2017” por Instituto Nacional de Calidad, 2019.

Tabla 3

Tolerancia dimensional

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

Nota. Tolerancia dimensional de adoquines. Adaptado de “NTP 399.611:2017” por Instituto Nacional de Calidad, 2019.

Tabla 4

Absorción

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

Nota. Límite de absorción en adoquines. Adaptado de “NTP 399.611:2017” por Instituto Nacional de Calidad, 2019.

10.3.2. Geometría de los adoquines

Describe INACAL (2019) dos diferentes nominaciones de dimensiones dentro de la geometría de un adoquín, la primera es el espesor el cual se subdivide en los 3 tipos de adoquines mencionados anteriormente, generando una variabilidad para el tipo I de 40 mm

a 60 mm con unas resistencias promedio de 3 unidades e individual de 31 MPa (320 kgf/cm²) y 28 MPa (290 kgf/cm²) respectivamente, para el tipo II la distribución de espesor es de 60, 80, 100 mm con una resistencia promedio de 3 unidades de 40, 37 y 35 MPa (410, 380, 360 kgf/cm²) respectivamente y una resistencia de unidad individual de mínimo 37, 33 y 32 MPa (380, 340, 325 kgf/cm²), y por último para el tipo III la única restricción de espesor es que sea mayor o igual a 80 mm con una resistencia promedio de 3 unidades de 55 MPa (561 kgf/cm²) y una resistencia de unidad individual de 50 MPa (510 kgf/cm²), la segunda nominación de dimensión se abarca dentro de la tolerancia dimensional, para esto se generan 3 diferentes tolerancias dimensionales en las 3 dimensiones físicas de un adoquín, las cuales son, tolerancia longitudinal de más menos 1.6 mm, tolerancia de ancho de más menos 1.6 mm y por último la tolerancia de espesor de más menos 3.2 mm; siendo estos 2 los parámetros más importantes para generar adoquines de calidad propuestos por la normativa peruana.

10.4. Concreto

La definición que da el autor Harmsen (2002) consiste en una mezcla de cemento y árido grueso o roca y árido fino o arena y agua; el cemento, el agua y la arena forman una capa de yeso que une varias partículas de agregado grueso, llenando el espacio entre ellas. En teoría, explica el autor, el volumen de lodo debería llenar solo el volumen granular, en la práctica, este volumen es mayor debido al uso de una mayor cantidad de mortero para evitar la formación de vacíos y para obtener un buen hormigón, no basta con mezclar materiales de buena calidad en las proporciones adecuadas, se deben considerar factores como la mezcla, el transporte, la liberación o descarga y el procesamiento.

10.4.1. Composición

La autora Gallego (2017), dice que el concreto es un material compuesto, formado por partículas de materia granulada gruesa (agregados minerales o relleno) sumergidos en una matriz dura de material (cemento o ligante) juntando los espacios vacíos entre las partículas y burbujas.

Dice Gallego (2017) que de diferentes tipos de materiales se puede obtener agregados, pero es mejor hacerlo de materiales naturales, es decir de rocas; estos materiales que son necesariamente inertes son separados en una fracción gruesa y en una fracción fina; de igual modo el cemento se puede realizar de diferentes composiciones químicas. Explica Gallego que el cemento es un nombre genérico que puede ser aplicado a cualquier material

ligante; por ello, es importante utilizar descriptores para la calificación del cemento cuando se refiere a un cemento específico.

10.4.1.1. Agregado fino

El autor Harmsen (2002), dice que los agregados gruesos y finos son componentes inertes del concreto, que no tienen ninguna reacción química entre el cemento y el agua.; el agregado fino debe ser sólido, fuerte, limpio y libre de impurezas ya sea polvo, limo, esquisto, álcali y materia orgánica, en su contenido no debe haber del 5% de arcilla o limo y no más del 1,5% de materia orgánica; el tamaño del grano debe ser inferior a 1/4 de pulgada y su clasificación debe cumplir con los requisitos recomendados en ASTM-C-33-99 y su clasificación debe cumplir con los requisitos recomendados en ASTM-C-33-99 como menciona la Tabla 5.

Tabla 5
Requisitos granulométricos para agregado fino

Requisitos granulométricos que deben ser satisfechos por el agregado fino	
Tamiz Estándar	% en peso del material que pasa por el tamiz
3/8"	100
#4	95 a 100
#8	80 a 100
#16	50 a 85
#30	25 a 60
#50	10 a 30
#100	2 a 10

Nota. Requisitos granulométricos para agregado fino. Adaptado de “Diseño de Estructuras de Concreto Armado” por Harmsen, 2002.

10.4.1.2. Agregado grueso

Refiere Harmsen (2002) agregados gruesos contienen granito, diorita y sienita; se puede emplear la piedra triturada para triturar o tamizar grava del lecho del río o sedimentos naturales, los cuales no deben contener más del 5% de arcilla y partículas finas y no más del 1,5% de materia orgánica, carbón, etc.; sus dimensiones máximas serán inferiores a 115 espacios entre muros de encofrado, 314 espacios libres entre armaduras y 113 espesores de tableros (ACI-3.3.2). Asimismo, Harmsen menciona que, para concreto en espiral, se pueden usar piedras de tamaños de hasta 15 y 20 cm; se pueden usar tamaños más grandes si el

ingeniero no lo considera obstaculizante; para la arena, la norma ASTM-C-33-99a también define una serie de condiciones para su clasificación.

10.4.1.3. Cemento

Como refiere Bermejo (2018) el cemento se obtiene moliendo el Clinker, además de calentarlo hasta que los materiales calizos y arcillosos comienzan a fundirse, considerando ello el cemento contiene los siguientes componentes:

- Silicato tricálcico, que le confiere una resistencia primaria y actúa directamente sobre el calor del agua.
- Silicato di cálcico, proporciona una resistencia duradera y un bajo impacto en el calor del agua.
- El aluminato tricálcico es un catalizador para la reacción del silicato y provoca una fuerte coagulación. Para frenar este fenómeno, se debe agregar yeso durante la producción de cemento.
- Cuatro Aluminio-Ferrito Tetracálcico influyen en el grado de hidratación y el segundo en la temperatura del agua.
- Componentes auxiliares: óxido de magnesio, potasio, sodio, manganeso, titanio.

10.4.1.4. Agua

Explica Harmsen (2002) que el agua que se emplea para la mezcla debe ser limpia y libre de aceite como de ácido alcalino, sal y materia orgánica es por ello que lo más adecuado para el concreto es el agua potable cuyo objetivo es hidratar el cemento; también se utiliza para un mejor manejo de la mezcla y para utilizar agua que no sea potable se deberá demostrar su idoneidad; para ello, los bloques de mortero que se hagan con ellos deben fabricarse y ensayarse de acuerdo con la norma ASTM-C-1091109M-99 y si la concentración que se alcanza a los 7 y 28 días es al menos el 90 % de la concentración que se espera en una lechada de agua potable similar, el fluido es aceptable (ACI-3.4.3) verificando que no contenga agentes que puedan interactuar negativamente con el refuerzo.

10.4.2. Diseño de mezclas especiales (Concreto de alta resistencia)

Dentro de diseño del alta resistencia existen bastantes métodos de dosificación, Rivva (2002) existe una gran variabilidad en las proporciones de mezclas empleadas en concretos diseñados para soportar altas resistencias esto debido a que existen muchos factores los

cuales influyen severamente dentro de este proceso, algunos de los principales factores son, requisitos de resistencia, edad de los ensayos, tipo de aplicación y características del material, además, además de razones económicas, prácticas de fabricación e incluso las estaciones del año son los factores que podrían influenciar de manera considerable dentro de la resistencia de la mezcla para los fines deseados, el autor introduce la idea de que el procedimiento de la mezcla de concreto debe enfocarse más en lo crítico y es por ello que debe ser mucho más cuidadoso que el diseño de una mezcla de resistencia normal, de forma cotidiana se emplean materiales puzolánicos (micro sílice) y aditivos plastificantes especialmente seleccionados, esto debido a que para generar una mezcla de alta resistencia la relación agua/material cementante debe necesariamente ser baja en relación a las relaciones agua/cemento de los concretos convencionales, el autor propicia bastante rangos del consumo de cemento y relación agua/material cementante aterrizando todo en que una relación óptima para una hidratación adecuada y total del cemento es de 0.28, la siguiente recomendación postulada por el autor se basa en la reducción de forma conveniente de la relación agua/cemento utilizando aditivos súper plastificantes los cuales satisfacen este requerimiento debido a que su aplicabilidad genera una reducción de un 20% al 30% de agua en la mezcla y que esto genere asentamiento de &” sin provocar segregación de los agregados gruesos y por ultimo postula que una acomodo de mayor porcentaje de agregados grueso suele ser beneficioso para generar un mezclas mucho más económica, de forma adicional indica que es recomendable considerar como máximo el 2% de aire atrapado, el autor indica que la resistencia se ve supeditada a la resistencia los agregados que se utilicen dentro de la mezcla es por ello que una gran cantidad de cemento y una baja relación de agua/material cementante no necesariamente garantiza un concreto de alta resistencia, debido a esto el autor menciona que investigadores afirman que el proceso de diseño de un concreto supeditado a altas resistencias necesariamente debe de enfocarse en una adecuada relación de agregados finos y gruesos, añadiendo al tema, el autor menciona a personajes como Walker y Bloem, los polis exponen la idea de usar materiales pequeños para aumentar así la adherencia entre el mortero y el agregado y la superficie específica de contacto, con el objetivo de incrementar de forma sustancial la resistencia del concreto.

Indica Portugal (2007) que el método de diseño de mezclas de concreto solicitado a altas resistencias del comité ACI 211.4, es un método categorizado semi empírico y fue la base para el desarrollo d investigaciones pioneras sobre los concretos con solicitudes de altas resistencias además de eso el autor hace mención a la propuesta de un método

alternativo describiendo como dato más complicado el desempeño del comportamiento ya sea en estado fresco o endurecido se ve supeditado a solucionar el problema de las proporciones adecuadas de agregados así como lo menciona el autor previo, para esto el autor propone el método de acomodo comprensible y así lograr unas predicciones mucho más acertadas con relación a las diferentes variables que afectan a la resistencia requerida.

10.4.3. Procedimiento

Describe el autor Harmsen (2002) los siguientes procedimientos según la herramienta a usar:

- La mezcla del hormigón que consiste en cubrir el árido con una pasta de cemento hasta obtener una masa homogénea lo cual debe realizarse con una máquina llamada batidora.
- En el mezclador de tambor cónico se hace con palas de agitación internas, se recomienda mezclar concreto difícil de aplicar porque no es difícil de remover.
- La mezcladora inversa se parece al anterior modelo donde el hormigón se retira girando el tambor en sentido contrario al de mezcla; al ser la descarga lenta el concreto se separa.
- La licuadora es estable y tiene la forma de una licuadora doméstica grande y se trabaja de forma efectiva con una mala mezcla adhesiva.

El tiempo mínimo de amasado del hormigón, prosigue Harmsen, depende de la cantidad de mezcla a preparar y del número de ciclos de amasado; se mide desde el momento de cada componente del dispositivo; la especificación habitual es de 1 minuto por cada 0,7 metros cúbicos (= 1 yarda³) de hormigón más un cuarto de minuto por cada 0,7 metros cúbicos adicionales (ref. 7). Sin embargo, el código ACI requiere un tiempo de mezcla de al menos un minuto y medio (ACI-5.8.3.).

10.4.4. Materiales aglutinantes de activación alcalina

10.4.4.1. Ceniza volcánica

Según el Ministerio de Seguridad (2022) en Argentina, se describe que la ceniza volcánica es un material fino compuesto principalmente por fragmentos de rocas, cristales y vidrios producidos durante una erupción volcánica; cabe mencionar que la ceniza volcánica es expulsada de los volcanes en forma de nubes de partículas finas que pueden ser

transportadas por el viento a largas distancias desde la fuente del volcán; siendo la composición química de la ceniza volcánica puede variar según la composición del magma y la roca de la que se desprende, asimismo, también puede contener gases volcánicos como dióxido de carbono, dióxido de azufre, monóxido de carbono y otros gases tóxicos.

10.4.4.2. Uso de la ceniza volcánica en la industria de la construcción

Como explican el Diario El Búho (2017) la ceniza volcánica es un aditivo activo que se usa en la producción de cemento y concreto y que contiene de forma predominante puzolana generando así una reducción de porosidad, incrementando la permeabilidad y elevando su resistencia al deterioro, también se indica que las propiedades de los nuevos concretos con adición de ceniza volcánica dependen de la calidad de los agregados.

Para Neville (1988), predominan los elementos minerales en su composición, por otro lado, dice el autor que la adición de ceniza al hormigón reduce los costos, reduce el uso de cemento y mejora algunas de sus propiedades, como la trabajabilidad, la resistencia, la densidad, la permeabilidad, la impermeabilidad, la resistencia al ataque químico, especialmente a los sulfatos y la resistencia a la compresión.

10.4.5. Materiales adicionales de nanopartículas

10.4.5.1. Dióxido de titanio

Define el autor Reyes (2010) el dióxido de titanio puro como pigmento inorgánico de la familia de los óxidos de metales de transición y se presenta como un polvo blanco fino.

Por su parte Huisman (2004) comenta que, a inicios del siglo XX, el uso industrial de TiO₂ empezó a reemplazar los óxidos de plomo para dar un color blanco brillante y transparente, actualmente se considera este pigmento como el más importante en producción mundialmente debido a sus propiedades dispersantes, no tóxicas y químicamente estables. El autor añade que también es, es un fotocatalizador, proporciona una oxidación e hidrólisis superiores, siendo un buen inhibidor de la adhesión microbiana.

10.4.5.2. Fotocatálisis

Refiere Bermejo (2018), que la fotocatalisis tiene como principio la descontaminación natural por la propia naturaleza; comparándose con la fotosíntesis de las superficies urbanas, aunque en cada superficie se imponen diferentes y variables procesos y así como la fotosíntesis elimina el dióxido de carbono a través de la luz solar para producir

materia orgánica, los fotocatalizadores eliminan otros contaminantes comunes en la atmósfera, como óxidos de nitrógeno, nubes y otros compuestos orgánicos que son volátiles, a través de un proceso de oxidación activado por la luz solar, la fotocatalisis se basa en el principio de descontaminación natural por la propia naturaleza, se puede decir que es la fotosíntesis de las superficies urbanas, aunque en cada superficie se imponen diferentes procesos y variables; así como la fotosíntesis puede eliminar el dióxido de carbono a través de la luz solar para producir materia orgánica, los fotocatalizadores eliminan otros contaminantes comunes en la atmósfera, como óxidos de nitrógeno, nubes y compuestos orgánicos volátiles, a través de un proceso de oxidación activado por la luz solar.

Ostwald (1901) define un catalizador como un elemento que aumenta la velocidad de una reacción a la que se añade:

- La presencia de un catalizador en el sistema de reacción está limitada en el control de la tasa de conversión.
- Los catalizadores se consideran no reactivos o no se producen en una reacción; un fotocatalizador actúa como catalizador, pero cuando recibe radiación solar o artificial de una determinada longitud de onda, excita sus moléculas.
- La fotocatalisis es una reacción fotoquímica que convierte la energía de la luz en energía química en la superficie de un catalizador, hecho de materiales semiconductores, lo que acelera la reacción.

En este proceso se producen reacciones de oxidación y reducción como un elemento que aumenta la velocidad de una reacción a la que se añade, según Ostwald (1901):

- La presencia de un catalizador en el sistema de reacción está limitada en el control de la tasa de conversión.
- Los catalizadores se consideran no reactivos o no se producen en una reacción.
- Un fotocatalizador actúa como catalizador, pero cuando recibe radiación solar o artificial de una determinada longitud de onda, excita sus moléculas.
- La fotocatalisis es una reacción fotoquímica que convierte la energía de la luz en energía química en la superficie de un catalizador, hecho de materiales semiconductores, lo que acelera la reacción.
- En este proceso se producen reacciones de oxidación y reducción.

10.4.5.3. Fotocatálisis en materiales de construcción

Refiere Bermejo (2018) que la amplia gama de productos disponibles permite la mejor selección de materiales en función de los factores que afectan a la superficie tratada con recubrimientos catalíticos, obteniendo así la máxima reflectividad del fotocatalizador, como:

- Adhesivos: El fotocatalizador forma parte de la mezcla, no se aplica sobre la superficie y son posibles aplicaciones tanto verticales (pared, estructural) como horizontales (piso o techo).
- Pavimento: puede ser continuo, como mortero, pintura, tratamiento superficial para pavimentación o manchado, como ladrillos prefabricados con tratamiento superficial.
- Baldosas asfálticas: especialista en impermeabilización de cubiertas.

10.4.6. Propiedades del concreto

10.4.7. Propiedades mecánicas del concreto

10.4.7.1. Resistencia a la compresión

El autor Barranzuela (2014), menciona que la resistencia mecánica del concreto puede quedar afectada por la porosidad y la absorción del agregado; según la porosidad de los ladrillos puede mejorar la resistencia del hormigón mejorando la adherencia del mortero a los ladrillos o reduciendo el agua libre en la mezcla, reduciendo así la porosidad según el comportamiento de los ladrillos y de la diferencia en sus propiedades.

10.4.7.2. Resistencia a la tracción

Como afirma Harmsen (2002) la resistencia a la tracción del hormigón es mínima en comparación que la resistencia a la compresión de alrededor del 8% al 15% y para determinar este parámetro no se suelen utilizar pruebas directas debido a las dificultades que se presentan, principalmente por los efectos secundarios que produce el cargador; se han propuesto dos métodos indirectos de estimación; la primera prueba, conocida como bra test o split test, consiste en cargar un cilindro estándar horizontalmente a lo largo de uno de sus diámetros hasta que se rompe; este procedimiento se especifica en ASTM-C-496-96.

El segundo método, dice Harmsen (2002), implica la evaluación de la resistencia a la tracción mediante pruebas de flexión; en esta prueba, se utiliza una sección cuadrada de 6

pulgadas (15 cm) de largo y 70 cm de largo, con puntales centrales de 60 cm y un tercio de las distancias entre los puntales cargados.

10.4.8. Propiedades físicas del concreto

10.4.8.1. Permeabilidad

Según Solís y Alcocer (2019) la permeabilidad es la capacidad de un material para permitir que los fluidos se filtren a través de sus orificios; por lo que depende del número total de poros, así como de su distribución, tamaño y capacidad de unión.

Los fluidos en el concreto pueden ser transportados por difusión o absorción; la difusión en el hormigón se produce cuando existe un gradiente de concentración del agente causal, establecido entre el exterior y el interior del material (Nokken et al., 2006).

Explican Martys y Ferraris (1997) que la absorción capilar permite que el líquido sea absorbido en la matriz porosa de la pasta de cemento por atracción capilar y se afirma que las propiedades capilares de la pasta de cemento dependen de la porosidad, distribución geométrica y mecanismo de transporte de fluidos en el concreto.

10.4.8.2. Trabajabilidad

Refiere Neville (2010) que con el concreto fresco se facilita la mezcla, el endurecimiento, compactar y terminar sin descascararse ni derretirse en el proceso, dicha característica es importante porque se le puede dar diversas aplicaciones específicas, en conclusión se trata de facilitar la mezcla de los ingredientes y de una fácil manipulación, transporte y proceso con lo mínimo de pérdida de homogeneidad; la mezcla se determina según el grado de humectación de la mezcla y depende principalmente de la cantidad de agua utilizada.

10.4.8.3. Durabilidad

Como menciona el autor Valdéz (2017) hay una gran variabilidad al tener en cuenta la resistencia de una estructura de hormigón, y cubrir el tiempo de vida que requiere un enfoque integral; es importante considerar esta durabilidad en la etapa de diseño al incluir medidas para lograr la longevidad; por ello es importante considerar la exposición a la que tendrá que resistir la estructura a factores ambientales o a la exposición química; además de sustituir algunos elementos como ménsulas, juntas o desagües cuya vida útil más corta que la estructura, demostrando que las medidas preventivas son más efectivas y menos costosas.

Por otro lado, dice el autor, que, durante el proceso de implementación del proyecto, calidad del trabajo y el buen proceso de mantenimiento no afectan de manera significativa la sostenibilidad del proyecto.

Según lo mencionado por el autor Valdez (2017), a la hora de implementar se debe considerar los siguientes aspectos:

- Elegir la forma estructural adecuada.
- Calidad adecuada para hormigón y capa exterior.
- Utilizar una capa de un espesor adecuado para proteger el refuerzo.
- Controlar el valor máximo de apertura de grietas.
- Proporciona protección superficial contra ambientes hostiles.
- Reducción de la permeabilidad.
- Tiene en cuenta el contenido de humedad del hormigón, menos el aire ambiente, la temperatura y la presión.

10.4.8.4. Consistencia

El autor Neville (2010) explica que las propiedades del concreto ensayado muestran la capacidad de adaptarse fácilmente al encofrado, manteniendo la uniformidad con una porosidad mínima; el material requerido consiste en un tronco de cono y dos círculos de fondo paralelos con un diámetro de 20 cm y 10 cm respectivamente, y una altura de molde de 30 cm usando una barra de acero común, de 5/8 de pulgada de diámetro y 60 cm de largo, para compactar el concreto.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

1. Tipo y nivel de investigación

La metodología de investigación usada es cuantitativa, debido a que se recolectó datos de laboratorio y se analizaron comparando los resultados y dando respuestas a las preguntas planteadas.

El nivel de investigación de este proyecto es explicativo, debido a que va más allá de la descripción del concepto. La investigación se centra en explicar porque ocurre el fenómeno estudiado y cuáles son las condiciones que lo generan.

2. Diseño de la investigación

La investigación es experimental, ya que se manipula de forma controlada las variables independientes (dióxido de titanio y ceniza volcánica) en un entorno controlado de laboratorio para analizar sus efectos en las variables dependientes.

3. Técnicas e instrumentos

La técnica utilizada en la presente investigación fue la observación, la cual tuvo los instrumentos explicados a continuación:

3.1. Observación presente

En la presente investigación se utilizó el instrumento de observación presente para el reconocimiento de la zona de estudio, en la extracción de las muestras de los agregados a ensayar, en la obtención de los datos tras la realización de los ensayos y la observación del comportamiento del TiO_2 y la ceniza volcánica en las propiedades físico-mecánicas y el impacto económico y ambiental.

3.2. Observación documental

En la presente investigación se utilizó el instrumento de observación documental para consultar manual de carreteras, normas MTC, Normas Técnicas Peruana, normas ASTM, protocolos para el desarrollo de los experimentos; así mismo se utilizará dicha técnica para la interpretación de los resultados.

4. Descripción metodológica

Etapa 01 - Caracterizar la propiedad física de finura de la ceniza volcánica (volcán Ubinas) para su uso como sustituto parcial del cemento.

- Metodología de análisis físico de la ceniza volcánica
- Recolección de la muestra de ceniza volcánica.
- Procesos previos a ensayo físico de la ceniza volcánica
- Ensayo físico de la ceniza volcánica
- Recolección de datos
- Análisis de los datos recolectados

Etapa 02 - Analizar las propiedades físicas y mecánicas del adoquín tipo II intertrabado de concreto portland convencional.

- Seleccionar las metodologías de diseño de mezclas
- Seleccionar los materiales comerciales para la mezcla
- Desarrollo de la mezcla de concreto
- Vaciado de los adoquines a ensayar
- Ensayos físicos al concreto fresco
- Ensayos físicos al concreto endurecido
- Ensayos mecánicos al concreto endurecido
- Recolección de datos
- Análisis de datos recolectados

Etapa 03 – Medir las propiedades físicas y mecánicas de los adoquines adicionando 20%, 25% y 30% de ceniza volcánica y 3%, 7% y 12% de dióxido de titanio respectivamente para los diseños de mezcla.

- Seleccionar las metodologías de diseño de mezclas a emplear (ACI y MAC)
- Selección del porcentaje base de ceniza volcánica
- Selección del porcentaje base de TiO₂
- Selección de los materiales comerciales faltantes para la mezcla

- Disgregación de los porcentajes a utilizar en las mezclas
- Desarrollo de la mezcla de concreto modificado
- Vaciado de los adoquines modificados a ensayar
- Ensayos físicos al concreto modificado fresco
- Ensayos físicos al concreto modificado endurecido
- Ensayos mecánicos al concreto modificado endurecido
- Recolección de datos
- Análisis de datos recolectados

Etapa 04 - Definir el porcentaje óptimo de adición de ceniza volcánica y TiO₂ en conjunto en el adoquín tipo II intertrabado de concreto portland.

- Seleccionar la metodología de análisis comparativo
- Recolección de datos de los resultados previos.
- Análisis estadístico de las propiedades físicas del concreto modificado fresco
- Análisis estadístico de las propiedades físicas del concreto modificado endurecido
- Análisis estadístico de las propiedades mecánicas del concreto modificado endurecido
- Análisis comparativo de las propiedades físicas y mecánicas del concreto modificado
- Determinación del porcentaje de adición óptimo de ceniza volcánica y TiO₂.

Etapa 05 – Evaluar la propiedad fotocatalítica añadida en el adoquín bajo las metodologías ACI y Modelo de Acomodo Compresible.

- Desarrollo de la mezcla de concreto modificado con los porcentajes óptimos
- Vaciado de los adoquines modificados a ensayar.
- Desarrollo de ensayo con Rodamina B.
- Recolección de datos de los resultados previos.
- Análisis de la propiedad fotocatalítica encontrada en el adoquín ensayado.

4.2. Herramientas

En la presente investigación se utilizó ensayos de laboratorio en la realización de los siguientes ensayos.

- Para los agregados (NTP 400.037):

NTP 400.022:2021 AGREGADOS. Determinación de la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. Método de ensayo. 4a Edición

NTP 400.012:2021 AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino y grueso. Método de ensayo. 4a Edición

NTP 239.401:2020 AGREGADOS. Método de ensayo para la detección cualitativa de arcillas nocivas en agregados que utilizan azul de metileno

NTP 400.021:2020 AGREGADOS. Densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. Método de ensayo.

NTP 400.019:2020 AGREGADOS. Determinación de la resistencia al desgaste en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles. Método de ensayo.

NTP 339.185:2021 AGREGADOS. Determinación del contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Método de ensayo. 3a Edición

ASTM C 1260-07 Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)

- Para el diseño de concreto de alto desempeño:

NTP 400.017:2020 AGREGADOS. Método de ensayo para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados

NTP 339.185:2021 AGREGADOS. Determinación del contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Método de ensayo. 3a Edición

NTP 400.021:2020 AGREGADOS. Densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. Método de ensayo.

- NTP 400.022:2021 AGREGADOS. Determinación de la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. Método de ensayo. 4a Edición
- NTP 400.012:2021 AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino y grueso. Método de ensayo. 4a Edición
- Para el cemento y ceniza volcánica según corresponda:
- NTP 334.045:2018 CEMENTOS. Método de ensayo para determinar la finura del cemento Pórtland por el tamiz de 45 μm (No. 325)
- NTP 334.067:2019 CEMENTOS. Método de ensayo para determinar la reactividad potencial alcalina de combinaciones cemento agregado. Método de la barra del mortero. 4a Edición
- Para el concreto en estado fresco:
- NTP 339.035:2022 CONCRETO. Medición del asentamiento del concreto de cemento hidráulico. Método de ensayo. 5ª Edición
- NTP 339.184:2021 CONCRETO. Determinación de la temperatura del concreto de cemento hidráulico recién mezclado. Método de ensayo. 3a Edición
- Para el concreto en estado endurecido:
- NTP 399.605:2018 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de ensayo para la determinación de la resistencia en compresión de prismas de albañilería. 3a Edición
- Norma Italiana Determination of the photocatalytic activity of hydraulic binders
UNI 11259-2008 - Rodamina test method.
- NTP 399.604:2002 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto
- NTP 339.187:2018 CONCRETO. Método de ensayo para determinar la densidad, absorción y porcentaje de vacíos en concreto endurecido. 2a Edición.

4.2.1. Materiales y equipos

4.2.1.1. *Materiales y equipos de laboratorio.*

Según el Instituto Nacional de Calidad (2017), los materiales que se utilizaron para los ensayos realizado durante la investigación son:

- Horno de secado termostáticamente controlado
- Balanzas
- Recipientes
- Guantes o tenazas
- Combo de goma
- Varillas
- Tamices 1", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200
- Ensamble de molde
- Molde de metal de 20 x 10 x 8 cm de 6 und. de adoquines
- Regla recta, enrazador
- Espátula con hoja flexible y badilejo
- Frascos
- Agua destilada o agua desmineralizada
- Estufa
- Máquina de compresión axial
- Máquina de abrasión (Máquina de los Ángeles)

4.2.1.2. *Materiales y equipos de escritorio*

- Laptop
- Calculadora
- Cámara
- Teléfono móvil
- Útiles de escritorio

4.3. Ensayos

4.3.1. Tablas de ensayos

La muestra actual de para cada uno de los escenarios en el ensayo de compresión en los adoquines de concreto portland es de 6 unidades. Según Instituto Nacional de Calidad (2017), la norma NTP 399.611 indica que para la obtención de la resistencia a la compresión se debe realizar el promedio de 3 ensayos de compresión axial.

Teniendo esto en cuenta y que según Instituto Nacional de Calidad (2015), la norma NTP 339.034, nos indica que la precisión de repetibilidad para los testigos más grandes tiene un rango aceptable de resistencia de 9.5% para el caso de 3 testigos de concreto.

En la presente investigación se opta por generar 6 testigos por escenario, para las 3 diferentes edades (7 días, 14 días y 28 días), generando así un análisis estadístico más confiable con coeficientes de correlación cercanos a 1, validando así la presente investigación.

Ensayo a compresión se describen en la Tabla 47:

Tabla 6
Cantidad de ensayos a realizar para las pruebas de compresión

7 DIAS					
Concreto para resistencia de 37 (380)		Dióxido de Titanio			
MPa (kgf/cm ²)		0%	3.0%	7.0%	12.0%
Ceniza Volcánica	0%	6	0	0	0
	20%	0	6	6	6
	25%	0	6	6	6
	30%	0	6	6	6
Total					60
14 DIAS					
Concreto para resistencia de 37 (380)		Dióxido de Titanio			
MPa (kgf/cm ²)		0%	3.0%	7.0%	12.0%
Ceniza Volcánica	0%	6	0	0	0
	20%	0	6	6	6

	25%	0	6	6	6
	30%	0	6	6	6
	Total				60
28 DÍAS					
Concreto para resistencia de 37 (380)	Dióxido de Titanio				
MPa (kgf/cm ²)	0%	3.0%	7.0%	12.0%	
	0%	6	0	0	0
Ceniza Volcánica	20%	0	6	6	6
	25%	0	6	6	6
	30%	0	6	6	6
	Total				60

Nota: Muestra de ensayos a la compresión para el adoquín.

Son 180 testigos de adoquín para el ensayo de compresión axial, la investigación contempla 2 diferentes metodologías, por lo tanto, serian 360 testigos de adoquín.

Variación dimensional, se realizará 50 ensayos en 50 testigos de adoquín, la investigación contempla 2 diferentes metodologías, por lo tanto, serian 100 testigos de adoquín.

Ensayos de densidad relativa y absorción se realizan en 50 testigos de adoquín, la investigación contempla 2 diferentes metodologías, por lo tanto, serian 100 testigos de adoquín.

Ensayo de fotocatalisis se realizan 15 testigos de adoquín, la investigación contempla 2 diferentes metodologías, por lo tanto, serian 30 testigos de adoquín.

Cubriendo así todos los ensayos, generando 590 testigos de adoquines.

4.3.2. Cuantificación de ensayos a realizar

En la presente investigación se contempla los siguientes ensayos, que son base de todo el procedimiento necesario para el análisis de adoquines modificados.

Tabla 7
Ensayos para el Agregado

AGREGADOS NTP 400.037		
NORMA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
NTP 400.022:2021	AGREGADOS. Determinación de la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. Método de ensayo. 4a Edición	01
NTP 400.012:2021	AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino y grueso. Método de ensayo. 4a Edición	01
NTP 239.401:2020	AGREGADOS. Método de ensayo para la detección cualitativa de arcillas nocivas en agregados que utilizan azul de metileno	01
NTP 400.021:2020	AGREGADOS. Densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. Método de ensayo.	01
NTP 400.019:2020	AGREGADOS. Determinación de la resistencia al desgaste en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles. Método de ensayo	01
NTP 339.185:2021	AGREGADOS. Determinación del contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Método de ensayo. 3a Edición	01
ASTM C 1260-07	Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)	01

Nota: Listado de ensayos para agregado

Tabla 8
Ensayos para el diseño de Concreto de Alto Desempeño

PARA EL DISEÑO CONCRETO DE ALTO DESEMPEÑO		
NORMA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
NTP 400.017:2020	AGREGADOS. Método de ensayo para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados	01
NTP 339.185:2021	AGREGADOS. Determinación del contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Método de ensayo. 3a Edición	01
NTP 400.021:2020	AGREGADOS. Densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. Método de ensayo.	01
NTP 400.022:2021	AGREGADOS. Determinación de la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. Método de ensayo. 4a Edición	01
NTP 400.012:2021	AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino y grueso. Método de ensayo. 4a Edición	01

Nota: Listado de ensayos para el concreto de alto desempeño

Tabla 9
Ensayos para el cemento

PARA EL CEMENTO ADICIONADO NTP 334.090		
NORMA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
NTP 334.045:2018	CEMENTOS. Método de ensayo para determinar la finura del cemento Pórtland por el tamiz de 45 μm (No. 325)	01
NTP 334.067:2019	CEMENTOS. Método de ensayo para determinar la reactividad potencial alcalina de combinaciones cemento agregado. Método de la barra del mortero. 4a Edición	01

Nota: Listado de ensayos para el cemento

Tabla 10
Ensayos para el Concreto en estado Fresco

PARA EL CONCRETO EN ESTADO FRESCO		
NORMA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
NTP 339.035:2022	CONCRETO. Medición del asentamiento del concreto de cemento hidráulico. Método de ensayo. 5ª Edición	60
NTP 339.184:2021	CONCRETO. Determinación de la temperatura del concreto de cemento hidráulico recién mezclado. Método de ensayo. 3a Edición	60

Nota: Listado de ensayos para el concreto en estado fresco

Tabla 11
Ensayos para el Concreto en estado Endurecido

PARA EL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO		
NORMA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
NTP 399.605:2018	UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de ensayo para la determinación de la resistencia en compresión de prismas de albañilería. 3a Edición	360
Norma Italiana UNI 11259-2008	Determination of the photocatalytic activity of hydraulic binders - Rodamina test method	30
NTP 399.604:2002	UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto	100
NTP 339.187:2018	CONCRETO. Método de ensayo para determinar la densidad, absorción y porcentaje de vacíos en concreto endurecido. 2a Edición.	100

Nota: Listado de ensayos para el concreto en estado endurecido

4.3.3. Moldeado y compactado

Según Najjar (2021) la elaboración de los testigos de adoquines se realizó en las instalaciones del laboratorio CEDIICON ubicado detrás de la concretera ECOCRET en la ciudad de Arequipa, teniendo como finalidad obtener adoquines representativos con la fabricación actual.

Además, INDUMEI Ingeniería en la Industria (2023), menciona que el tiempo estimado de vibrado oscila entre 10 a 15 segundos para adoquines rectangulares de 10 cm x 20 cm con altura variable.

Como menciona Cervantes y Pilco (2020) realizaron la elaboración de adoquines de forma manual en el laboratorio de la universidad Católica de Santa María, con un molde de 5 adoquines y una compactadora manual, el procedimiento es el siguiente, se realizaron 25 golpes con la varilla de 3/8” en dos capas, seguido de golpes con el martillo de goma a los lados del molde y luego se compacto 15 veces con el operario de un lado y 15 veces del lado contrario.

Teniendo en cuantas las 3 bibliografías previas y que no existe un procedimiento estandarizado y normado, se propone el siguiente proceso:

1. Verter concreto hasta el 50% del molde.
2. Vibrar manualmente el concreto 15 veces de un lado y 15 veces del lado contrario con una varilla de 3/8" por cada adoquín.
3. Nivelar la mezcla durante 15 segundos con golpes laterales con el martillo de goma.
4. Verter el 50% de concreto restante.
5. Vibrar manualmente el concreto 15 veces de un lado y 15 veces del lado contrario con una varilla de 3/8" por cada adoquín.
6. Nivelar la mezcla durante 15 segundos con golpes laterales con el martillo de goma.
7. Compactar con 25 golpes haciendo uso de la prensa integrada en el molde de 6 adoquines.

Mantener dicho proceso para la elaboración de todos los especímenes para la presente investigación.

CAPÍTULO IV CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

5. Materiales

Los materiales utilizados son los siguientes:

- Cemento
- Agua
- Agregado Grueso
- Agregado Fino
- Ceniza Volcánica
- Dióxido de Titanio

5.1. Cemento

En la presente investigación se empleó Cemento Yura Multipropósito Tipo IP, el cual cumple con los estándares de calidad de la NTP 334.090, el cual es considerado un Cemento Portland Puzolánico"

Figura 2

Bolsa de cemento "Multipropósito Yura 1P"



Nota. Bolsa de cemento empleada. Adaptado de "Cemento Yura" por Yura S.A, 2024.

Tabla 12
Composición química del cemento

REQUISITOS		REQUISITOS NTP 334.090-2020 Y ASTM C595/C595M-20	CEMENTO YURA MULTIPROPOSITO TIPO IP
REQUISITO QUÍMICOS	UNIDAD		
Óxido de magnesio (MgO)	%	máximo 6.0	1.5 A 3.0
Trióxido de azufre (SO ₃)	%	máximo 4.0	1.5 A 3.0
Pérdida de ignición	%	máximo 5.0	1.5 A 4.0

Nota. Composición química del cemento. Adaptado de "Ficha Técnica Cemento Multipropósito IP" por Cemento Yura, 2024.

En la presente investigación se determinó el peso específico del cemento Yuro Tipo IP, a partir de la ASTM C-188.

Tabla 13
Determinación de peso específico del cemento

PESO ESPECÍFICO DE CEMENTO (PROCEDIMIENTO VOLUMÉTRICO)					
N° DE ENSAYOS	UND	1	2	3	PROMEDIO
PESO SUPERFICIALMENTE SECO (SSS)	S (g)	64.00	64.00	64.00	
LECTURA INICIAL MATRAZ LE CHATELIER	R1 (ml)	0.70	0.20	0.40	
LECTURA FINAL MATRAZ LE CHATELIER	R2 (ml)	22.90	22.30	22.90	
VARIACIÓN VOLUMÉTRICA	(cm ³)	22.20	22.10	22.50	
PESO ESPECIFICO DE GASOLINA (25°C)	(kg/m ³)	755.00	755.00	755.00	
PESO ESPECIFICO DE AGUA (25°C)	(g/cm ³)	0.997	0.997	0.997	
	(kg/m ³)	997.00	997.00	997.00	
PESO ESPECÍFICO	[]	2.892	2.905	2.853	2.883
DENSIDAD DE MASA SATURADA	(kg/m ³)	2882.88	2895.93	2844.44	2874.42

Nota. Peso Específico del cemento, 2024.

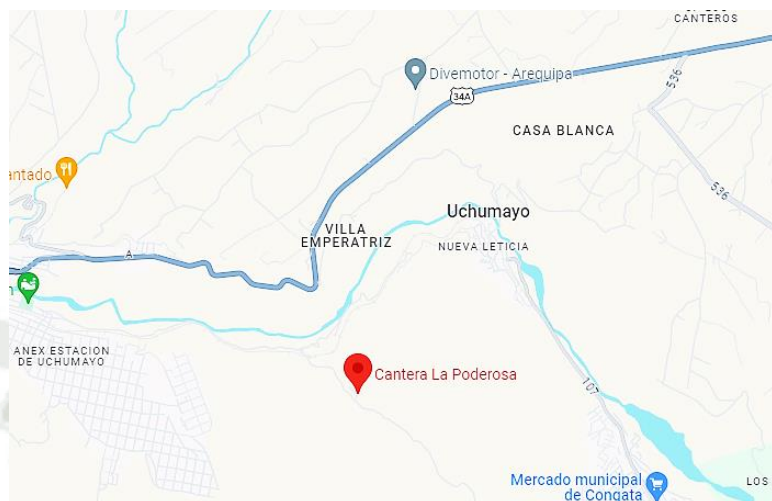
5.2. Agua

Para la presente investigación se utilizó agua potable suministrada por el Laboratorio de la UCSM el cual es proveído por la entidad de SEDAPAR.

5.3. Agregados

En la presente investigación se emplea el uso de agregado grueso de 3/8" y agregado fino, extraído de la cantera La Poderosa.

Figura 3
Ubicación de cantera



Nota. Ubicación de cantera. Adaptado de “Google Maps” para fines de la investigación, 2024.

5.4. Ceniza Volcánica

En la presente investigación se emplea el uso de ceniza volcánica, extraída del Volcán Ubinas, la cual se caracteriza a través de la norma NTP 334.104.

Según norma mencionada anteriormente, la ceniza volcánica ingresa dentro de la Clase N, la cual engloba las puzolanas naturales crudas. De acuerdo con Apaza et al. (2018), la composición química de la ceniza volcánica se caracteriza por una alta concentración de sílice (SiO_2), además de Al_2O_3 , Na_2O y CaO .

Figura 4
Ceniza Volcánica



Nota. Ceniza volcánica empleada para la sustitución parcial del cemento, 2024.

Además, según la NTP 334.104, el máximo % retenido es de 34%. Se empleó una (01) muestra de 50 g tras el respectivo muestreo.

En base a la muestra de 50 g, el peso del material pasante la malla #200 es 11.05 g. Se obtuvo una retención de 22.10%, siendo este un valor menor al límite mencionado en dicha norma, además, el contenido de humedad calculado fue de 2.82%.

Tabla 14

Tamaño de partícula de la ceniza volcánica y contenido de humedad

Finura de Ceniza Volcánica			
CVM-1	Peso inicial (g)	Peso Retenido (g)	Peso Ret (%)
	50.00	11.00	22.00
Contenido de Humedad de Ceniza Volcánica			
CVM-1	Peso inicial (g)	Peso Seco (g)	Humedad (%)
	1000.00	972.57	2.82

Nota. Determinación del tamaño de partícula y contenido de humedad, 2024.

En la presente investigación se determinó el peso específico de la ceniza volcánica extraída del volcán Ubinas.

Tabla 15

Determinación de peso específico de la ceniza volcánica

PESO ESPECÍFICO DE CENIZA VOLCANICA UBINAS (PROCEDIMIENTO VOLUMÉTRICO)							
Nº DE ENSAYOS	UND	1	2	3	PROMEDIO		
PESO SUPERFICIALMENTE SECO (SSS)	S	(g)	64.00	64.00		64.00	
LECTURA INICIAL MATRAZ LE CHATELIER	R1	(ml)	0.30	1.00		0.50	
LECTURA FINAL MATRAZ LE CHATELIER	R2	(ml)	21.80	22.30		21.00	
VARIACIÓN VOLUMÉTRICA		(cm ³)	21.50	21.30		20.50	
PESO ESPECIFICO DE GASOLINA (25°C)		(kg/m ³)	755.00	755.00		755.00	
PESO ESPECIFICO DE AGUA (25°C)		(g/cm ³)	0.997	0.997		0.997	
		(kg/m ³)	997.00	997.00		997.00	
PESO ESPECÍFICO		[]	2.986	3.014		3.131	3.044
DENSIDAD DE MASA SATURADA		(kg/cm ³)	2976.74	3004.69		3121.95	3034.46

Nota. Peso Específico de la ceniza volcánica, 2024.

5.5. Dióxido de Titanio

En la presente investigación se emplea el uso de dióxido de titanio (TiO₂), obtenido de la empresa VICCO.

Figura 5
Dióxido de Titanio



Nota. Dióxido de Titanio empleado para la sustitución parcial del cemento, 2024.

6. Propiedades físico-mecánicas del agregado grueso

6.1. Granulometría

Según los lineamientos de la NTP 400.012:2021, se procedió a realizar el presente ensayo considerando tres (03) muestras representativas de 2000g cada una las cuales fueron extraídas a partir del muestreo, para posteriormente ser tamizadas a través de las mallas de 1", 3/4", 3/8", #4, #8, tal y como se muestra en la Figura 6 y analizadas en dentro del huso 67.

Figura 6
Agregado grueso



Nota. Tamizado de agregado grueso por mallas reguladas según NTP.400.012

• MUESTRA 1

Tabla 16

Granulometría agregado grueso. Muestra 1

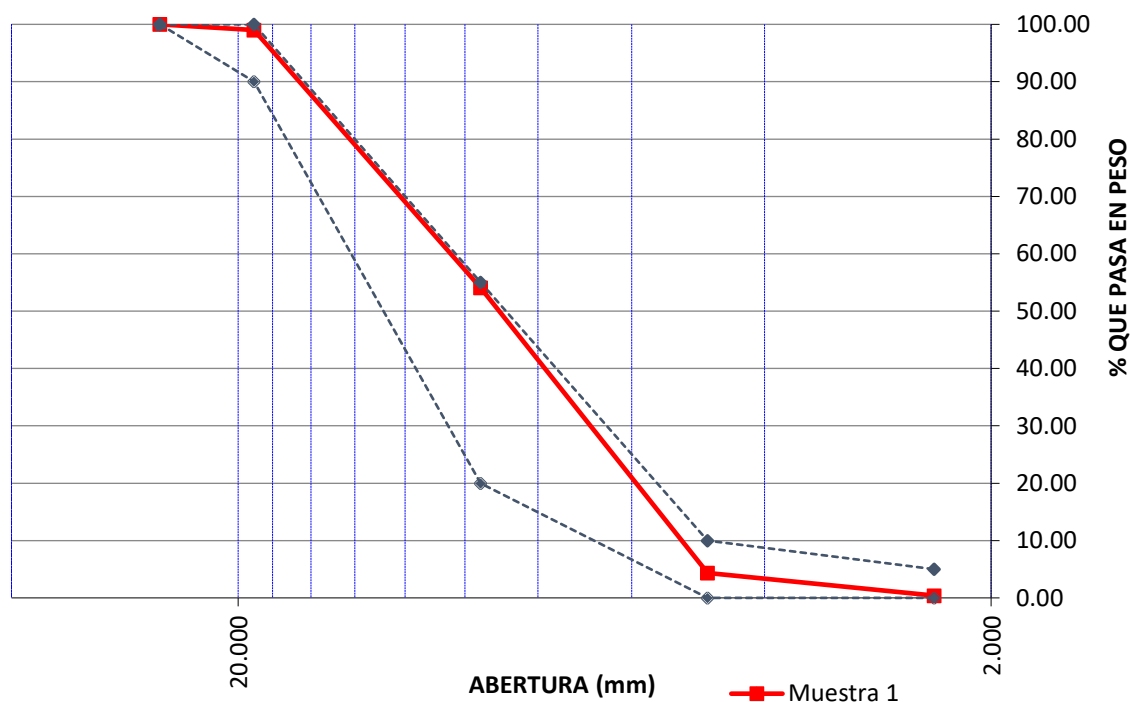
Tamices ASTM	Abertura en mm.	Peso Retenido (g)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	ESPECIFICACIÓN	
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3/4"	19.05	19.50	0.98	0.98	99.03	100	90
3/8"	9.53	898.50	44.93	45.90	54.10	55	20
N°4	4.76	995.50	49.78	95.68	4.33	10	0
N°8	2.38	78.50	3.93	99.60	0.40	5	0
Fondo		8.00	0.40	100.00	0.00		
Total		2,000.00	100.00				

Nota. Porcentajes de material pasante tras el respectivo tamizado de “Muestra 1” considerando el huso 67, 2024.

Figura 7

Curva granulométrica de agregado grueso. Muestra 1

CURVA GRANULOMÉTRICA



Nota. Curva Granulométrica de Agregado Grueso. Adaptado de Granulometría de Agregado “Muestra 1”, 2024.

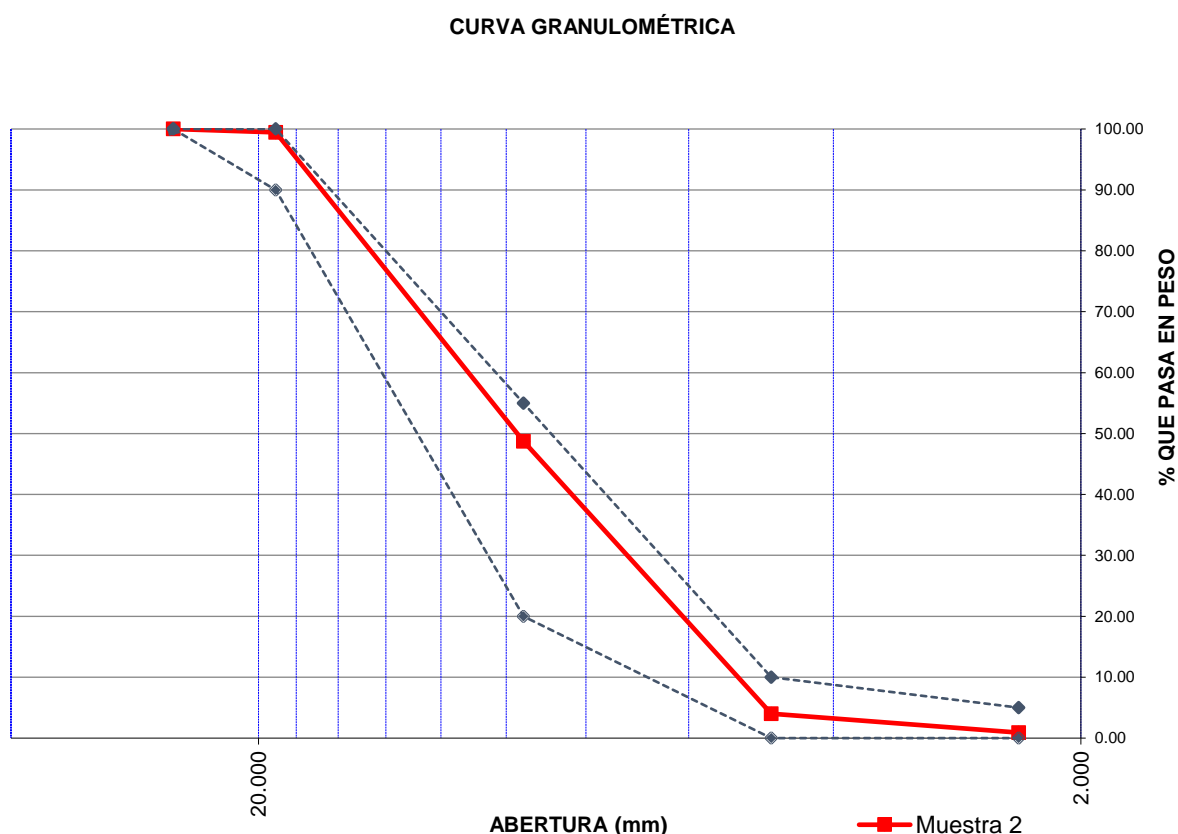
• MUESTRA 2

Tabla 17
Granulometría agregado grueso. Muestra 2

Tamices ASTM	Abertura en mm.	Peso Retenido (g)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	ESPECIFICACIÓN	
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3/4"	19.05	11.00	0.55	0.55	99.45	100	90
3/8"	9.53	1,014.50	50.73	51.28	48.73	55	20
N°4	4.76	894.50	44.73	96.00	4.00	10	0
N°8	2.38	62.00	3.10	99.10	0.90	5	0
Fondo		18.00	0.90	100.00	0.00		
Total		2,000.00	100.00				

Nota. Porcentajes de material pasante tras el respectivo tamizado “Muestra 2” considerando el huso 67, 2024.

Figura 8
Curva granulométrica de agregado grueso. Muestra 2



Nota. Curva Granulométrica de Agregado Grueso. Adaptado de Granulometría de Agregado “Muestra 2”, 2024.

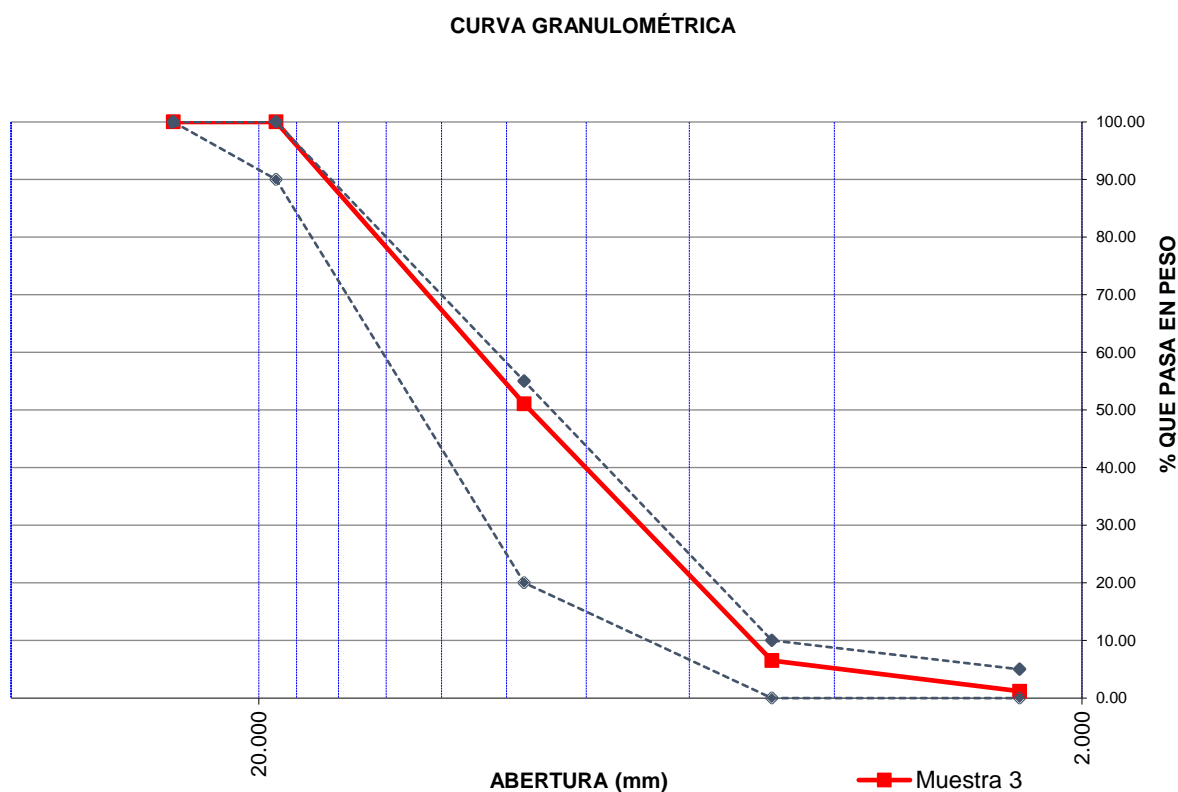
• MUESTRA 3

Tabla 18
Granulometría agregado grueso. Muestra 3

Tamices ASTM	Abertura en mm.	Peso Retenido (g)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	ESPECIFICACIÓN	
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00	100	90
3/8"	9.53	734.00	48.93	48.93	51.07	55	20
N°4	4.76	668.00	44.53	93.47	6.53	10	0
N°8	2.38	80.00	5.33	98.80	1.20	5	0
Fondo		18.00	1.20	100.00	0.00		
Total		1,500.00	100.00				

Nota. Porcentajes de material pasante tras el respectivo tamizado “Muestra 3” considerando el huso 67, 2024.

Figura 9
Curva granulométrica de agregado grueso. Muestra 3



Nota. Curva Granulométrica de Agregado Grueso. Adaptado de Granulometría de Agregado “Muestra 3”, 2024.

6.2. Peso unitario suelto

Según la NTP.400.017, se procedió a realizar el presente ensayo considerando tres (03) muestras representativas extraídas en estado natural a partir del muestreo, las cuales fueron se usaron para llenar el embace normado.

Figura 10

Ensayo de peso unitario suelto del agregado grueso



Nota. Pesado de muestra para la determinación del peso unitario suelto, 2024.

Teniendo en consideración las tres (03) muestras ensayadas se tuvo un promedio de P.U.S de 1.61 g/cm³.

Tabla 19

Peso unitario suelto del agregado grueso

Muestra		1	2	3
Peso de molde + muestra	(g)	19,628	19,622	19,593
Peso de molde	(g)	5,190	5,190	5,190
Peso de muestra	(g)	14,438	14,432	14,403
Volumen del molde	(cm ³)	8,960.11	8,960.11	8,960.11
Densidad	(g/cm ³)	1.611	1.611	1.607
P.U.S.		1.610	g/cm³	

Nota. Determinación de peso unitario suelto del agregado grueso, 2024

6.3. Peso unitario compactado

Según la NTP.400.017, se procedió a realizar el presente ensayo considerando tres (03) muestras representativas extraídas en estado natural a partir del muestreo. El llenado de este se realizó en tres partes proporcionales las cuales fueron seguidas de un varillado de 25 golpes para lograr el compactado deseado según norma.

Figura 11

Ensayo de peso unitario compactado del agregado grueso



Nota. Pesado de muestra para la determinación del peso unitario compactado, 2024.

Teniendo en consideración las tres (03) muestras ensayadas se tuvo un promedio de P.U.C de 1.604 g/cm³.

Tabla 20

Peso unitario compactado del agregado grueso

Muestra		1	2	3
Peso de molde + muestra	(g)	26,177	26,321	26,296
Peso de molde	(g)	11,294	11,294	11,294
Peso de muestra	(g)	14,883	15,027	15,002
Volumen del molde	(cm ³)	9,336.00	9,336.00	9,336.00
Densidad	(g/cm ³)	1.594	1.610	1.607
P.U.C.		1.604	g/cm³	

Nota. Determinación de peso unitario compactado del agregado grueso, 2024

6.4. Peso específico y absorción

Según la NTP 400.021:2020, Determinación de contenido de humedad. Se empleó tres (03) muestras de 2700g cada uno tras el respectivo muestreo.

Figura 12

Ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso



Nota. Ensayo de peso específico y absorción, 2024

En base a las 3 muestras de 2700 g cada una, se obtuvo como peso específico de masa 2.348 g/cm³, peso específico de masa saturada 2.490 g/cm³, peso específico aparente 2.737 g/cm³ y 6.05% de absorción, en promedio.

Tabla 21

Peso específico y absorción del agregado grueso

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN						
N° DE ENSAYOS	UND	1	2	3	PROMEDIO	
PESO SUPERFICIALMENTE SECO (SSS)	(g)	2 875.00	2 855.00	2 860.00		
PESO CANASTILLA SUMERGIDA	(g)	675.00	675.00	675.00		
PESO CANASTILLA + MATERIAL SUMERGIDO	(g)	2 395.00	2 385.00	2 385.00		
PESO DE MATERIAL SUMERGIDO	(g)	1 720.00	1 710.00	1 710.00		
PESO SECO	(g)	2 700.00	2 700.00	2 700.00		
PESO ESPECÍFICO DE MASA	(g/cm ³)	2.338	2.358	2.348	2.348	
PESO ESPECÍFICO DE MASA SATURADA (SSS)	(g/cm ³)	2.489	2.493	2.487	2.490	
PESO ESPECÍFICO APARENTE	(g/cm ³)	2.755	2.727	2.727	2.737	
% ABSORCIÓN	(%)	6.48%	5.74%	5.93%	6.05%	

Nota. Determinación de peso específico y absorción de agregado grueso, 2024.

6.5. Contenido de humedad

Según la NTP 339.185:2021, Determinación de contenido de humedad. Se empleó tres (03) muestras de 1500g cada una tras el respectivo muestreo, las cuales fueron pesadas inicialmente para luego ser secadas en el horno.

Figura 13

Ensayo de contenido de humedad del agregado grueso



Nota. Muestras con agregado grueso después de ser secadas, 2024

En base a las 3 muestras de agregado grueso se obtuvo 0.30 % de contenido de humedad en el agregado que se utilizará en el diseño de mezclas de la presente investigación.

Tabla 22

Contenido de humedad del agregado grueso

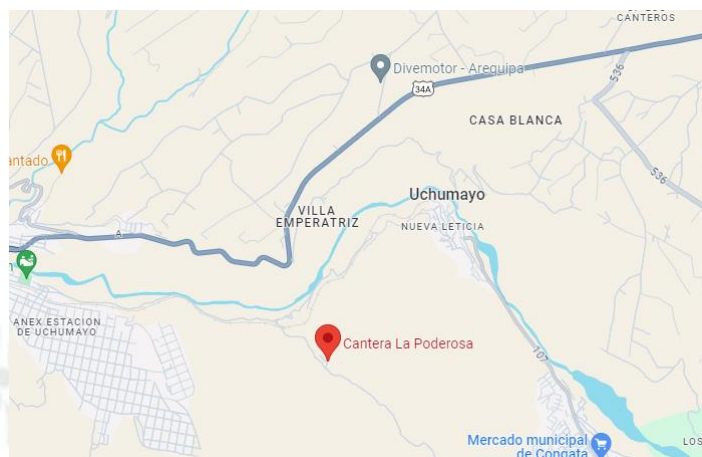
Muestra		1	2	3
Peso de molde	(g)	128.00	122.00	198.50
Peso de molde + muestra húmeda	(g)	1 628.00	1 622.00	1 698.50
Peso de molde + muestra seca	(g)	1 623.00	1 618.00	1 694.00
Peso del agua	(g)	5.00	4.00	4.50
Peso del suelo seco	(g)	1 495.00	1 496.00	1 495.50
Contenido de Humedad	(%)	0.33%	0.27%	0.30%
Contenido de Humedad		0.30%	g/cm³	

Nota. Determinación de contenido de humedad, 2024.

7. Propiedades físico-mecánicas del agregado fino

En la presente investigación se emplea el uso de agregado fino (arena gruesa) extraído de la cantera La Poderosa.

Figura 14
Ubicación de cantera de agregado fino



Nota. Adaptado de Google Maps. Para fines de la investigación, 2024

7.1. Granulometría

Según los lineamientos de la NTP 400.012:2021, se procedió a realizar el presente ensayo considerando dos (02) muestras representativas de 400g cada una las cuales fueron extraídas a partir del muestreo, para posteriormente ser tamizadas a través de las mallas de 3/8", #4, #8, #16, #30, #50, #100, #200 tal y como se muestra en la Figura 15.

Figura 15
Granulometría agregado fino



Nota. Agregado fino separado de acuerdo con el tamaño de partícula, 2024.

• MUESTRA 1

Tabla 23

Granulometría agregado fino. Muestra 1

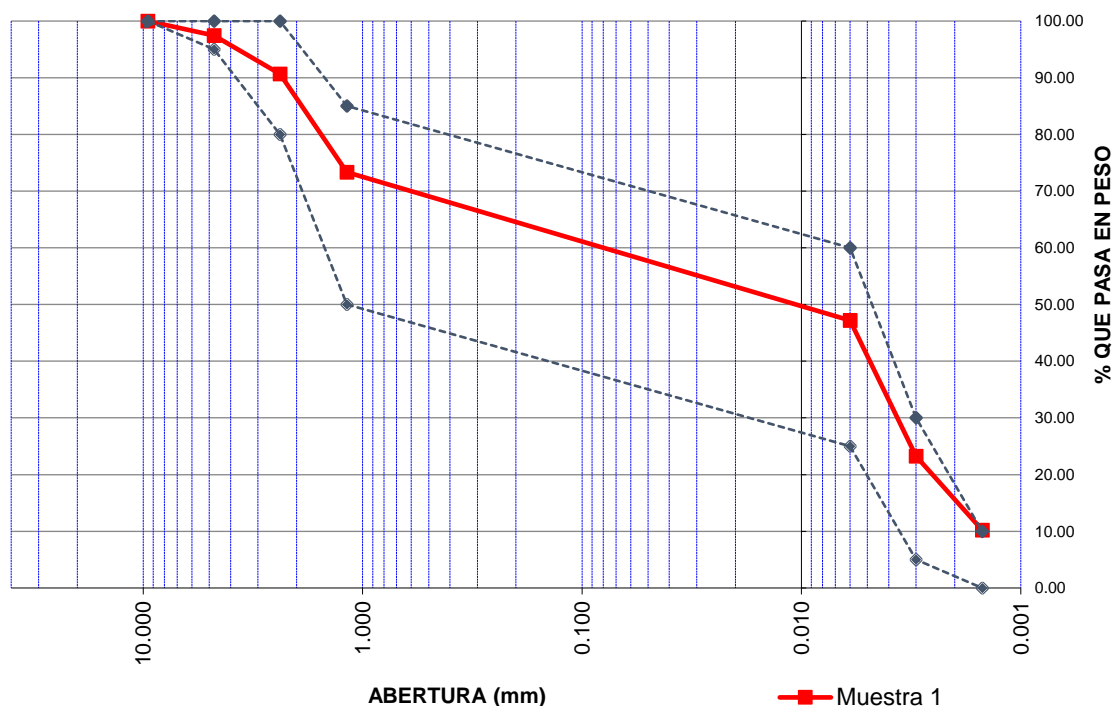
Tamices ASTM	Abertura en mm.	Peso Retenido (g)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	ESPECIFICACIÓN	
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
N°4	4.76	10.10	2.53	2.53	97.47	100	95
N°8	2.38	27.20	6.81	9.34	90.66	100	80
N°16	1.18	69.10	17.31	26.65	73.35	85	50
N°30	0.006	104.40	26.15	52.79	47.21	60	25
N°50	0.003	95.70	23.97	76.76	23.24	30	5
N°100	0.0015	52.00	13.02	89.78	10.22	10	0
N°200		26.90	6.74	96.52	3.48	0	0
Fondo		13.90	3.48	100.00	87.18		
Total		399.30	100.00				

Nota. Porcentajes de material pasante tras el respectivo tamizado “Muestra 1”, 2024.

Figura 16

Curva granulométrica de agregado fino. Muestra 1

CURVA GRANULOMÉTRICA



Nota. Curva Granulométrica de Agregado Fino. Adaptado de Granulometría de Agregado Fino “Muestra 1”, 2024.

• MUESTRA 2

Tabla 24

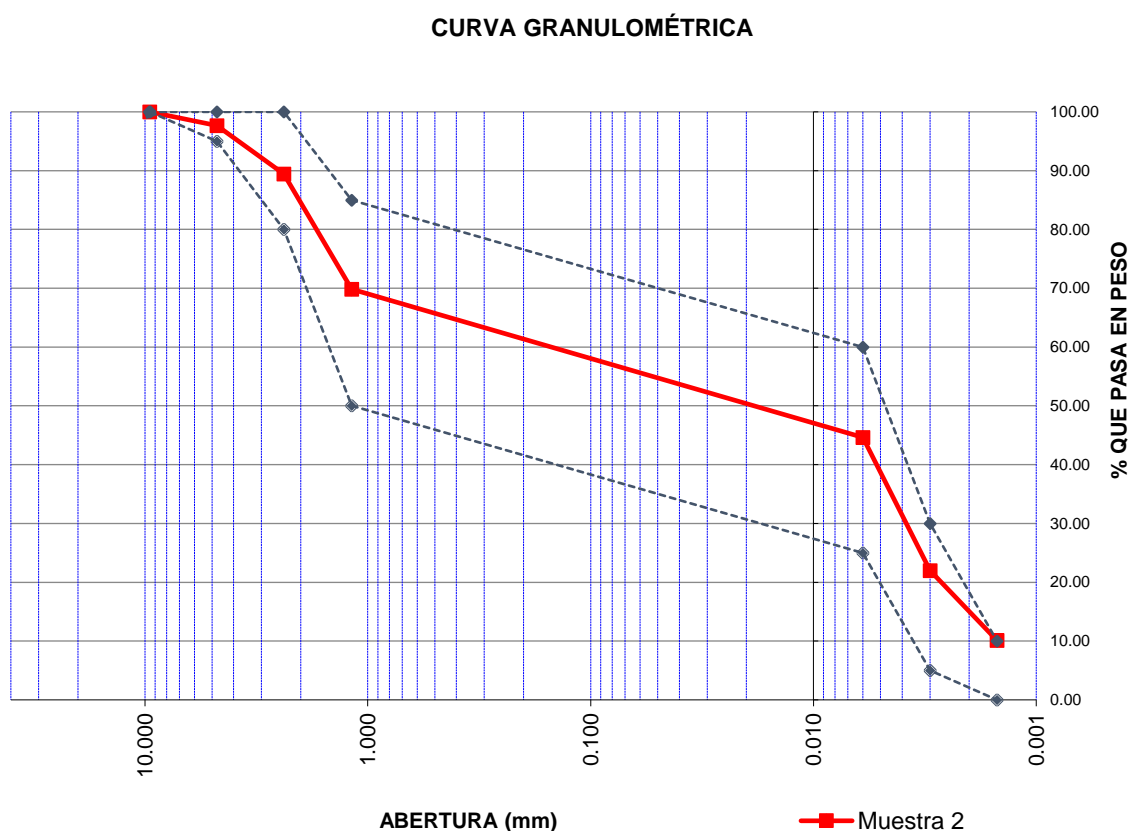
Granulometría agregado fino. Muestra 2

Tamices ASTM	Abertura en mm.	Peso Retenido (g)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	ESPECIFICACIÓN	
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
N°4	4.76	9.40	2.35	2.35	97.65	100	95
N°8	2.38	32.70	8.18	10.53	89.47	100	80
N°16	1.18	78.40	19.61	30.15	69.85	85	50
N°30	0.006	100.69	25.19	55.34	44.66	60	25
N°50	0.003	90.67	22.68	78.02	21.98	30	5
N°100	0.0015	47.44	11.87	89.89	10.11	10	0
N°200		29.80	7.46	97.35	2.65	0	0
Fondo		10.60	2.65	100.00	86.82		
Total		399.70	100.00				

Nota. Porcentajes de material pasante tras el respectivo tamizado “Muestra 2”, 2024.

Figura 17

Curva granulométrica de agregado fino. Muestra 2



Nota. Curva Granulométrica de Agregado Fino. Adaptado de Granulometría de Agregado Fino “Muestra 2”, 2024.

7.2. Azul de Metileno

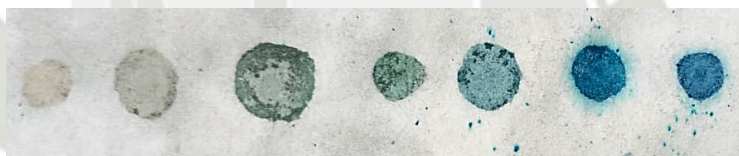
Con el objetivo de evaluar la presencia de arcillas dañinas en el agregado fino, se realizó el ensayo de azul de metileno según la norma NTP 239.401:2020. Se pesaron 10 gramos de la muestra seca pasante el tamiz N°200, que fue posteriormente agitada con 30 mL de agua destilada. A esta suspensión se le agregaron, en intervalos de un minuto, 0.5 mL de solución de azul de metileno hasta alcanzar el punto final.

Tabla 25
Ensayo de azul de metileno

Datos de ensayo de azul de metileno		
C	5	mg/mL
W	10	g
V	3.5	mL
VAM	1.75	mg/g

Nota. Datos del ensayo de azul de metileno, 2024.

Figura 18
Ensayo de peso unitario suelto del agregado grueso



Nota. Pesado de muestra para la determinación del peso unitario suelto, 2024.

Tabla 26
Ensayo de azul de metileno

Desempeño esperado de azul de metileno	
< 6	Excelente
10 - 12	Marginalmente aceptable
16 - 18	Problemas o posibles fallas
20 +	Fallas

Nota. Datos del ensayo de azul de metileno, 2024.

El valor del ensayo azul de metileno indicó un bajo contenido de arcillas en el agregado fino considerándose como un material con un desempeño esperado excelente, siendo esta una arena de río.

7.3. Peso unitario suelto

Según la NTP.400.017, se determinará el peso suelto unitario del agregado fino. Para lo cual tras el respectivo cuarteo se extrajeron tres (03) muestras.

Figura 19

Ensayo de peso unitario suelto del agregado fino



Nota. Pesado de muestra para la determinación del peso unitario suelto, 2024

Teniendo en consideración las tres (03) muestras ensayadas se tuvo un promedio de P.U.S de 1.221 g/cm³.

Tabla 27

Peso unitario suelto del agregado fino

Muestra		1	2	3
Peso de molde + muestra	(g)	5,179.00	5,177.50	5,171.50
Peso de molde	(g)	1,649.50	1,649.50	1,649.50
Peso de muestra	(g)	3,529.50	3,528.00	3,522.00
Volumen del molde	(cm ³)	2,887.11	2,887.11	2,887.11
Densidad	(g/cm ³)	1.22	1.22	1.22
P.U.S.		1.221	g/cm³	

Nota. Determinación de peso unitario suelto del agregado fino, 2024.

7.4. Peso unitario compactado

Según la NTP.400.017, se procedió a realizar el presente ensayo considerando tres (03) muestras representativas extraídas a partir del muestreo en estado natural. El llenado de este se realizó en tres partes proporcionales las cuales fueron seguidas de un varillado de 25 golpes para lograr el compactado deseado según norma.

Figura 20

Ensayo de peso unitario compactado del agregado fino



Nota. Pesado de muestra para la determinación del peso unitario compactado, 2024.

Teniendo en consideración las tres (03) muestras ensayadas se tuvo un promedio de P.U.C de 1.492 g/cm³.

Tabla 28

Peso unitario compactado del agregado fino

Muestra		1	2	3
Peso de molde + muestra	(g)	5,939.00	5,956.00	5,972.00
Peso de molde	(g)	1,649.50	1,649.50	1,649.50
Peso de muestra	(g)	4,289.50	4,306.50	4,322.50
Volumen del molde	(cm³)	2,887.11	2,887.11	2,887.11
Densidad	(g/cm³)	1.49	1.49	1.50
P.U.C.		1.492	g/cm³	

Nota. Determinación de peso unitario compactado del agregado fino, 2024.

7.5. Peso específico y absorción

Según la NTP 400.020:2020, Determinación de contenido de humedad. Se empleó dos (02) muestras de 500g cada uno tras el respectivo muestreo.

Figura 21

Ensayo de peso específico y absorción del agregado fino



Nota. Determinación de peso específico y absorción

En base a las 2 muestras de 500 g cada una, se obtuvo como peso específico de masa 2.120, peso específico de masa saturada 2,139 y densidad a, peso específico aparente 2.162 y 0.90 % de absorción, en promedio.

Tabla 29

Peso específico y absorción del agregado fino

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN (PROCEDIMIENTO VOLUMÉTRICO)							
N° DE ENSAYOS	UND	1	2	3	PROMEDIO		
PESO SUPERFICIALMENTE SECO (SSS)	S	(g)	55.00	55.10			55.00
LECTURA INICIAL MATRAZ LE CHATELIER	R1	(ml)	0.20	0.10			0.70
LECTURA FINAL MATRAZ LE CHATELIER	R2	(ml)	26.00	25.90			26.50
PESO SUPERFICIALMENTE SECO (SSS)	S	(g)	500.00	500.00			500.00
PESO SECO PARA ABS	A	(g)	495.45	495.60			495.55
VARIACIÓN VOLUMÉTRICA		(cm ³)	25.80	25.80			25.80
PESO ESPECÍFICO DE AGUA (25°C)		(g/cm ³)	0.997	0.997	0.997		
PESO ESPECÍFICO DE MASA		[]	2.119	2.123	2.119	2.120	
PESO ESPECÍFICO DE MASA SATURADA (SSS)		[]	2.138	2.142	2.138	2.139	
PESO ESPECÍFICO APARENTE		[]	2.161	2.164	2.160	2.162	

DENSIDAD DE MASA	Kg/m ³	2112.38	2116.87	2112.81	2114.02
DENSIDAD DE MASA SATURADA (SSS)	Kg/m ³	2131.78	2135.66	2131.78	2133.07
DENSIDAD APARENTE	Kg/m ³	2154.30	2157.54	2153.80	2155.21
% ABSORCIÓN	(%)	0.92%	0.89%	0.90%	0.90%

Nota. Determinación de peso específico y absorción, 2024.

7.6. Contenido de humedad

Según la NTP 339.185:2021, Determinación de contenido de humedad. Se empleó cinco (05) muestras de 50g cada uno tras el respectivo muestreo, las cuales fueron pesadas inicialmente para luego ser secadas en el horno.

Figura 22

Ensayo de contenido de humedad del agregado fino



Nota. Capsulas con agregado fino después de ser secadas, 2024

Teniendo en consideración las cinco (05) muestras ensayadas se tuvo un promedio de contenido de humedad del 3.10%.

Tabla 30

Contenido de humedad del agregado fino

Muestra		1	2	3	4	5
Peso de molde	(g)	14.00	14.15	13.98	14.31	14.11
Peso de molde + muestra húmeda	(g)	64.00	64.15	63.98	64.31	64.11
Peso de molde + muestra seca	(g)	62.55	62.63	62.47	62.77	62.62
Peso del agua	(g)	1.45	1.52	1.51	1.54	1.49
Peso del suelo seco	(g)	48.55	48.48	48.49	48.46	48.51
Contenido de Humedad	(%)	2.99%	3.14%	3.11%	3.18%	3.07%
Contenido de Humedad		3.10%				

Nota. Determinación del contenido de humedad del agregado fino, 2024.

CAPÍTULO V PREPARACIÓN DEL CONCRETO

1. Diseño de mezcla

1.1. Parámetros para el diseño de mezcla

Inicialmente se establecen parámetros según la función de los especímenes a ensayos, que en este caso son adoquines tipo II.

Tabla 31
Parámetro de selección para el diseño de mezcla

Descripción	Parámetros
Tipo de estructura	Losas y Pavimentos (Adoquines)
SLUMP	Mínimo (1")
Resistencia deseada	380 kgf/cm ²
Aditivo incorporadores de aire	Sin Aire Incorporado
Grado de exposición del agregado grueso	Normal

Nota. Selección de parámetros, 2024.

1.2. Características físicas del Agregado Fino

A partir de los ensayos realizados anteriormente, podemos obtener a manera de resumen los datos necesarios para el diseño de mezclas, tal y como se muestra a continuación:

Tabla 32
Resumen de características de Agregado Fino

Resumen de características del Agregado Fino	
Peso Específico Seco	2155 kgf/m ³
Módulo de Fineza	2.62
Porcentaje de Absorción	0.90 %
Porcentaje de Humedad	3.10 %

Nota. Características de Agregado Fino, 2024.

1.3. Características físicas del Agregado Grueso

Considerando a los ensayos que fue sometido el agregado grueso, se puede obtener como resumen los siguientes datos que son requeridos para la elaboración de los diseños de mezcla necesarios y estudiados en la presente investigación.

Tabla 33

Resumen de características de Agregado Grueso

Resumen de características del Agregado Grueso	
Tamaño Máximo	3/8"
Peso Específico Seco	2348 kgf/m ³
Peso Unitario Compactado Seco	1604 kgf/m ³
Porcentaje de Absorción	6.05 %
Porcentaje de Humedad	0.30 %

Nota. Características de Agregado Grueso, 2024.

1.4. Características del cemento

1.4.1. Tipo y Peso Específico

De acuerdo con las especificaciones proporcionadas en la ficha técnica del cemento empleado es que se aprecia las siguientes características:

Tabla 34

Características del Cemento

Características de Cemento	
Tipo de Cemento	Yura Tipo IP
Peso Específico	2.88

Nota. "Características del cemento", Adaptado de " Cemento Yura " por Yura S.A, 2024.

1.4.2. Finura del cemento

Según la NTP 334.045:2018, Determinación de la finura del cemento. Se empleó una (01) muestra de 50 g tras el respectivo muestreo.

Figura 23

Ensayo de finura del cemento



Nota. Ensayo de finura de cemento, 2024.

En base a la muestra de 50 g, el peso del material pasante la malla #200 es 0.83 g. Obteniendo así 98.34 % de finura, siendo este un valor mayor al mínimo mencionado en dicha norma.

1.5. Diseño Final de mezcla de Concreto por m³

1.5.1. Según Metodología ACI

Se establecieron parámetros y consideraciones iniciales como punto de partida para el desarrollo del presente diseño.

Tabla 35
Parámetros según Metodología ACI

Consideraciones según tablas de Metodología ACI	
Tipo de Construcción	LOSAS Y PAVIMENTOS
Asentamiento	MÁX. 3" - MÍN 1"
SLUMP	1 "
TMN A.G.	3/8 "
Contenido de Agua	207 LT/M3
Aire Atrapado	3 %
Relacion a/c	0.38
Volumen de A.G.	0.478

Nota. Determinación de diseño de mezcla según ACI, 2024.

Tabla 36
Cálculo de volúmenes absolutos para el agregado fino

Volúmenes Absolutos de Concreto		
Cemento	0.175	m3
Agregado Grueso	0.311	m3
Agua	0.207	m3
Airea	0.03	m3
Subtotal	0.723	m3
Vol. AF	0.277	m3

Nota. Determinación de volúmenes absolutos según ACI, 2024.

Tabla 37

Resumen de pesos obtenidos a partir de los volúmenes

Resumen de Pesos Secos		
Cemento	544.73	kgf
Agregado Fino	595.55	kgf
Agregado Grueso	766.71	kgf
Agua	207.00	kgf

Nota. Determinación de pesos según ACI, 2024.

Tabla 38

Corrección por humedad de agregados

Corrección por Humedad		
Agregado Fino	605.379	kgf
Agregado Grueso	769.012	kgf

Nota. Corrección por humedad de agregados según ACI, 2024.

Tabla 39

Corrección por absorción

Corrección por absorción		
Agregado Fino	-13.13	kgf
Agregado Grueso	44.03	kgf
Subtotal	30.90	kgf
Agua	207.00	kgf
Agua Efectiva	237.90	kgf

Nota. Corrección por absorción de agregados según ACI, 2024.

Finalmente, tras la corrección por absorción según la determinación del diseño de mezcla final a través de la metodología ACI, se tiene lo siguiente:

Tabla 40

Diseño de mezcla ACI x m³

Diseño de Mezcla por Metodología ACI		
Cemento	626.053	kgf
Agregado Fino	605.379	kgf
Agregado Grueso	769.012	kgf
Agua	237.900	kgf

Nota. Determinación de diseño de mezcla final según ACI, 2024.

Tabla 41
Dosificación según Metodología ACI x m³

Elemento	Dosificación
Cemento	1.00 K
Ag. Grueso	0.97 K
Ag. Fino	1.23 K
Agua	0.38 K

Nota. Determinación de dosificación final según ACI, 2024.

1.5.2. Según Modelo de Acomodo Compresible

Análisis de la relación de agregado grueso respecto al agregado fino, considerando los datos obtenidos del ensayo de granulometría, PUC y peso específico seco.

$$d = \begin{pmatrix} 38100 \\ 25400 \\ 19050 \\ 12700 \\ 9525 \\ 6400 \\ 4750 \\ 2381 \\ 1191 \\ 595 \\ 298 \\ 149 \\ 74 \end{pmatrix} \quad C_m = \begin{pmatrix} 0.683 \\ 0.683 \\ 0.683 \\ 0.683 \\ 0.683 \\ 0.683 \\ 0.683 \\ 0.691 \\ 0.691 \\ 0.691 \\ 0.691 \\ 0.691 \\ 0.691 \end{pmatrix} \quad ag = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.55 \\ 0 \\ 50.73 \\ 0 \\ 44.73 \\ 3.99 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad af = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.35 \\ 8.18 \\ 19.61 \\ 25.19 \\ 22.68 \\ 11.87 \\ 10.12 \end{pmatrix}$$

A partir de los datos anteriores se determina la combinación óptima de agregados según la máxima compacidad hallada a través de la curva generada por las mismas.

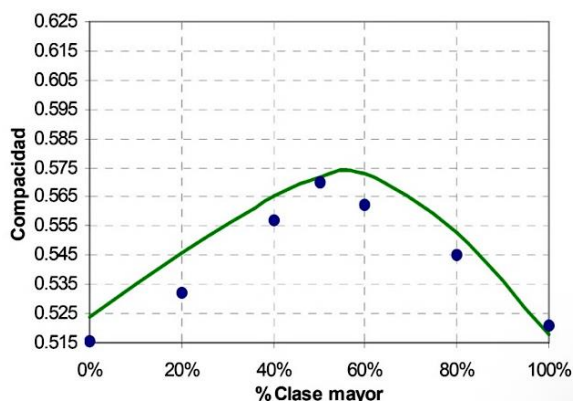
Tabla 42
Combinaciones de agregados según MAC

Combinación	Φ	K
1ra: 0% Ag + 100% Af	0.516	4.5
2da: 20% Ag + 80% Af	0.532	4.5
3ra: 40% Ag + 60% Af	0.557	4.5
4ta: 50% Ag + 50% Af	0.571	4.5
5ta: 60% Ag + 40% Af	0.562	4.5
6ta: 80% Ag + 20% Af	0.545	4.5
7ma: 100% Ag + 0% Af	0.521	4.5

Nota. Determinación de combinación óptima por medio de la compacidad máxima según MAC, 2024.

Figura 24

Curva de compacidad vs porcentaje óptimo de agregado grueso



Nota. Determinación que la combinación óptima es de 58% de agregado grueso y 42% de agregado fino, 2024.

El análisis de la relación a/c según Portugal Barriga (2007), refiere que la relación agua cemento recomendable para agregado grueso de TMN 3/8” es igual o menor a 0.35.

Donde, la relación agua-cemento planteada en concretos de alto desempeño encuentra una sólida base en investigaciones como el Programa Estratégico de Investigación de Carreteras (SHRP) y el Prestressed Concrete Institute, pues al reducir la cantidad de agua en la mezcla, se minimiza la porosidad del material, lo que a su vez incrementa su durabilidad y resistencia a la penetración. Para relaciones de a/c en peso, se buscó diferentes cantidades de agua hasta obtener el mejor asentamiento posible, donde resalta como relación óptima de a/c el valor de 0.35, (Nuñez y Yapuchura, 2019).

A partir de ello se determina el volumen de agregado.

Tabla 43

Volumen de Agregados

Volumen de Agregados	
Vol. Agua	0.2076
Vol. Cemento	0.2060
Vol. Aire	0.0300
Subtotal	0.4436
Vol. Agregados	0.5564

Nota. Determinación de volúmenes según MAC, 2024.

Tabla 44

Resumen de pesos obtenidos a partir de los volúmenes

Resumen de pesos		
Agua	207	L
Cemento	591.43	kgf
Ag. Fino	531.685	kgf
Ag. Grueso	734.231	kgf

Nota. Determinación de pesos según MAC, 2024.

Tabla 45

Corrección por humedad de agregados para MAC

Corrección por Humedad		
Agregado Fino	548.167	kgf
Agregado Grueso	736.434	kgf

Nota. Corrección por humedad de agregados según MAC, 2024.

Tabla 46

Corrección por absorción para MAC

Corrección por absorción		
Agregado Fino	-11.72	kgf
Agregado Grueso	42.22	kgf
Subtotal	30.50	kgf
Agua	207.00	kgf
Agua Efectiva	237.50	kgf

Nota. Corrección por absorción de agregados según MAC, 2024.

Finalmente, tras la corrección por absorción según la determinación del diseño de mezcla final a través de la metodología MAC, conservando la combinación de agregados determinada inicialmente, se tiene lo siguiente:

Tabla 47

Diseño de mezcla MAC x m³

Diseño de Mezcla por Metodología MAC		
Cemento	678.57	kgf
Agregado Fino	539.53	kgf
Agregado Grueso	745.07	kgf
Agua	237.50	kgf

Nota. Determinación de diseño de mezcla final según MAC, 2024.

2. Determinación de asentamiento y temperatura de adoquines

Se realizó la respectiva determinación de asentamiento (SLUMP) y temperatura de concreto en estado fresco por cada vaciado que genera 6 adoquines, es decir se obtuvieron un total de 60 resultados, a partir de los cuales se obtuvo lo siguiente:

Tabla 48

Asentamiento y temperatura del concreto en estado fresco

Asentamiento (") y temperatura (C°) de adoquines											
N°	Slump	Temp.	N°	Slump	Temp.	N°	Slump	Temp.	N°	Slump	Temp.
1	1"	19.3	16	0"	18.9	31	0"	19.2	46	1"	19.1
2	0"	18.8	17	0"	18.9	32	0"	19.2	47	1"	19.1
3	0"	19.1	18	0"	18.9	33	0"	19.2	48	0"	19.1
4	0"	19.1	19	0"	19.1	34	1"	19.2	49	0"	19.1
5	0"	19.3	20	0"	19.1	35	0"	19.3	50	0"	19.1
6	0"	18.9	21	0"	19.1	36	0"	19.3	51	0"	19.1
7	0"	18.9	22	0"	19.1	37	0"	19.3	52	0"	19.1
8	0"	18.9	23	0"	19.1	38	0"	18.9	53	0"	19.2
9	1"	18.9	24	1"	18.9	39	0"	18.9	54	0"	19.2
10	0"	18.9	25	1"	18.9	40	0"	18.9	55	0"	19.2
11	0"	18.8	26	0"	19.3	41	0"	18.9	56	0"	18.9
12	0"	18.8	27	0"	19.3	42	0"	18.9	57	1"	18.9
13	0"	19.1	28	0"	19.3	43	0"	18.9	58	0"	18.9
14	1"	19.1	29	0"	19.2	44	0"	18.9	59	0"	19.3
15	1"	19.1	30	0"	19.2	45	1"	18.9	60	0"	19.3
Asentamiento promedio (")								0.15"			
Temperatura promedio (C°)								19.06 °C			

Nota. Determinación de asentamiento y temperatura de concreto en estado fresco, 2024.

Figura 25

Determinación de asentamiento de concreto en estado fresco



Nota. Determinación de asentamiento de concreto en estado fresco, 2024.

Figura 26

Determinación de temperatura de concreto en estado fresco



Nota. Determinación de temperatura de concreto en estado fresco, 2024.

En base a la recolección de datos obtenidos para la determinación de slump y temperatura del concreto en estado fresco, se determinó que el slump promedio es de 0.15” a una temperatura estándar de 19 °C.

3. Tolerancia dimensional

Mediante el uso de vernier, se realizó la medición de dimensiones correspondiente a 100 muestras de adoquines.

Tabla 49

Determinación de tolerancia dimensional en adoquines(mm)

DISEÑO	DESCRIP.	CANT.	C. NOMINAL	VARIACIÓN
DISEÑO	Largo	200.46	200.00	0.46
PATRON	Ancho	100.08	100.00	0.08
ACI	Espesor	80.42	80.00	0.42
DISEÑO	Largo	200.18	200.00	0.18
PATRON	Ancho	100.14	100.00	0.14
MAC	Espesor	79.96	80.00	-0.04
	Largo	200.70	200.00	0.7
ACI 3-20	Ancho	99.78	100.00	-0.22
	Espesor	79.98	80.00	-0.02
	Largo	200.38	200.00	0.38
MAC 3-20	Ancho	100.02	100.00	0.02
	Espesor	80.16	80.00	0.16
	Largo	199.82	200.00	-0.18
ACI 3-25	Ancho	99.72	100.00	-0.28
	Espesor	79.64	80.00	-0.36
	Largo	199.86	200.00	-0.14
MAC 3-25	Ancho	100.16	100.00	0.16
	Espesor	79.96	80.00	-0.04

DISEÑO	DESCRIP.	CANT.	C. NOMINAL	VARIACIÓN
ACI 3-30	Largo	199.94	200.00	-0.06
	Ancho	100.04	100.00	0.04
	Espesor	79.84	80.00	-0.16
MAC 3-30	Largo	200.18	200.00	0.18
	Ancho	99.88	100.00	-0.12
	Espesor	80.40	80.00	0.4
ACI 7-20	Largo	199.78	200.00	-0.22
	Ancho	100.00	100.00	0
	Espesor	79.80	80.00	-0.2
MAC 7-20	Largo	199.88	200.00	-0.12
	Ancho	100.38	100.00	0.38
	Espesor	80.14	80.00	0.14
ACI 7-25	Largo	200.28	200.00	0.28
	Ancho	99.98	100.00	-0.02
	Espesor	80.34	80.00	0.34
MAC 7-25	Largo	199.82	200.00	-0.18
	Ancho	99.86	100.00	-0.14
	Espesor	80.22	80.00	0.22
ACI 7-30	Largo	200.04	200.00	0.04
	Ancho	100.10	100.00	0.1
	Espesor	79.98	80.00	-0.02
MAC 7-30	Largo	199.94	200.00	-0.06
	Ancho	100.02	100.00	0.02
	Espesor	80.16	80.00	0.16
ACI 12-20	Largo	199.86	200.00	-0.14
	Ancho	100.44	100.00	0.44
	Espesor	79.94	80.00	-0.06
MAC 12-30	Largo	200.00	200.00	0
	Ancho	99.64	100.00	-0.36
	Espesor	79.76	80.00	-0.24
ACI 12-25	Largo	199.66	200.00	-0.34
	Ancho	100.18	100.00	0.18
	Espesor	80.34	80.00	0.34
MAC 12-25	Largo	200.18	200.00	0.18
	Ancho	100.00	100.00	0
	Espesor	79.94	80.00	-0.06
ACI 12-30	Largo	200.10	200.00	0.1
	Ancho	99.62	100.00	-0.38
	Espesor	79.80	80.00	-0.2
MAC 12-30	Largo	199.94	200.00	-0.06
	Ancho	100.08	100.00	0.08
	Espesor	79.64	80.00	-0.36

Nota. Determinación de la tolerancia dimensional de adoquines, 2024.

De acuerdo con los datos encontrados se puede apreciar que la mayor variación en el largo es de 0.7mm, en el ancho es de 0.44mm y en el espesor es de 0.42mm, siendo así que estos valores se encuentren dentro de lo establecido según normativa.

4. Absorción de adoquines

Se realizó el ensayo de absorción normado por la NTP 399.604, donde se evaluó la capacidad del adoquín para absorber agua tal y como se observa en la Tabla N°50.

Tabla 50

Determinación de absorción en adoquines

DISEÑO	ABSORCIÓN PROMEDIO	
	KGF/M3	(%)
PATRON ACI	119.55	5.4%
PATRON MAC	112.72	5.1%
ACI 3-20	112.45	5.0%
MAC 3-20	109.26	4.9%
ACI 3-25	109.45	5.0%
MAC 3-25	119.81	5.4%
ACI 3-30	131.89	6.1%
MAC 3-30	128.00	5.9%
ACI 7-20	112.52	5.1%
MAC 7-20	113.46	5.2%
ACI 7-25	118.30	5.4%
MAC 7-25	118.72	5.4%
ACI 7-30	129.54	6.0%
MAC 7-30	129.94	6.1%
ACI 12-20	129.58	6.0%
MAC 12-20	130.35	6.1%
ACI 12-25	133.21	6.2%
MAC 12-25	132.97	6.2%
ACI 12-30	132.62	6.2%
MAC 12-30	130.92	6.1%

Nota. Ensayo de absorción en adoquines, 2024.

El análisis de los datos revela que la mayoría de las muestras de adoquines evaluadas se encuentran dentro del rango de absorción de agua permitido por la norma, no superando el 6%. Sin embargo, se identificaron ciertas excepciones, principalmente en aquellos especímenes con una mayor proporción de sustitución de dióxido y ceniza.

5. Análisis del ensayo de resistencia a la compresión

5.1. Ensayo de resistencia a la compresión a los 7, 14, 28 días de un concreto portland convencional

A continuación, se muestra la resistencia a la compresión de probetas de concreto a la edad de 7, 14 y 28 días, teniendo como análisis para el porcentaje de 0% de TiO₂ con 0% de Ceniza Volcánica, siendo este un concreto portland convencional bajo las metodologías ACI y Modelo de Acomodo Compresible, teniendo un total de 18 Roturas de adoquines.

Figura 27

Rotura de especímenes de adoquines a los 7 días de edad



Nota. Ensayo de compresión de adoquines a los 7 días, 2024.

Figura 28

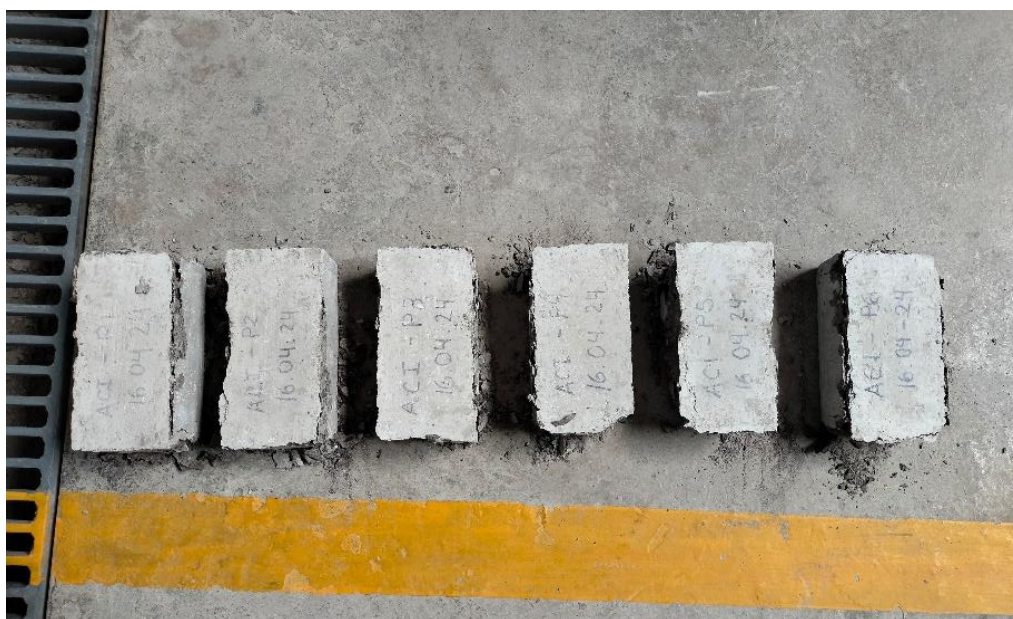
Rotura de especímenes de adoquines a los 14 días de edad



Nota. Ensayo de compresión de adoquines a los 14 días, 2024.

Figura 29

Rotura de especímenes de adoquines a los 28 días de edad



Nota. Ensayo de compresión de adoquines a los 28 días, 2024.

En la Figura 27, 28 y 29 se puede apreciar que los resultados de compresión han sido los mostrados a continuación según la Tabla 51 y Tabla 52.

Tabla 51

Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines a la edad de 7, 14 y 28 días (ACI)

Especímen	Ceniza Volcánica	TiO ₂	Edades		
			7d	14d	28d
ACI 1 al 18	0%	0%	306.17	476.02	549.18
			300.48	507.14	536.91
			302.79	420.12	533.87
			304.27	471.34	596.13
			306.02	560.60	507.14
			325.39	555.42	564.25
Promedio según ACI (kgf/cm²)			307.52	498.44	547.91

Nota. Determinación de la resistencia a la compresión en adoquines convencionales mediante la metodología ACI, 2024.

Tabla 52

Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines a la edad de 7, 14 y 28 días (MAC)

Especímen	Ceniza Volcánica	TiO2	Edades		
			7d	14d	28d
MAC 1 al 18	0%	0%	320.00	370.19	348.68
			376.47	402.73	368.78
			471.89	382.42	460.97
			384.54	247.64	441.91
			504.55	375.85	409.09
			504.55	344.45	465.46
Promedio según MAC (kgf/cm²)			408.35	353.88	415.81

Nota. Determinación de la resistencia a la compresión en adoquines convencionales mediante la metodología MAC, 2024.

De acuerdo con los datos encontrados se puede apreciar que en primera estancia la mejor metodología de reemplazo a edades de 7, 14 y 28 días para el TiO2 de 0% es 0% en ceniza volcánica es la metodología ACI.

5.2. Ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días al 3% de TiO2

A continuación, se muestra la resistencia a la compresión de probetas de concreto a la edad de 7 días, teniendo como análisis para el porcentaje de 3% de TiO2 con 20%, 25% y 30% de Ceniza Volcánica, teniendo un total de 36 Roturas de adoquines.

Figura 30

Rotura de especímenes de adoquines a los 7 días de edad



Nota. Ensayo de compresión de adoquines, 2024.

En la Figura 30 se puede apreciar que los resultados de compresión han sido los mostrados a continuación según la Tabla 53 y Tabla 54.

Tabla 53

Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines a la edad de 7 días (ACI)

Espécimen	Edad	TiO ₂	Ceniza Volcánica			
			0%	20%	25%	30%
ACI-13	7 días	3%		297.17	289.70	225.04
ACI-14				279.45	267.89	232.74
ACI-15				297.34	250.81	221.04
ACI-16				244.06	257.57	245.21
ACI-17				263.10	232.22	247.27
ACI-18				276.16	251.17	257.47
Promedio según ACI (kgf/cm²)				276.21	258.22	238.12

Nota. Ensayo de compresión de adoquines con adición de 3% a los 7 días (ACI), 2024.

Tabla 54

Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines a la edad de 7 días (MAC)

Espécimen	Edad	TiO ₂	Ceniza Volcánica			
			0%	20%	25%	30%
MAC-13	7 días	3%		241.02	243.54	261.07
MAC-14				219.08	185.78	290.77
MAC-15				254.29	206.35	261.95
MAC-16				250.25	276.15	313.44
MAC-17				204.62	242.67	311.82
MAC-18				266.49	251.83	262.22
Promedio según MAC (kgf/cm²)				239.29	234.39	283.54

Nota. Ensayo de compresión de adoquines con adición de 3% a los 7 días (MAC), 2024.

De acuerdo con los datos encontrados se puede apreciar que en primera estancia el mejor porcentaje de reemplazo a una edad de 7 días para el TiO₂ de 3% es 30% en ceniza volcánica mediante el uso de la metodología MAC.

5.3. Ensayo de resistencia a la compresión a los 14 días al 3% de TiO₂

A continuación, se muestra la resistencia a la compresión de probetas de concreto a la edad de 14 días, teniendo como análisis para porcentajes de 3% de TiO₂ con 20%, 25% y 30% de Ceniza Volcánica, teniendo un total de 36 Roturas de adoquines.

Figura 31

Rotura de especímenes de adoquines a los 14 días de edad



Nota. Ensayo de compresión de adoquines, 2024.

En la Figura 31 se puede apreciar que los resultados de compresión han sido los mostrados a continuación según la Tabla 55 y Tabla 56.

Tabla 55

Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines a la edad de 14 días (ACI)

Especímen	Edad	TiO ₂	Ceniza Volcánica			
			0%	20%	25%	30%
ACI-P7	14 días	3%		393.72	275.39	278.58
ACI-P8				354.03	294.94	256.01
ACI-P9				334.20	332.36	150.81
ACI-P10				338.31	346.44	288.99
ACI-P11				261.10	309.94	296.64
ACI-P12				264.48	333.98	289.04
Promedio según ACI (kgf/cm²)				324.31	315.50	260.01

Nota. Ensayo de compresión de adoquines con adición de 3% a los 14 días (ACI), 2024.

Tabla 56

Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines a la edad de 14 días (MAC)

Especímen	Edad	TiO2	Ceniza Volcánica			
			0%	20%	25%	30%
MAC-P7	14 días	3%		309.18	343.47	329.82
MAC-P8				330.97	341.21	259.17
MAC-P9				308.30	333.16	356.12
MAC-P10				382.39	338.54	309.14
MAC-P11				359.23	333.60	311.22
MAC-P12				368.03	325.68	338.14
Promedio según MAC (kgf/cm²)				343.01	335.94	317.27

Nota. Ensayo de compresión de adoquines con adición de 3% a los 14 días (MAC), 2024.

De acuerdo con los datos encontrados se puede apreciar que en primera estancia el mejor porcentaje de reemplazo a una edad de 14 días para el TiO2 de 3% es 20% en ceniza volcánica mediante el uso de la metodología MAC.

5.4. Ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días al 3% de TiO2

A continuación, se muestra la resistencia a la compresión de probetas de concreto a la edad de 28 días, teniendo como análisis para el porcentaje de 3% de TiO2 con 20%, 25% y 30% de Ceniza Volcánica, teniendo un total de 36 Roturas de adoquines.

Figura 32

Rotura de especímenes de adoquines a los 28 días de edad



Nota. Ensayo de compresión de adoquines, 2024.

En la Figura 32 se puede apreciar que los resultados de compresión han sido los mostrados a continuación según la Tabla 57 y 58.

Tabla 57

Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines a la edad de 28 días

Especímen	Edad	TiO ₂	Ceniza Volcánica			
			0%	20%	25%	30%
ACI-P1	28 días	3%		258.39	369.79	386.93
ACI-P2				275.00	319.08	387.85
ACI-P3				316.02	348.57	403.46
ACI-P4				301.07	346.20	338.31
ACI-P5				322.01	303.09	420.60
ACI-P6				325.31	278.68	372.19
Promedio según ACI (kgf/cm²)				299.63	327.57	384.89

Nota. Ensayo de compresión de adoquines con adición de 3% a los 28 días (ACI), 2024.

Tabla 58

Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines a la edad de 28 días (MAC)

Especímen	Edad	TiO ₂	Ceniza Volcánica			
			0%	20%	25%	30%
MAC-P1	28 días	3%		393.93	369.70	380.03
MAC-P2				377.55	389.01	371.41
MAC-P3				388.38	372.61	389.51
MAC-P4				379.38	404.40	378.65
MAC-P5				330.52	423.11	400.68
MAC-P6				365.37	413.79	332.91
Promedio según MAC (kgf/cm²)				372.52	395.44	375.53

Nota. Ensayo de compresión de adoquines con adición de 3% a los 28 días (MAC), 2024.

De acuerdo con los datos encontrados se puede apreciar que en primera estancia el mejor porcentaje de reemplazo a una edad de 28 días para el TiO₂ de 3% es 25% en ceniza volcánica mediante el uso de la metodología MAC.

5.5. Ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días al 7% de TiO₂

A continuación, se muestra la resistencia a la compresión de probetas de concreto a la edad de 7 días, teniendo como análisis para el porcentaje de 7% de TiO₂ con 20%, 25% y 30% de Ceniza Volcánica, teniendo un total de 36 Roturas de adoquines.

Figura 33

Rotura de especímenes de adoquines a los 7 días de edad



Nota. Ensayo de compresión de adoquines, 2024.

En la Figura 33 se puede apreciar que los resultados de compresión han sido los mostrados a continuación según la Tabla 59 y 60.

Tabla 59

Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines a la edad de 7 días

Especímen	Edad	TiO ₂	Ceniza Volcánica			
			0%	20%	25%	30%
ACI-P13	7 días	7%		215.78	106.61	174.24
ACI-P14			245.10	192.90	227.99	
ACI-P15			131.68	222.51	253.93	
ACI-P16			202.49	208.31	254.38	
ACI-P17			208.27	214.52	217.15	
ACI-P18			232.51	228.33	216.65	
Promedio según ACI (kgf/cm²)				205.97	195.53	224.05

Nota. Ensayo de compresión de adoquines con adición de 7% a los 7 días (ACI), 2024.

Tabla 60

Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines a la edad de 7 días

Especímen	Edad	TiO ₂	Ceniza Volcánica			
			0%	20%	25%	30%
MAC-P13				289.16	222.79	293.30
MAC-P14				346.22	224.77	315.42
MAC-P15	7 días	7%		349.85	212.68	314.09
MAC-P16				338.08	232.14	297.94
MAC-P17				287.12	245.46	303.58
MAC-P18				348.24	263.18	310.90
Promedio según MAC (kgf/cm²)				326.44	233.50	305.87

Nota. Ensayo de compresión de adoquines con adición de 7% a los 7 días (MAC), 2024.

De acuerdo con los datos encontrados se puede apreciar que en primera estancia el mejor porcentaje de reemplazo a una edad de 7 días para el TiO₂ de 7% es 20% en ceniza volcánica mediante el uso de la metodología MAC.

5.6. Ensayo de resistencia a la compresión a los 14 días al 7% de TiO₂

A continuación, se muestra la resistencia a la compresión de probetas de concreto a la edad de 14 días, teniendo como análisis para el porcentaje de 7% de TiO₂ con 20%, 25% y 30% de Ceniza Volcánica, teniendo un total de 36 Roturas de adoquines.

Figura 34

Rotura de especímenes de adoquines a los 14 días de edad



Nota. Ensayo de compresión de adoquines, 2024.

En la Figura 34 se puede apreciar que los resultados de compresión han sido los mostrados a continuación según la Tabla 61 y Tabla 62.

Tabla 61

Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines a la edad de 14 días

Especímen	Edad	TiO ₂	Ceniza Volcánica			
			0%	20%	25%	30%
ACI-P7	14 días	7%		325.57	386.05	290.60
ACI-P8				330.01	327.98	288.89
ACI-P9				344.52	326.38	296.31
ACI-P10				312.41	354.33	297.12
ACI-P11				279.42	324.59	282.17
ACI-P12				335.66	327.82	271.53
Promedio según ACI (kgf/cm²)				321.26	341.19	287.77

Nota. Ensayo de compresión de adoquines con adición de 7% a los 14 días (ACI), 2024.

Tabla 62

Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines a la edad de 14 días

Especímen	Edad	TiO ₂	Ceniza Volcánica			
			0%	20%	25%	30%
MAC-P7	14 días	7%		314.05	368.12	316.81
MAC-P8				335.75	389.32	312.03
MAC-P9				272.84	379.88	336.99
MAC-P10				355.30	368.40	309.72
MAC-P11				363.62	394.31	332.93
MAC-P12				298.63	370.85	284.46
Promedio según MAC (kgf/cm²)				323.36	378.48	315.49

Nota. Ensayo de compresión de adoquines con adición de 7% a los 14 días (MAC), 2024.

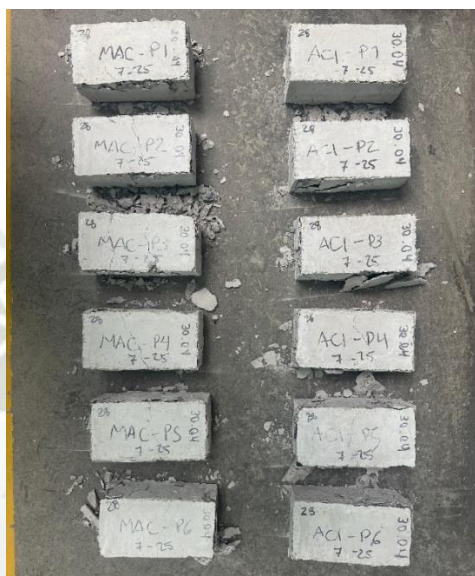
De acuerdo con los datos encontrados se puede apreciar que en primera estancia el mejor porcentaje de reemplazo a una edad de 14 días para el TiO₂ de 7% es 25% en ceniza volcánica mediante el uso de la metodología MAC.

5.7. Ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días al 7% de TiO₂

A continuación, se muestra la resistencia a la compresión de probetas de concreto a la edad de 28 días, teniendo como análisis para el porcentaje de 7% de TiO₂ con 20%, 25% y 30% de Ceniza Volcánica, teniendo un total de 36 Roturas de adoquines.

Figura 35

Rotura de especímenes de adoquines a los 28 días de edad



Nota. Ensayo de compresión de adoquines, 2024.

En la Figura 35 se puede apreciar que los resultados de compresión han sido los mostrados a continuación según la Tabla 63 y Tabla 64.

Tabla 63

Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines a la edad de 28 días

Especímen	Edad	TiO ₂	Ceniza Volcánica			
			0%	20%	25%	30%
ACI-P1	28 días	7%		407.98	379.86	301.08
ACI-P2			413.17	364.83	303.35	
ACI-P3			414.64	363.52	313.23	
ACI-P4			427.17	343.84	331.88	
ACI-P5			404.26	334.39	306.26	
ACI-P6			424.56	325.51	327.00	
Promedio según ACI (kgf/cm²)				415.29	351.99	313.80

Nota. Ensayo de compresión de adoquines con adición de 7% a los 28 días (ACI), 2024.

Tabla 64

Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines a la edad de 28 días

Especimen	Edad	TiO2	Ceniza Volcánica			
			0%	20%	25%	30%
MAC-P1	28 días	7%		408.71	421.71	359.07
MAC-P2				364.62	413.29	363.26
MAC-P3				371.11	415.07	347.18
MAC-P4				377.28	423.52	312.50
MAC-P5				387.79	421.65	344.53
MAC-P6				368.67	429.45	348.72
Promedio según MAC (kgf/cm²)				379.69	420.78	345.88

Nota. Ensayo de compresión de adoquines con adición de 7% a los 28 días (MAC), 2024.

De acuerdo con los datos encontrados se puede apreciar que en primera estancia el mejor porcentaje de reemplazo a una edad de 28 días para el TiO₂ de 7% es 25% en ceniza volcánica mediante el uso de la metodología MAC.

5.8. Ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días al 12% de TiO₂

A continuación, se muestra la resistencia a la compresión de probetas de concreto a la edad de 7 días, teniendo como análisis para el porcentaje de 12% de TiO₂ con 20%, 25% y 30% de Ceniza Volcánica, teniendo un total de 36 Roturas de adoquines.

Figura 36

Rotura de especímenes de adoquines a los 7 días de edad



Nota. Ensayo de compresión de adoquines, 2024.

En la Figura 36 se puede apreciar que los resultados de compresión han sido los mostrados a continuación según la Tabla 65 y Tabla 66.

Tabla 65

Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines a la edad de 7 días

Espécimen	Edad	TiO ₂	Ceniza Volcánica			
			0%	20%	25%	30%
A-1	7 días	12%		176.42	202.58	230.90
A-2				178.09	228.94	225.29
A-3				166.29	225.66	246.87
A-4				193.22	243.72	225.24
A-5				193.09	233.44	243.00
A-6				209.88	222.38	220.15
Promedio según ACI (kgf/cm²)				186.16	226.12	231.91

Nota. Ensayo de compresión de adoquines con adición de 12% a los 7 días (ACI), 2024.

Tabla 66

Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines a la edad de 7 días

Espécimen	Edad	TiO ₂	Ceniza Volcánica			
			0%	20%	25%	30%
A-1	7 días	12%		334.16	322.29	314.79
A-2				318.89	286.93	274.41
A-3				359.64	289.38	298.49
A-4				285.57	301.24	287.95
A-5				336.12	300.83	234.97
A-6				348.09	316.59	318.95
Promedio según MAC (kgf/cm²)				330.41	302.87	287.93

Nota. Ensayo de compresión de adoquines con adición de 12% a los 7 días (MAC), 2024.

De acuerdo con los datos encontrados se puede apreciar que en primera estancia el mejor porcentaje de reemplazo a una edad de 7 días para el TiO₂ de 12% es 20% en ceniza volcánica mediante el uso de la metodología MAC.

5.9. Ensayo de resistencia a la compresión a los 14 días al 12% de TiO₂

A continuación, se muestra la resistencia a la compresión de probetas de concreto a la edad de 7 días, teniendo como análisis para el porcentaje de 12% de TiO₂ con 20%, 25% y 30% de Ceniza Volcánica, teniendo un total de 36 Roturas de adoquines.

Figura 37

Rotura de especímenes de adoquines a los 14 días de edad



Nota. Ensayo de compresión de adoquines, 2024.

En la Figura 37 se puede apreciar que los resultados de compresión han sido los mostrados a continuación según la Tabla 67 y Tabla 68.

Tabla 67

Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines a la edad de 14 días

Especímen	Edad	TiO ₂	Ceniza Volcánica			
			0%	20%	25%	30%
A-1	14 días	12%		299.49	269.52	270.01
A-2				310.23	249.61	266.75
A-3				318.63	280.01	234.23
A-4				314.58	276.13	255.22
A-5				317.41	266.46	243.47
A-6				343.89	285.98	261.22
Promedio según ACI (kgf/cm²)				317.37	271.30	255.15

Nota. Ensayo de compresión de adoquines con adición de 12% a los 7 días (MAC), 2024.

Tabla 68

Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines a la edad de 14 días

Especímen	Edad	TiO ₂	Ceniza Volcánica			
			0%	20%	25%	30%
A-1	14 días	12%		421.47	273.10	308.23
A-2				407.03	273.70	263.06
A-3				408.61	268.11	292.79
A-4				406.98	271.18	269.38
A-5				390.15	256.28	271.01
A-6				397.10	275.16	266.39
Promedio según MAC (kgf/cm²)				405.22	269.59	278.48

Nota. Ensayo de compresión de adoquines con adición de 12% a los 7 días (MAC), 2024.

De acuerdo con los datos encontrados se puede apreciar que en primera estancia el mejor porcentaje de reemplazo a una edad de 14 días para el TiO₂ de 12% es 20% en ceniza volcánica mediante el uso de la metodología MAC.

5.10. Ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días al 12% de TiO₂

A continuación, se muestra la resistencia a la compresión de probetas de concreto a la edad de 28 días, teniendo como análisis para el porcentaje de 12% de TiO₂ con 20%, 25% y 30% de Ceniza Volcánica, teniendo un total de 36 Roturas de adoquines.

Figura 38

Rotura de especímenes de adoquines a los 28 días de edad



Nota. Ensayo de compresión de adoquines, 2024.

En la Figura 38 se puede apreciar que los resultados de compresión han sido los mostrados a continuación según la Tabla 69 y Tabla 70.

Tabla 69

Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines a la edad de 28 días

Especímen	Edad	TiO ₂	Ceniza Volcánica			
			0%	20%	25%	30%
A-1	28 días	12%		406.35	403.28	351.87
A-2				386.05	406.66	307.30
A-3				336.09	375.08	320.69
A-4				360.08	394.48	323.06
A-5				262.17	341.26	318.94
A-6				369.98	359.61	300.15
Promedio según ACI (kgf/cm²)				353.45	380.06	320.33

Nota. Ensayo de compresión de adoquines con adición de 12% a los 28 días (ACI), 2024.

Tabla 70

Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines a la edad de 28 días

Especímen	Edad	TiO ₂	Ceniza Volcánica			
			0%	20%	25%	30%
A-1	28 días	12%		417.34	325.88	374.67
A-2				404.57	283.19	367.95
A-3				399.16	333.25	358.22
A-4				427.35	345.46	403.71
A-5				403.28	338.64	361.19
A-6				406.66	366.16	391.38
Promedio según MAC (kgf/cm²)				409.72	332.09	376.18

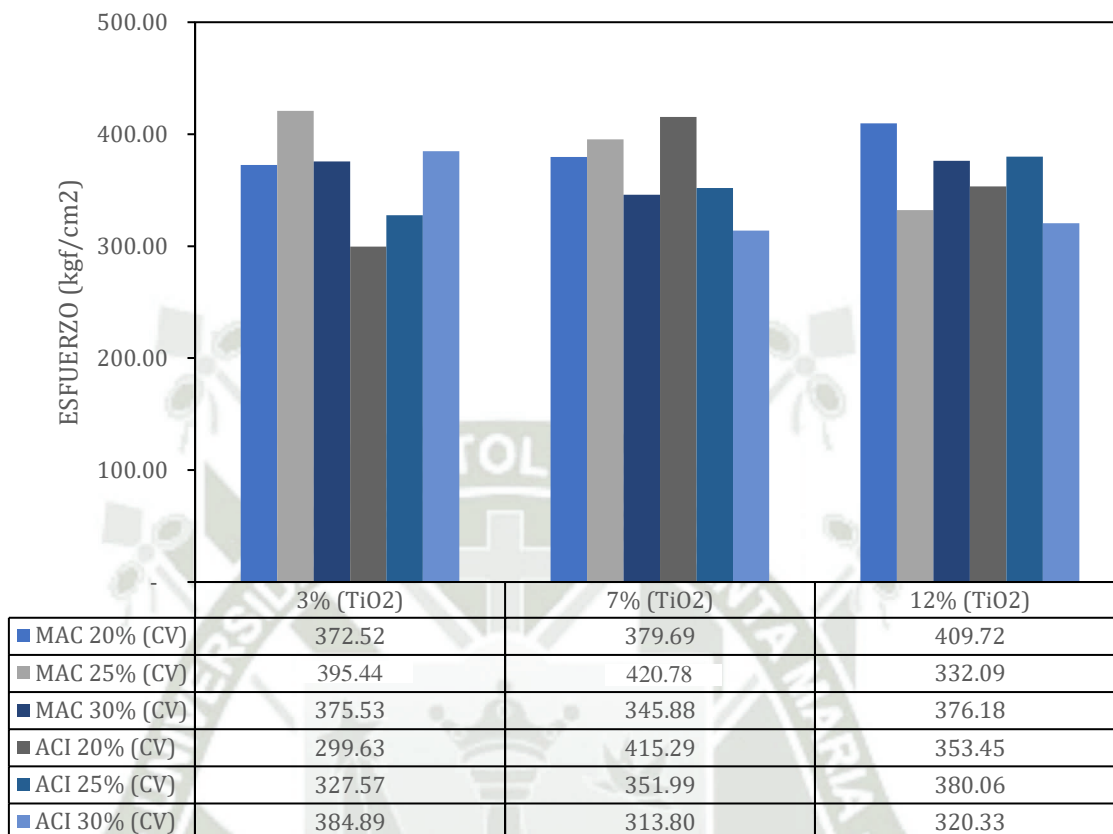
Nota. Ensayo de compresión de adoquines con adición de 12% a los 28 días (MAC), 2024.

De acuerdo con los datos encontrados se puede apreciar que en primera estancia el mejor porcentaje de reemplazo a una edad de 28 días para el TiO₂ de 12% es 20% en ceniza volcánica mediante el uso de la metodología MAC.

A continuación, se muestra la Figura 39 de la comparación de las resistencias a la compresión promedio a los 28 días de curado, de los 18 diseños propuestos.

Figura 39

Grafica de resistencias a la compresión promedio de 28 días de curado



Nota. Gráfico de resistencia a la compresión promedio 28 días, 2024.

Un análisis comparativo de los diseños MAC y ACI revela que, en promedio, las mezclas MAC presentan mayores resistencias a la compresión para todas las concentraciones de TiO₂ evaluadas (3%, 7% y 12%). Sin embargo, se observa una disminución en la resistencia de las mezclas MAC cuando se aumenta la sustitución de CV al 30%.

Considerando no solo la resistencia a la compresión, sino también los resultados de los ensayos de tolerancia dimensional, absorción, asentamiento y temperatura, se concluye que no existen variaciones significativas entre las diferentes mezclas que alteren la elección del diseño óptimo en términos de estas propiedades.

Por lo tanto, la combinación óptima se encuentra dentro del diseño MAC, específicamente con una sustitución de cemento del 25% y una concentración de TiO₂ del 7%, ya que esta configuración no solo alcanza los mayores valores promedio de resistencia a la compresión, sino que también cumple con los requisitos establecidos en los demás ensayos, posicionándose como la opción más favorable en términos de desempeño global.

CAPÍTULO VI ANÁLISIS AMBIENTAL Y ECONÓMICO DEL ADOQUÍN

6. Análisis Ambiental


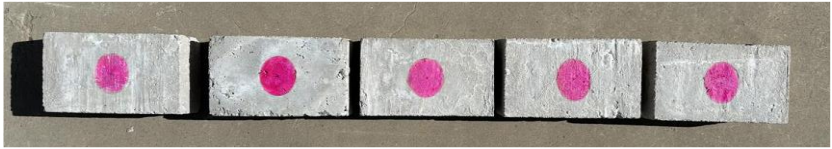
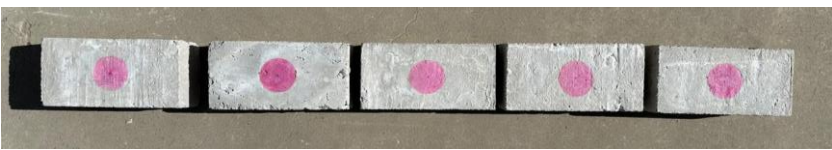
6.1. Ensayo de Fotocatálisis

Se realizó el estudio de 30 adoquines en total, de los cuales 15 se dispusieron para el diseño patrón y 15 para el diseño óptimo de sustitución. A dichas probetas se le adicionó una solución de Rodamina B de 1L de agua destilada con 0.1 gramos de Rodamina B que fue aplicada con una pipeta de 0.5ml de solución en un área circular de 22 +/- 2 cm² para luego ser expuestas a los rayos UV. Las mediciones de color se realizaron a las 0, 4 y 24 horas según la norma UNI 11259.

Siguiendo los lineamientos de la norma correspondiente, se realizó el ensayo de fotocatálisis en las instalaciones del Laboratorio de la Universidad Católica de Santa María para evaluar la degradación por radiación UV de rodamina B en los adoquines. Dado que la norma exige una exposición de 24 horas, y considerando que el periodo de radiación solar promedio en la zona es de aproximadamente 8 horas diarias, se decidió realizar el ensayo durante 3 días consecutivos. Este diseño experimental permite simular las condiciones de exposición requeridas por la norma.

Tabla 71

Exposición de adoquines con diseño patrón a rayos UV

TIEMPO	DISEÑO PATRON MAC
0H	
4H	
24H	

Nota. Adoquines patrón expuesto a diferentes horas, 2024.

Mediante análisis colorimétrico, se ha determinado el valor de a^* para cada muestra. Los resultados obtenidos se muestran en las Tablas N°71 y N°72 y serán utilizados para evaluar la actividad fotocatalítica del diseño patrón.

Tabla 72




Determinación de a^ en exposición a rayos UV (Diseño Patrón)*

MUESTRA	Coordenada a^*		
	0 horas	4 horas	24 horas
R1	61.824	58.54	36.268
R2	62.997	68.563	44.794
R3	58.363	62.316	37.508
R4	63.63	57.525	34.404
R5	60.776	58.991	35.101
R6	66.914	59.916	48.532
R7	67.919	58.524	46.861
R8	63.999	60.417	47.094
R9	66.263	57.804	49.748
R10	65.787	58.404	48.875
R11	66.336	58.602	45.428
R12	67.773	59.062	47.854
R13	67.226	60.364	47.704
R14	63.201	58.534	45.632
R15	66.443	58.745	49.847
PROMEDIO	64.630	59.754	44.377

Nota. Determinación de a^* en adoquines patrón expuesto hasta 24 horas, 2024.

Tabla 73

Exposición de adoquines con diseño óptimo a rayos UV

TIEMPO	DISEÑO MAC (7-25%)
0H	
4H	
24H	

Nota. Adoquines patrón expuesto a diferentes horas, 2024.

Para la determinación de la actividad fotocatalítica en el diseño óptimo que presenta sustitución parcial de 7 y 25% se presenta la Tabla N°73 y Tabla N°74 con los resultados obtenidos del análisis colorimétrico donde se obtuvo el valor de a^* para cada muestra, parámetro importante para la obtención de la propiedad.

Tabla 74

Determinación de a^ en exposición a rayos UV (Diseño Óptimo)*

MUESTRA	Coordenada a^*		
	0 horas	4 horas	24 horas
R1	61.824	58.54	36.268
R2	62.997	68.563	44.794
R3	58.363	62.316	37.508
R4	63.63	57.525	34.404
R5	60.776	58.991	35.101
R6	66.914	59.916	48.532
R7	67.919	58.524	46.861
R8	63.999	60.417	47.094
R9	66.263	57.804	49.748
R10	65.787	58.404	48.875
R11	66.336	58.602	45.428
R12	67.773	59.062	47.854
R13	67.226	60.364	47.704
R14	63.201	58.534	45.632
R15	66.443	58.745	49.847
PROMEDIO	64.630	59.754	44.377

Nota. Determinación de a^* en adoquines óptimos con sustitución de 7-25% expuesto hasta 24 horas, 2024.

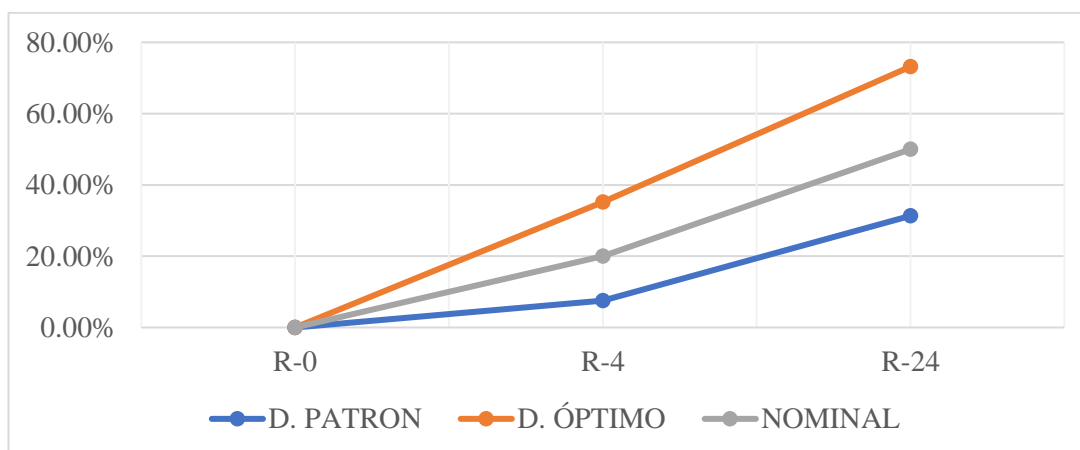
Tabla 75

Determinación de Índice de Degradación de (R4 y R24)

DISEÑO	INDICE DE DEGRADACIÓN		
	R-0	R-4	R-24
D. PATRON	0.00%	7.54%	31.34%
D. ÓPTIMO	0.00%	35.19%	73.20%
NOMINAL	0.00%	20.00%	50.00%

Nota. Determinación y comparación de índices de degradación, 2024.

Figura 40
Variación Fotocatalítica



Nota. Evaluación de variación fotocatalítica, 2024.

En el diseño patrón, los resultados del análisis de colorimetría muestran la insuficiencia de degradación para cumplir con los requisitos mínimos de la normativa. En contraste, el diseño óptimo modificado, con 7% dióxido de titanio y 25% de ceniza volcánica, exhiben una tasa de degradación de alta, evidenciando una mayor actividad fotocatalítica y una capacidad superior para autolimpiarse cumpliendo con los estándares regulados.

7. Análisis Económico del adoquín

7.1. Beneficio económico en los materiales

La incorporación de materiales alternativos como la ceniza volcánica y el dióxido de titanio en la producción de adoquines de concreto presenta ventajas económicas significativas al reducir los costos de fabricación. El cemento, uno de los componentes más costosos de los adoquines tradicionales, puede ser sustituido parcialmente por estos materiales, generando ahorros considerables.

La ceniza volcánica, un subproducto abundante y accesible en regiones volcánicas como Arequipa, ofrece un doble beneficio. Además de reducir costos, su inclusión en la mezcla de concreto imparte un tono claro a los adoquines. Por su parte, el dióxido de titanio funciona como aditivo, no solo otorgando un color claro a los adoquines, sino también incorporando propiedades fotocatalíticas que contribuyen a la reducción de la contaminación ambiental generada por el parque automotor en ciudades como Arequipa.

Figura 41

Fabricación de bloques de adoquines en grandes cantidades



Nota. Bloques de Adoquines. Adaptado de “<https://cuyoblock.com/productos.html>” por CUYO BLOCK, 2024.

7.2. Análisis comparativo del costo de elaboración de adoquines

Teniendo en cuenta un control de calidad previo de los materiales, se llevó a cabo la evaluación del costo asociado a la fabricación de adoquines de concreto tipo II con $F'c$ de 380 kgf/cm^2 .

Tabla 76

Análisis de Costos Unitarios para Adoquín Convencional

Análisis de Costos Unitarios						
<i>Proyecto</i>	ANÁLISIS COSTO BENEFICIO EN LA ELABORACIÓN DE ADOQUÍN DE CONCRETO					
<i>Sub Presupuesto</i>	01 - ELABORACIÓN DE ADOQUINES DE CONCRETO F'C=380KGF/CM2					
<i>Ciente</i>	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA					
<i>Ubicación</i>	AREQUIPA - A REQUIPA - A REQUIPA					
						<i>Costo a :</i> Julio - 2024
Partida 01	ADOQUIN DE CONCRETO F'C=380 KGF/CM2 (CONVENCIONAL)				Rend:	20.0000 M3/DIA
<i>Código</i>	<i>Descripción Insumo</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cuadrilla</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Parcial</i>
Mano de Obra						
47 00006	CAPATAZ	HH	1.000	0.4000	29.01	11.60
47 00007	OPERARIO	HH	0.500	0.2000	25.31	5.06
47 00009	PEON	HH	2.000	0.8000	19.53	15.62
						32.28
Materiales						
04 06993	ARENA GRUESA (PUESTO EN OBRA)	M3		0.6900	65.00	44.85
05 00002	AGUA	M3		0.2188	7.00	1.53
05 06994	PIEDRA CHANCADA DE 1/2" - 3/4"	m3		0.9600	65.00	62.40
21 00003	CEMENTO PORTLAND TIPO IP (42.5KG)	BOL		19.4900	25.00	487.25
						596.03
Equipo						
37 00004	HERRAMIENTAS MANUALES	% MO		3.0000	32.28	0.97
48 01361	MEZCLADORA 11 P3	HM	1.000	0.4000	18.14	7.26
48 06995	MOLDE DE ADOQUIN DE 20X10X8CM	HM	2.000	0.8000	15.00	12.00
						20.23
Sub partidas						
SP 36304	ACOPIO Y MANIPULEO DE ADOQUINES	M3		1.0000	107.28	107.28
						107.28
Costo Unitario por M3 :						755.82

Nota. Evaluación de presupuesto en la elaboración de adoquines convencionales, 2024.

En el marco del análisis, se incluyó la evaluación del costo por acopio y manipulación de adoquines, tal como se detalla en la subpartida 36304 del presupuesto. Esta consideración permitió obtener una estimación más precisa de los gastos asociados a la elaboración de este elemento.

Tabla 77
Sub-Partida de acopio y manipuleo de adoquines

Sub Partida	36304	ACOPIO Y MANIPULEO DE ADOQUINES		Rend:	3.0000 M3/DIA		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	
Mano de Obra							
47 00009	PEON	HH	2.000	5.3333	19.53	104.16	
						104.16	
Equipo							
37 00004	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	104.16	3.12	
						3.12	
Costo Unitario por M3 :						107.28	

Nota. Evaluación de subpartida de acopio y manipuleo en la elaboración de adoquines convencionales, 2024.

El análisis también contempló para la elaboración de adoquines con sustitución (ceniza volcánica y dióxido de titanio), la consideración del costo de transporte de ceniza desde el punto de extracción hasta el lugar de producción de los adoquines, así como también la extracción y carguío de este material.

Tabla 78
Análisis de Costos Unitarios para la recolección de ceniza volcánica

Sub Partida	36306	RECOLECCION DE CENIZA VOLCÁNICA		Rend:	14,500.0000 KG/DIA		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	
Mano de Obra							
47 00006	CAPATAZ	HH	1.000	0.0006	29.01	0.02	
47 00009	PEON	HH	4.000	0.0022	19.53	0.04	
						0.06	
Materiales							
53 03767	PETROLEO	GLN		0.0015	20.00	0.03	
						0.03	
Equipo							
37 00004	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	0.06	-	
48 03174	CAMION VOLQUETE 15 M3	HM	1.000	0.0006	150.00	0.09	
49 06998	MINICARGADOR	HM	1.000	0.0006	150.00	0.09	
						0.18	
Costo Unitario por KG :						0.27	

Nota. Evaluación de subpresupuesto en la recolección de ceniza volcánica, 2024.

Tabla 79

Análisis de Costos Unitarios para Adoquín con sustitución

Análisis de Costos Unitarios

Proyecto	ANÁLISIS COSTO BENEFICIO EN LA ELABORACIÓN DE ADOQUÍN DE CONCRETO					
Sub Presupuesto	01 - ELABORACIÓN DE ADOQUINES DE CONCRETO F'C=380KGF/CM2					
Cliente	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA					
Ubicación	AREQUIPA - AREQUIPA - AREQUIPA					
					Costo a :	Julio - 2024
Partida 02	ADOQUIN DE CONCRETO F'C=380 KGF/CM2 (CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEN				Rend:	20.0000 M3/DIA
Código	Descripción Insumo	Unidad Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	
Mano de Obra						
47 00006	CAPATAZ	HH	1.000	0.4000	29.01	11.60
47 00007	OPERARIO	HH	0.500	0.2000	25.31	5.06
47 00009	PEON	HH	2.000	0.8000	19.53	15.62
						32.28
Materiales						
04 06993	ARENA GRUESA (PUESTO EN OBRA)	M3		0.6900	65.00	44.85
05 00002	AGUA	M3		0.2188	7.00	1.53
05 06994	PIEDRA CHANCADA DE 1/2" - 3/4"	m3		0.9600	65.00	62.40
21 00003	CEMENTO PORTLAND TIPO IP (42.5KG)	BOL		13.2600	25.00	331.50
21 06997	DIÓXIDO DE TITANIO	M3		0.0002	87,980.00	17.60
						457.88
Equipo						
37 00004	HERRAMIENTAS MANUALES	% MO		3.0000	32.28	0.97
48 01361	MEZCLADORA 11 P3	HM	1.000	0.4000	18.14	7.26
48 06995	MOLDE DE ADOQUIN DE 20X10X8CM	HM	2.000	0.8000	15.00	12.00
						20.23
Sub partidas						
SP 36306	RECOLECCION DE CENIZA VOLCÁNICA	KG		207.3000	0.27	55.97
SP 36304	ACOPIO Y MANIPULEO DE ADOQUINES	M3		1.0000	107.28	107.28
						163.25
					Costo Unitario por M3 :	673.64

Nota. Evaluación de presupuesto en la elaboración de adoquines con sustitución de, 2024.

Con base en los precios unitarios para la elaboración de adoquines, se efectuó un análisis comparativo considerando las proporciones empleadas tanto en el adoquín convencional como en el adoquín propuesto. Este análisis, sustentado a partir de los costos unitarios de los materiales, reveló que el adoquín propuesto presenta una ventaja económica significativa en comparación con el adoquín convencional. Esta ventaja, que asciende a un 10.87% aproximadamente, se atribuye principalmente al menor costo de los materiales empleados como sustitución parcial del cemento, como se muestra en la Tabla 80.

Tabla 80

Presupuesto comparativo de elaboración de adoquines x m³

Presupuesto							
<i>Proyecto</i>	ANÁLISIS COSTO BENEFICIO EN LA ELABORACIÓN DE ADOQUÍN DE CONCRETO						
<i>Sub Presupuesto</i>	01 - ELABORACIÓN DE ADOQUINES DE CONCRETO F'C=380KGF/CM2						
<i>Cliente</i>	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA						
<i>Ubicación</i>	AREQUIPA - AREQUIPA - AREQUIPA						<i>Costo a :</i> Julio - 2024
<i>Item</i>	<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Metrado</i>	<i>Precio</i>	<i>Parcial</i>	<i>Subtotal</i>	<i>Total</i>
01	ADOQUIN DE CONCRETO F'C=380 KGF/CM2 (CONVENCION	M3	1.00	755.82	755.82		
02	ADOQUIN DE CONCRETO F'C=380 KGF/CM2 (CON SUSTITL	M3	1.00	673.64	673.64		

Nota. Evaluación de presupuesto en la elaboración de adoquines, 2024.

7.3. Análisis comparativo de adoquines en base a costos actuales mercado

Este apartado presenta un análisis de los costos actuales de los adoquines disponibles en el mercado de la ciudad de Arequipa. A través de una investigación de precios, se compararán los costos por unidad de adoquines tipo II, considerando factores como material, con un tamaño de 10x20x8 cm, de acabado natural y marca. El objetivo principal es proporcionar una visión clara y objetiva de las tendencias del mercado, identificando las opciones más económicas y aquellas que ofrecen una mejor relación calidad-precio en comparación con el adoquín elaborado que presenta sustitución parcial de ceniza y dióxido de titanio.

Tabla 81

Análisis comparativo de adoquines x und.

Descripción	Costo de Producción x und. (S/)
Supermix - Otras	1.13 – 1.50
Elaboración Propia	0.90

Nota. Comparación de costos de adoquín x und., 2024.

CONCLUSIONES

- **Primera.** Los resultados de nuestro estudio demuestran que la sustitución del 7% del cemento por TiO_2 y 25% de ceniza volcánica en la fabricación de adoquines mejora significativamente sus propiedades mecánicas sin comprometer la calidad. Al alcanzar una resistencia a la compresión promedio de 420.78 kgf/cm^2 y se obtuvo un valor promedio de 5.7 % de absorción. Los nuevos adoquines superan los estándares de la NTP 399.611:2017, además de adquirir propiedades fotocatalíticas que contribuyen a la sostenibilidad ambiental.
- **Segunda.** Los datos analizados demuestran que la ceniza volcánica presenta un alto contenido de sílice, el cual es superior al 50%, lo que la posiciona como un material con un gran potencial para aplicaciones en la construcción. Además, las propiedades fotocatalíticas del dióxido de titanio, como su alto índice de refracción, ofrecen nuevas posibilidades para el desarrollo de materiales más funcionales y sostenibles.
- **Tercera.** Los adoquines intertrabado de concreto portland convencional (sin adiciones) evaluados demostraron una calidad excepcional con una resistencia a la compresión promedio de 547.91 kgf/cm^2 (ACI) y 415.81 kgf/cm^2 (MAC), superando en un 14.62% el valor de diseño, una tolerancia dimensional máxima de 0.46 mm, además, se obtuvo un valor promedio de 5.4 % de absorción a través del diseño ACI y 5.1% en el diseño MAC, lo que nos indica un mayor consumo de agua por el primer diseño mencionado. Cumpliendo con los requisitos de la normativa NTP 399.604.
- **Cuarta.** La mezcla con 7% de TiO_2 y 20% de ceniza volcánica presentó el mejor desempeño en la metodología ACI, alcanzando una resistencia de 415.29 kgf/cm^2 a los 28 días, además, se obtuvo un valor promedio de 5.1 % de absorción y 0.7mm de variación dimensional como máximo. A pesar de esta variabilidad se demuestra la viabilidad de utilizar estas sustituciones en la producción de adoquines.
- **Quinta.** Se encontró que la mezcla con 7% de TiO_2 y 25% de ceniza volcánica presentó la mayor resistencia a la compresión, alcanzando un valor de 420.78 kgf/cm^2 a los 28 días, además, se obtuvo un valor promedio de 5.4 % de absorción y 0.4mm de variación dimensional como máximo. Los resultados obtenidos, aunque variables, demuestran la versatilidad de estas sustituciones para la fabricación de adoquines.

- **Sexta.** La incorporación de un 25% de ceniza volcánica y un 7% de TiO_2 en la mezcla cementicia de adoquines, según el Modelo de Acomodo Compresible, ha demostrado ser una alternativa viable y sostenible. Los resultados obtenidos, que cumplen con la normativa NTP 399.611:2017, revelan que estos nuevos adoquines poseen propiedades físico-mecánicas comparables a los convencionales y principalmente la incorporación de características fotocatalíticas que promueven la autolimpieza y la reducción de la contaminación atmosférica.
- **Séptima.** Los resultados obtenidos demuestran que la incorporación de un 7% de TiO_2 y un 25% de ceniza volcánica en el diseño óptimo del adoquín ha conferido al material una capacidad fotocatalítica excepcional, alcanzando una degradación del 73.20% de Rodamina B, que es este caso simula los contaminantes, superando en más del doble al adoquín patrón (31.34%). Este significativo incremento posiciona a este nuevo material como una solución innovadora y altamente efectiva para la mitigación de la contaminación atmosférica en entornos urbanos.
- **Octava.** El análisis de costos unitarios reveló una reducción del 10.87% en la producción de adoquines al incorporar ceniza volcánica y TiO_2 , el cual se realizó en función del proceso de fabricación de adoquines por metro cúbico (m^3). Esta disminución significativa demuestra la viabilidad económica de esta alternativa, optimizando los recursos y generando un notable beneficio financiero para los productores.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda a empresas productoras de concreto e ingenieros la incorporación de adoquines formulados con proporciones óptimas de ceniza volcánica y TiO_2 en sus líneas de producción, a fin de realizar ensayos normalizados para determinar las dosificaciones óptimas y establecer especificaciones técnicas que garanticen el cumplimiento de los requisitos de desempeño establecidos en las normas vigentes.
- Los resultados obtenidos en esta investigación evidencian la versatilidad de la ceniza volcánica y el TiO_2 para aplicaciones constructivas más allá de las evaluadas. Se recomienda ampliar las investigaciones para evaluar su potencial en otras aplicaciones, como morteros y revestimientos, con el objetivo de maximizar sus propiedades y contribuir a la construcción sostenible.
- Se exhorta a los gobiernos y a las instituciones de investigación colaborar en el desarrollo de normas técnicas específicas para la evaluación y certificación de adoquines formulados con ceniza volcánica y dióxido de titanio. Esto permitirá promover la innovación y garantizar la calidad y el desempeño de estos productos. A su vez, se recomienda otorgar prioridad a los proyectos de investigación que demuestren el potencial de estos materiales para mejorar la sostenibilidad.
- Los resultados obtenidos en este estudio son prometedores y abren nuevas perspectivas para la optimización de la dosificación de aditivos en adoquines intertrabados. Es fundamental realizar investigaciones futuras enfocadas en la evaluación del desempeño a largo plazo, la durabilidad y el ciclo de vida de estos materiales, las condiciones climáticas y la disponibilidad de materiales locales.
- Se propone realizar un análisis de ciclo de vida detallado para evaluar el impacto ambiental de estos adoquines a lo largo de todas las etapas de su ciclo de vida, desde la extracción de materias primas hasta el final de su vida útil. Este análisis permitirá identificar las ventajas ambientales de los nuevos materiales y establecer líneas base para futuras mejoras.
- Si bien la presente investigación se centró en evaluar las propiedades del concreto como la resistencia a la compresión, fotocatalisis y tolerancia dimensional. Se sugiere realizar un análisis integral de propiedades adicionales, como resistencia al desgaste, pruebas de impacto, permeabilidad y propiedades térmicas. Estos ensayos permitirán evaluar el comportamiento del material bajo diferentes condiciones, y optimizar su diseño para aplicaciones específicas.
- A empresas constructoras se les recomienda realizar un análisis de costo-beneficio detallado al considerar la utilización de estos adoquines en sus proyectos. La reducción en los costos de producción, sumada a los beneficios ambientales y de durabilidad, los convierten en una opción atractiva. Además, su coste de fabricación competitivo los posiciona favorablemente en el mercado actual, ofreciendo una alternativa viable y eficiente para el uso en pavimentos urbanos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Society for Testing and Materials. (2007). *ASTM C 1260-07 Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)*. Pensilvania: American Concrete Institute.
- Andina Agencia Peruana de Noticias. (2012, Marzo 13). *Parque automotor ocasiona el 70% de la contaminación en el Perú*. Retrieved Mayo 22, 2023, from ANDINA: <https://andina.pe/agencia/noticia-parque-automotor-ocasiona-70-de-contaminacion-el-peru-404515.aspx>
- Apaza, F., Churata, R., Tupayachy, P., Almiron, J., Perez, L., Hermosa, M., & Velazco, F. (2018). La ceniza volcánica en la obtención de geopolímeros como alternativa en la industria de la construcción. *Sociedad Geológica del Perú*, 408-412.
- Arias, K., & Vargas, L. (2023). *CARACTERIZACIÓN DE ADOQUINES ELABORADOS A PARTIR DE PLÁSTICO RECICLADO*. Universidad ECCI, Facultad de Ingeniería, Bogotá.
- Barranzuela, J. (2014, Febrero). *Proceso productivo de los ladrillos de arcilla producidos en la Región Piura*. Universidad de Piura. Retrieved from pirhua.udep.edu.pe.
- Bermejo, M. (2018). *Fotocatálisis y su capacidad descontaminante*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Bunea, G., Alexa-Stratulat, S.-M., Mihai, P., & Toma, I.-O. (2023). Use of Clay and Titanium Dioxide Nanoparticles in Mortar and Concrete—A State-of-the-Art Analysis. (A. Nobili, Ed.) *coatings*, 13(3), 506. doi:<https://doi.org/10.3390/coatings13030506>
- Butrón, J., & Aragón, R. (2024). *ANÁLISIS Y DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO AUTOCOMPACTANTE DE ALTO RENDIMIENTO CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CENIZA DEL VOLCÁN MISTI POR CEMENTO*. Arequipa, Perú: Universidad Católica San Pablo.
- Calderon, N. (2022). *Caracterización de morteros geopolímeros sintetizados por activación alcalina de ceniza volcánica y agregados finos*. Universidad Nacional de San Agustín, Tesis para optar el grado académico de Master en Ciencias con mención en Ciencias y Tecnología de Materiales. Arequipa: UNSA.
- Chaitanya, K. (2020). Titanium dioxide-potential use in permeable pavements. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, IX(05), 114-124.
- Chinga, N. (2015, Octubre 14). *Tecnología del concreto*. Universidad Católica Los Ángeles Chimbote. Retrieved from es.slideshare.net.

- Cifuentes, P., & Ferrer, J. (2006). *Análisis del comportamiento mecánico a edades tardías del concreto hidráulico con adición de cenizas volantes de termopaipa*. Universidad Industrial de Santander.
- Córdova, C., & Vega, J. (2022). *Concreto autocompactante con incorporación de aditivo superplastificante Sika Plast 306 y cenizas volantes*. Universidad Nacional de Jaén, Tesis para optar el título de ingeniero civil. Jaén: UNJ.
- Diario El Búho. (2017, Julio 14). *Cemento con ceniza volcánica favorece construcciones arequipeñas frente a terremotos*. Retrieved Marzo 15, 2023, from <https://elbuho.pe/2017/07/cemento-ceniza-volcanica-favorece-construcciones-arequipenas-frente-terremotos/>
- Diario El Pueblo. (2024, Febrero 21). *Hay más de 600 mil vehículos inscritos en la región Arequipa*. Retrieved 07 17, 2024, from Diario EP: www.diarioep.pe
- Díaz-Hernández, D., & Sarmiento-Alipio, J. (2020). *Concreto a base de cenizas volantes activadas alcalinamente, modificado con nanopartículas de óxido de silicio y dióxido de titanio*. Universidad Católica de Colombia, Tesis para optar el título de ingeniero civil. Bogotá: UCC.
- Ente Italiano di Normazione. (2008). *UNI 11259-2008 Determination of the photocatalytic activity of hydraulic binders - Rodamina test method*. Instituto Nacional de Calidad. Roma: UNI.
- Espinal, J., & Rimachi, G. (2020). *Influencia de la adición de nanosilice (SiO₂) y dióxido de titanio (TiO₂) en las propiedades del concreto modificado con baja dosificación de nanopartículas*. Universidad Peruana Unión, Tesis para optar el título de ingeniero civil. Lima: UPEU.
- Estrada, A., Gallo, M., & Nuñez, E. (2016). Contaminación ambiental, su influencia en el ser humano, en especial: el sistema reproductor femenino. *Universidad y Sociedad*, 80-86. Retrieved from <http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v8n3/rus10316.pdf>
- Estrada, E., Hituyan, J., Buriticá, J., González, J., & Caro, M. (2020). *Pavimentos Articulados*. Medellín: Universidad Cooperativa de Colombia.
- Gallego, S. (2017). Retrieved from [universidad-santa-maria-venezuela](http://universidad-santa-maria-venezuela.com): <https://www.studocu.com/latam/document/universidad-santa-maria-venezuela/materiales-y-ensayos/concreto-materiales-usm/22480723>
- Hamada, H. M., Abed, F., Beddu, S., Humada, A., & Majdi, A. (2023). Effect of Volcanic Ash and Natural Pozzolana on mechanical properties of sustainable cement concrete: A comprehensive review. *Case Studies in Construction Materials*, 19, e02425. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02425>
- Harmsen, T. (2002). *Diseño de Estructuras de Concreto Armado*. Fondo Editorial.
- Hernandez, Fernandez, & Baptista. (2014). *Metodología de Investigación Científica*. McGraw Hill.
- Huamani, M., & Solis, S. (2021). Efecto de las propiedades físico-mecánicas y químicas del mortero convencional adicionado con dióxido de titanio para el sector

construcción en la provincia y región de Arequipa, julio - diciembre 2020.
Arequipa: Universidad Continental.

Huisman, C. (2004). Photoinduced reactivity of titanium dioxide. *Chemistry*, 170-177.
Retrieved from
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0079678604000123>

Industria, I. I. (2023, Febrero 21). Entrevista sobre maquinas de adoquines. Arequipa.

Instituto Nacional de Calidad. (2002). *NTP 399.604:2002 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto*. Instituto Nacional de Calidad. Lima: INACAL.

Instituto Nacional de Calidad. (2015). *NTP 339.034:2021 CONCRETO. Determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. Método de ensayo. 5a Edición*. Instituto Nacional de Calidad. Lima: INACAL.

Instituto Nacional de Calidad. (2018). *NTP 334.045:2018 CEMENTOS. Método de ensayo para determinar la finura del cemento Pórtland por el tamiz de 45 µm (No. 325)*. Instituto Nacional de Calidad. Lima: INACAL.

Instituto Nacional de Calidad. (2018). *NTP 339.187:2018 CONCRETO. Método de ensayo para determinar la densidad, absorción y porcentaje de vacíos en concreto endurecido. 2a Edición*. Instituto Nacional de Calidad. Lima: INACAL.

Instituto Nacional de Calidad. (2018). *NTP 399.605:2018 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de ensayo para la determinación de la resistencia en compresión de prismas de albañilería. 3a Edición*. Instituto Nacional de Calidad. Lima: INACAL.

Instituto Nacional de Calidad. (2019). *NTP 334.067:2019 CEMENTOS. Método de ensayo para determinar la reactividad potencial alcalina de combinaciones cemento agregado. Método de la barra del mortero. 4a Edición*. Instituto Nacional de Calidad. Lima: INACAL.

Instituto Nacional de Calidad. (2019). *NTP 399.611:2017/CT 1:2019 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Adoquines de concreto para pavimentos. Requisitos. CORRIGENDA TÉCNICA 1. 1a Edición*. Instituto Nacional de Calidad. Lima: INACAL.

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

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

- Instituto Nacional de Calidad. (2020). *NTP 400.021:2020 AGREGADOS. Densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. Método de ensayo*. Instituto Nacional de Calidad. Lima: INACAL.
- Instituto Nacional de Calidad. (2021). *NTP 339.184:2021 CONCRETO. Determinación de la temperatura del concreto de cemento hidráulico recién mezclado. Método de ensayo. 3a Edición*. Instituto Nacional de Calidad. Lima: INACAL.
- Instituto Nacional de Calidad. (2021). *NTP 339.185:2021 AGREGADOS. Determinación del contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Método de ensayo. 3a Edición*. Instituto Nacional de Calidad. Lima: INACAL.
- Instituto Nacional de Calidad. (2021). *NTP 400.012:2021 AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino y grueso. Método de ensayo. 4a Edición*. Instituto Nacional de Calidad. Lima: INACAL.
- Instituto Nacional de Calidad. (2021). *NTP 400.022:2021 AGREGADOS. Determinación de la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. Método de ensayo. 4a Edición*. Instituto Nacional de Calidad. Lima: INACAL.
- Instituto Nacional de Calidad. (2021). *NTP 400.037:2021 AGREGADOS. Agregados para concreto. Especificaciones. 5a Edición*. Instituto Nacional de Calidad. Lima: INACAL.
- Instituto Nacional de Calidad. (2022). *NTP 339.035:2022 CONCRETO. Medición del asentamiento del concreto de cemento hidráulico. Método de ensayo. 5ª Edición*. Instituto Nacional de Calidad. Lima: INACAL.
- Instituto Tecnológico de la Construcción (ITEC). (2019). Evaluación de la viabilidad técnica y económica de la utilización de cenizas volcánicas de Ubinas en la producción de adoquines de concreto. Lima, Perú: Instituto Tecnológico de la Construcción.
- Martys, N., & Ferraris, C. (1997). Capillary transport in mortars and concrete. *Cement and Concrete Research*, 747-760. doi:10.1016/S00088846(97)00052-5
- Menéndez Acurio, J. R. (2009). *Ingeniería de Pavimentos: Materiales Diseño y Construcción* (Primera ed.). Lima: Fondo Editorial ICG.
- Ministerio de Seguridad. (2022). *¿Qué es y cuáles son los efectos de la ceniza volcánica?* Retrieved Marzo 15, 2023, from Gobierno de Argentina: www.argentina.gob.ar
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC. (2013). *Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción*. MTC.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento MVCS. (2010). *Reglamento Nacional de Edificaciones CE.010 PAVIMENTOS URBANOS*. MVCS.
- Ministerio del Ambiente. (2021, Octubre 26). *Bicentenario Peru 2021*. Retrieved Mayo 22, 2023, from Info Aire Peru MINAM:

<https://infoaireperu.minam.gob.pe/minam-promueve-reduccion-de-emisiones-contaminantes-vehiculares-para-mejorar-la-calidad-del-aire-en-el-pais/>

- Ministerio del Ambiente MINAN. (2021). *Minam promueve reducción de emisiones contaminantes vehiculares para mejorar la calidad del aire en el país*. Lima: MINAN.
- Molina, B., Moragues, T., & Gálvez, R. (2008). La influencia de las cenizas volantes como sustituto parcial del cemento Portland en la durabilidad del hormigón. *Anales de la Mecánica de fracturas*, 575-580. Retrieved from https://oa.upm.es/1139/1/OMAR_MOLINA_BAS.pdf
- Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras* (Segunda ed.). Bogotá: Stella Valbuena de Fierro.
- Najar, S. (2021). *Evaluación de las propiedades fotocatalíticas de adoquines para obras de infraestructura vial adicionado con TiO₂ (dioxido de titanio) en la ciudad de Arequipa 2021*. Universidad Católica de San Pablo, Tesis para optar el título de ingeniero civil. Arequipa: UCSP.
- Neville, A., & Brooks, J. (2010). *Tecnología del Concreto*. Mexico: Trillas.
- Neville, M. (1988). *Tecnología del concreto*. Limusa.
- Nokken, M., Boddy, A., Hooton, R., & Thomas, M. (2006). Time dependent diffusion in concrete -three laboratory studies. *Cement and Concrete Research*, 200-207. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.03.030>
- Núñez, V., & Yapuchura, Y. (2019). *DISEÑO DE MEZCLA CON EL MÉTODO MODELO DE EMPAQUETAMIENTO COMPRESIBLE Y USO DEL VIDRIO MOLIDO EN CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA, HUANCVELICA*. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica.
- Núñez, V., & Yapuchura, Y. (2019). *DISEÑO DE MEZCLA CON EL MÉTODO MODELO DE EMPAQUETAMIENTO COMPRESIBLE Y USO DEL VIDRIO MOLIDO EN CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA, HUANCVELICA*. Huancavelica, Perú: Universidad Nacional de Huancavelica.
- Ostwald, W. (1901). *Blocking of Ostwald Ripening Allowing Long-Term Stabilization*. *Zeitschrift für Physikalische Chemie*.
- Peréz Machado, L., Meireles Tamayo, B., Fuentes Alpizar, D. d., Peña Mijenes, C., & Alonso Aenlle, A. (2022). Empleo de adoquines de concreto en la construcción de pavimentos. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 16(2), 1-11. Retrieved from <https://www.redalyc.org/journal/1939/193971847007/>
- Portugal Barriga, P. (2007). *Tecnología de Concreto de Alto Desempeño* (Primera ed.). Arequipa.
- Prasanna, I. (2019). *Improvement of aggregate packing model of interlocking concrete block pavement (ICBP) mixture using fly ash*. University of Moratuwa Sri Lanka, Tesis para optar el grado de Magister en Ingeniería. Sri Lanka: UMSL.

- Pulida, A., & Rodríguez, A. (2020). *Evaluación de las propiedades fisico-mecánicas del concreto obtenido a partir de la activación alcalina de ceniza volante*. Universidad Católica de Colombia, Tesis para optar el título de ingeniero civil. Bogotá: UCC.
- Red Peruana de Investigación en Calidad del Aire. (2023). *Tecnologías para la descontaminación del aire en ciudades*. Lima, Perú: Red Peruana de Investigación en Calidad del Aire.
- Rendón, M., Sánchez, D., Martínez, M., & López, A. (2021). Caracterización fisicoquímica de concretos con contenidos del 30% de ceniza volante. *Instituto Mexicano del Transporte, PUBLICACION TECNICA(618)*, xiv+40p. Retrieved from <http://worldcat.org/issn/01887297>
- Reyes, V. (2020). Retrieved from /bitstream/25000:
<http://c/bitstream/25000/22199/1/T-UCE-0015-ODO-406.pdf>
- Rivva, L. (2008). *Materiales para concreto*. Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Rodriguez, S. (1988). Empleo de cenizas volantes en la fabricación de los hormigones. *Revista de Obras Públicas*, 49-51. doi:<http://dx.doi.org/10.1827/ria2018.366>
- Selvasofia, A., Sarojini, E., Moulica, G., Sajin, T., Tharani, M., Saravanakumar, P., & Manoj Kumar, P. (2022). Study on the mechanical properties of the nanoconcrete using nano-TiO₂ and nanoclay. *Materials Today: Proceedings*, 50(5), 1319-1325. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.08.242>
- Solís, R., & Alcocer, M. (2019). Durabilidad del concreto con agregados de alta absorción. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 1-13. Retrieved from <https://www.revistaingenieria.unam.mx/numeros/v20n4-03.php>
- Soncco, B. (2020). *Evaluación de las propiedades fotocatalíticas adicionando nanopartículas de dióxido de titanio en la disminución de partículas volátiles contaminantes presentes en el aire, en morteros de cemento, Puno-2020*. Universidad Nacional del Altiplano, Tesis para optar el título de ingeniero civil. Puno: UNA.
- Umamaheswari, R., & Monisha, S. (2019). Experimental investigation of concrete using titanium dioxide. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, VI(5), 2326-2330. Retrieved from www.irjet.net
- Valdéz, A.;. (2017, Marzo 22). Retrieved from www.hormigonespecial.com:
<https://www.hormigonespecial.com/blog/?p=349>
- Zhao, L., Chen, R., Pang, L. X., Zhang, W., & Tan, X. (2019). Study on Photo-catalytic Efficiency and Durability of Nano-TiO₂ in Permeable Concrete Pavement Structure. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, CCCLXXI(4)*, 1-7. doi:10.1088/1755-1315/371/4/042011

ANEXOS

Anexo 1 Matriz de Consistencia

Problema	Objetivos	Hipotesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Sub. Indic.	Técnicas	Instrumentos	Metodología
General	General	General				L : ± 1.6			
¿Cómo varía el comportamiento de adoquines tipo II intertrabados de concreto portland con la adición de ceniza volante y TiO2 bajo la metodología ACI y MAC?	Evaluar la influencia de reemplazo de la ceniza volcánica y el dióxido de titanio sobre las propiedades físicas y mecánicas de adoquines tipo II intertrabados de concreto portland bajo la metodología ACI y MAC	Dado que se adicionará la ceniza volante y el TiO2 bajo la metodología ACI y MAC en la preparación del adoquín tipo II es probable que se obtengan mejoras en las propiedades físico-mecánicas de los adoquines, las cuales mejoren su comportamiento.	Adoquín tipo II intertrabados de concreto portland. V. Dependiente	Dimensiones	Tolerancia Dimensional	A : ± 1.6	Ensayos de laboratorio	Ficha de resultados	
						E : ± 3.2			
Específicos	Específicos	Específicos							
¿Cuáles son las características físicas de la ceniza volcánica para el uso como reemplazo parcial de cemento?	Caracterizar las propiedades físicas de finura de la ceniza volcánica (volcán Ubinas) para su uso como sustituto parcial del cemento.	Mediante la caracterización química y física se logrará verificar su la viabilidad del uso de las adiciones y el cumplimiento de las normas pertinentes.		Propiedades Mecánicas	Resistencia a la Compresión	37 MPa	Ensayos de laboratorio	Ficha de resultados	Enfoque de la Investigación
¿Qué propiedades tiene el adoquín tipo II convencional bajo la influencia de las metodologías ACI y Modelo de Acomodo Compresible?	Analizar las propiedades físicas y mecánicas del adoquín tipo II intertrabado de concreto portland convencional bajo la influencia de las metodologías ACI y MAC.	Con el análisis de propiedades del adoquín convencional bajo la metodología ACI y MAC se logrará características convencionales, además, será de utilidad en los análisis comparativos y estadísticos.		Propiedades Físicas	Absorción	6%	Ensayos de laboratorio	Ficha de resultados	El enfoque de la investigación es cuantitativo
¿Cómo varían las propiedades de adoquín con la adición de ceniza volcánica y TiO2 bajo la influencia de la metodología ACI?	Medir las propiedades físicas y mecánicas de los adoquines adicionando 20%, 25% y 30% de ceniza volcánica y 3%, 7% y 12% de dióxido de titanio respectivamente con la metodología ACI.	Haciendo uso de los ensayos obtendremos la variación positiva y negativas para los diferentes porcentajes de las propiedades físico-mecánicas del adoquín tipo II con la metodología ACI.			Fotocatalisis	R-4 : >20% R-24 >50%			Tipo de investigación
¿Cómo varían las propiedades de adoquín con la adición de ceniza volcánica y TiO2 con la metodología de Modelo de Acomodo Compresible?	Medir las propiedades físicas y mecánicas de los adoquines adicionando 20%, 25% y 30% de ceniza volcánica y 3%, 7% y 12% de dióxido de titanio respectivamente con la metodología MAC.	Haciendo uso de los ensayos obtendremos la variación positiva y negativas para los diferentes porcentajes de las propiedades físico-mecánicas del adoquín tipo II con la metodología de MAC.		Influencia de los Costes	Análisis de costo beneficio	Análisis de Costos Unitarios	Cálculo matemático	Ficha de Cálculo	La investigación es de tipo experimental
¿Cuál es el porcentaje óptimo de adición de ceniza volcánica y TiO2 en el adoquín tipo II bajo la influencia de las metodologías ACI y Modelo de Acomodo Compresible?	Definir el porcentaje óptimo de adición de ceniza volcánica y TiO2 en conjunto en el adoquín tipo II intertrabado de concreto portland bajo la influencia de las metodologías ACI y MAC.	En base al análisis comparativo y estadístico de los resultados previos se obtiene que el porcentaje óptimo de ceniza volante es significativo en relación con el de TiO2 y una metodología adecuada.	Metodología ACI y Modelo de Acomodo Compresible V. Independiente	Propiedad Físicas de Ceniza Volcánica	Tamaño de Partícula	0.2 - 200 micras de diametro	Análisis documental	Guía del analisis documental	Nivel de investigación
¿Cómo afecta en los costos la adición optima de ceniza volcánica y TiO2 en el adoquín tipo II?	Evaluar la influencia de los costes por la adición de ceniza volcánica y TiO2 en el adoquín tipo II intertrabado de concreto portland.	Tomando en cuenta el análisis costo/beneficio de la adición de ceniza volante y TiO2 se alcanzan resultados positivos para la propuesta de adoquín tipo II con adiciones.			Contenido de Humedad	Variable - in situ			
				Propiedades Físicas de TiO2 (rutilo)	Peso Molecular	79.89 g/mol	Análisis documental	Guía del analisis documental	
					Volumen Molar	18.69 m3/mol			
					Densidad	4.274 kg/m3			
					Sistema Cristalino	Tetragonal			

Anexo 2 Panel fotográfico

Secado de muestras en el horno



Muestra retenida en mallas



Ensayo de azul de metileno



Ingreso de muestra para abrasión



Varillado de concreto



Adición de segunda capa de concreto



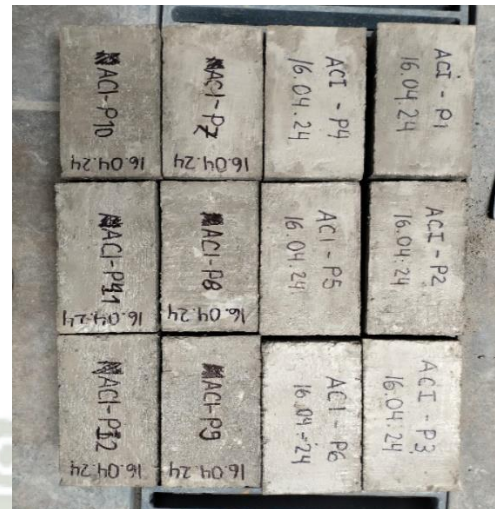
Nivelación de cara frontal de adoquines



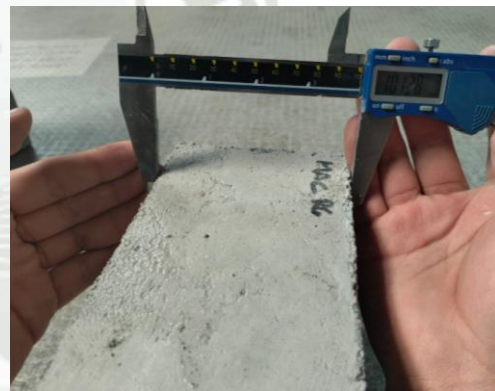
Desmolde de adoquines



Secado superficial de adoquines tras curado



Medición de dimensiones de adoquines



Preparación de adoquines para ensayo a la compresión



Adoquín tras ensayo de compresión



Preparación de adoquines determinación de asentamiento



Anexo 3 Tolerancia Dimensional

PROBETA	DISEÑO	DESCRIP.	CANT.	PROMEDIO	PROBETA	DISEÑO	DESCRIP.	CANT.	PROMEDIO	
P1	DISEÑO PATRON ACI	Largo	200.07	200.20	P1	DISEÑO PATRON MAC	Largo	199.91	200.20	
			201.17					200.03		
			199.34					200.57		
		Ancho	101.84	101.30			Ancho	100.38		
			100.87					100.9		
			101.12					100.54		
	Espesor	84.55	83.00	Espesor	81.13					
		82.51			81.5					
		82.04			80.38					
	P2	DISEÑO PATRON ACI	Largo	199.85	200.40	P2	DISEÑO PATRON MAC	Largo	199.57	199.80
				200.27					201.16	
				201.19					198.8	
Ancho			100.42	99.80	Ancho			98.75		
			99.04					99.32		
			99.81					99.97		
Espesor		80.41	79.70	Espesor	79.56					
		80.16			79.54					
		78.58			79.01					
P3		DISEÑO PATRON ACI	Largo	200.9	200.60	P3	DISEÑO PATRON MAC	Largo	199.83	199.70
				200.12					199.98	
				200.65					199.22	
	Ancho		98.78	99.10	Ancho			101.24		
			98.67					101.49		
			99.87					100.63		
	Espesor	81.32	79.80	Espesor	79.75					
		79.38			78.99					
		78.67			80.52					
	P4	DISEÑO PATRON ACI	Largo	200.97	200.80	P4	DISEÑO PATRON MAC	Largo	200.77	200.30
				201.36					200.13	
				200.15					199.95	
Ancho			99.57	100.40	Ancho			99.35		
			100.6					99.54		
			101					100.62		
Espesor		78.75	80.10	Espesor	81.14					
		80.2			79.55					
		81.3			80.56					
P5		DISEÑO PATRON ACI	Largo	200.18	200.30	P5	DISEÑO PATRON MAC	Largo	200.74	200.90
				200.3					201.35	
				200.41					200.47	
	Ancho		100.06	99.80	Ancho			98.62		
			98.76					101.4		
			100.59					99.54		
	Espesor	78.73	79.50	Espesor	78.79					
		80.66			79.02					
		79.13			79.67					

DISEÑO	DESCRIP.	CANT.	C. NOMINAL	VARIACIÓN	DISEÑO	DESCRIP.	CANT.	C. NOMINAL	VARIACIÓN
DISEÑO PATRON ACI	Largo	200.46	200.00	0.46	DISEÑO PATRON MAC	Largo	200.18	200.00	0.18
	Ancho	100.08	100.00	0.08		Ancho	100.14	100.00	0.14
	Espesor	80.42	80.00	0.42		Espesor	79.96	80.00	-0.04

PROBETA	DISEÑO	DESCRIP.	CANT.	PROMEDIO	PROBETA	DISEÑO	DESCRIP.	CANT.	PROMEDIO	
P1	ACI 3-20	Largo	202.67	201.30	P1	MAC 3-20	Largo	200.31	200.00	
			201.45					199.81		
			199.85					199.77		
		Ancho	99.05	100.00			Ancho	99.79		
			100.96					100.35		
			100.06					100.06		
	Espesor	80.64	80.30	Espesor	81.27					
		80.8			81.1					
		79.55			79.1					
	P2	ACI 3-20	Largo	199.78	200.40	P2	MAC 3-20	Largo	201.04	200.60
				200.24					201.14	
				201.04					199.56	
Ancho			99.57	99.80	Ancho			99.15		
			99.9					98.94		
			99.87					99.75		
Espesor		79.3	80.50	Espesor	79.36					
		81.29			81.05					
		80.8			78.91					
P3		ACI 3-20	Largo	201.02	200.80	P3	MAC 3-20	Largo	201.25	200.50
				201.36					199.90	
				200.07					200.42	
	Ancho		100.93	99.80	Ancho			100.09		
			98.99					99.23		
			99.47					99.34		
	Espesor	78.82	79.40	Espesor	81.06					
		79.41			79.82					
		79.87			79.69					
	P4	ACI 3-20	Largo	200.04	200.70	P4	MAC 3-20	Largo	199.1	200.10
				200.68					201.45	
				201.43					199.71	
Ancho			100.51	99.40	Ancho			100.62		
			98.97					100.71		
			98.75					100.48		
Espesor		79.7	80.10	Espesor	78.52					
		80.89			78.67					
		79.78			81.12					
P5		ACI 3-20	Largo	200.86	200.30	P5	MAC 3-20	Largo	201.39	200.70
				199.13					199.64	
				200.92					201.03	
	Ancho		100.21	99.90	Ancho			99.92		
			99.87					100.54		
			99.61					101.17		
	Espesor	80.49	79.60	Espesor	80.82					
		79.41			81.41					
		79.01			80.42					

DISEÑO	DESCRIP.	CANT.	C. NOMINAL	VARIACIÓN	DISEÑO	DESCRIP.	CANT.	C. NOMINAL	VARIACIÓN
ACI 3-20	Largo	200.70	200.00	0.7	MAC 3-20	Largo	200.38	200.00	0.38
	Ancho	99.78	100.00	-0.22		Ancho	100.02	100.00	0.02
	Espesor	79.98	80.00	-0.02		Espesor	80.16	80.00	0.16

PROBETA	DISEÑO	DESCRIP.	CANT.	PROMEDIO	PROBETA	DISEÑO	DESCRIP.	CANT.	PROMEDIO
P1	ACI 3-25	Largo	200.21	199.30	P1	MAC 3-25	Largo	201.24	200.00
			199.01					198.87	
			198.75					199.95	
		Ancho	99.99	99.20			Ancho	99.36	
			98.61					99.42	
			98.88					101.09	
		Espesor	80.2	79.40			Espesor	80.12	
			79.54					79.75	
			78.54					81.5	
			201.12					199.34	
P2	ACI 3-25	Largo	199.4	199.80	P2	MAC 3-25	Largo	199.34	200.10
			199.4					199.9	
			198.87					201.08	
		Ancho	99.23	99.20			Ancho	99.31	
			99.28					99.58	
			99.1					101.09	
		Espesor	79.94	79.30			Espesor	80.41	
			78.56					79	
			79.35					79.09	
			199.36					198.94	
P3	ACI 3-25	Largo	201.29	200.40	P3	MAC 3-25	Largo	200.02	199.70
			200.47					200.23	
			101.35					99.98	
		Ancho	99.19	100.50			Ancho	99.92	
			101.07					99.92	
			79.34					100.39	
		Espesor	81.4	80.00			Espesor	80.03	
			79.28					80.51	
			199.66					78.83	
			199.63					200.74	
P4	ACI 3-25	Largo	199.63	199.30	P4	MAC 3-25	Largo	198.82	200.00
			198.66					200.44	
			99.01					100.09	
		Ancho	99.82	99.70			Ancho	100.96	
			100.32					100.95	
			78.76					78.76	
		Espesor	80.28	79.90			Espesor	81.27	
			80.66					79.82	
			200.96					199.01	
			200.91					199.6	
P5	ACI 3-25	Largo	199.17	200.30	P5	MAC 3-25	Largo	199.98	199.50
			100.07					99.16	
			100.97					101.1	
		Ancho	98.88	100.00			Ancho	99.77	
			79.38					79.32	
			80.89					80.03	
		Espesor	78.64	79.60			Espesor	80.58	
			200.96					199.01	
			200.91					199.6	
			199.17					199.98	

DISEÑO	DESCRIP.	CANT.	C. NOMINAL	VARIACIÓN	DISEÑO	DESCRIP.	CANT.	C. NOMINAL	VARIACIÓN
ACI 3-25	Largo	199.82	200.00	-0.18	MAC 3-25	Largo	199.86	200.00	-0.14
	Ancho	99.72	100.00	-0.28		Ancho	100.16	100.00	0.16
	Espesor	79.64	80.00	-0.36		Espesor	79.96	80.00	-0.04

PROBETA	DISEÑO	DESCRIP.	CANT.	PROMEDIO	PROBETA	DISEÑO	DESCRIP.	CANT.	PROMEDIO	
P1	ACI 3-30	Largo	200.35	199.80	P1	MAC 3-30	Largo	199.57	200.20	
			198.66					200.73		
			200.28					200.34		
		Ancho	100.05	99.80			P1	MAC 3-30	Ancho	100.73
			98.77							100.4
			100.68							100.1
		Espesor	79.66	80.20			P1	MAC 3-30	Espesor	78.72
			81.26							78.67
			79.61							81.16
			199.94							201.36
P2	ACI 3-30	Largo	198.65	199.70	P2	MAC 3-30	Largo	200.07	200.50	
			200.58					199.99		
			99.35					99.88		
		Ancho	99.35	99.50			P2	MAC 3-30	Ancho	99.04
			99.73							99.31
			78.67							80.69
		Espesor	78.72	79.20			P2	MAC 3-30	Espesor	80.12
			80.1							81.3
			199.54							199.83
			200.52							200.63
P3	ACI 3-30	Largo	200.1	200.10	P3	MAC 3-30	Largo	199.11	199.90	
			100.41					99.81		
			101.25					99.51		
		Ancho	100.35	100.70			P3	MAC 3-30	Ancho	100.96
			80.02							80.49
			78.64							80.88
		Espesor	80.2	79.60			P3	MAC 3-30	Espesor	80.98
			199.16							201.03
			200.21							198.85
			199.48							201.28
P4	ACI 3-30	Largo	100.45	99.90	P4	MAC 3-30	Largo	101.08	99.50	
			100.09					98.62		
			99.13					98.94		
		Ancho	81.07	80.30			P4	MAC 3-30	Ancho	80.23
			80.27							81.23
			79.63							78.56
		Espesor	201.17	80.00			P4	MAC 3-30	Espesor	200.23
			199.78							200.23
			200.62							200.17
			100.1							199.2
P5	ACI 3-30	Largo	100.19	100.30	P5	MAC 3-30	Largo	99.75	199.90	
			100.75					100.22		
			78.78					100.08		
		Ancho	80.25	79.90			P5	MAC 3-30	Ancho	80.89
			80.72							81.34
			80.64							80.64

DISEÑO	DESCRIP.	CANT.	C. NOMINAL	VARIACIÓN	DISEÑO	DESCRIP.	CANT.	C. NOMINAL	VARIACIÓN
ACI 3-30	Largo	199.94	200.00	-0.06	MAC 3-30	Largo	200.18	200.00	0.18
	Ancho	100.04	100.00	0.04		Ancho	99.88	100.00	-0.12
	Espesor	79.84	80.00	-0.16		Espesor	80.40	80.00	0.4

PROBETA	DISEÑO	DESCRIP.	CANT.	PROMEDIO	PROBETA	DISEÑO	DESCRIP.	CANT.	PROMEDIO
P1	ACI 7-20	Largo	200.53	200.20	P1	MAC 7-20	Largo	200.54	199.80
			201.25					199.45	
			198.73					199.34	
		Ancho	100.39	100.40			Ancho	98.79	
			100.65					101.19	
			100.19					98.87	
			79.78					79.28	
		Espesor	80.39	79.80			Espesor	80.05	
			79.16					81.31	
			199.4					199.97	
P2	ACI 7-20	Largo	201.15	199.80	P2	MAC 7-20	Largo	199.63	199.60
			201.15					199.63	
			198.79					199.19	
		Ancho	100.76	99.80			Ancho	99.84	
			100.04					100.64	
			98.61					100.8	
			79.57					81.1	
		Espesor	79.64	80.20			Espesor	78.89	
			81.25					81.06	
			199.16					198.66	
P3	ACI 7-20	Largo	199.6	199.60	P3	MAC 7-20	Largo	200.49	199.60
			199.89					199.79	
			100.82					101.25	
		Ancho	98.62	99.60			Ancho	98.7	
			99.44					100.05	
			79.14					79	
			79.97					79.2	
		Espesor	79.08	79.40			Espesor	81.47	
			198.65					200.81	
			201.3					198.9	
P4	ACI 7-20	Largo	198.86	199.60	P4	MAC 7-20	Largo	199.66	199.80
			101.09					101.27	
			101.08					101.33	
		Ancho	98.97	100.40			Ancho	100.78	
			78.93					80.53	
			79.78					80.67	
			79.07					78.58	
		Espesor	79.07	79.30			Espesor	80.67	
			198.94					200.66	
			200.17					199.94	
P5	ACI 7-20	Largo	199.85	199.70	P5	MAC 7-20	Largo	201.13	200.60
			100.51					100.91	
			99.67					100.54	
		Ancho	99.16	99.80			Ancho	100.95	
			79.72					79.54	
			80.07					81.48	
			81.15					80.02	
		Espesor	81.15	80.30			Espesor	80.02	

DISEÑO	DESCRIP.	CANT.	C. NOMINAL	VARIACIÓN	DISEÑO	DESCRIP.	CANT.	C. NOMINAL	VARIACIÓN
ACI 7-20	Largo	199.78	200.00	-0.22	MAC 7-20	Largo	199.88	200.00	-0.12
	Ancho	100.00	100.00	0		Ancho	100.38	100.00	0.38
	Espesor	79.80	80.00	-0.2		Espesor	80.14	80.00	0.14

PROBETA	DISEÑO	DESCRIP.	CANT.	PROMEDIO	PROBETA	DISEÑO	DESCRIP.	CANT.	PROMEDIO
P1	ACI 7-25	Largo	198.71	199.30	P1	MAC 7-25	Largo	200.24	199.40
			199.91					199.02	
			199.38					198.95	
		Ancho	99.49	99.70			Ancho	99.69	
			100.59					100.6	
			99.06					99.26	
		Espesor	81.49	80.80			Espesor	81.42	
			80.83					79.56	
			80.19					79.31	
		P2	ACI 7-25	Largo			201.31	201.20	P2
201.23	198.84								
201.15	201.02								
Ancho	100.56			101.00	Ancho	99.62			
	101.07					100.18			
	101.26					99.49			
Espesor	80.63			80.40	Espesor	80.39			
	79.45					79.8			
	81.06					80.44			
P3	ACI 7-25			Largo	201.28	200.00	P3	MAC 7-25	
		199.48	199.11						
		199.14	201.2						
		Ancho	100.9	99.90	Ancho	101.09			
			99.82			99.55			
			98.87			99.31			
		Espesor	79.2	80.30	Espesor	80.86			
			80.62			79.79			
			81.18			80.63			
		P4	ACI 7-25	Largo	200.89	200.90			P4
200.6	200.17								
201.1	199.73								
Ancho	99.88			99.50	Ancho	99.05			
	99.3					100.56			
	99.26					99.31			
Espesor	81.06			80.20	Espesor	78.58			
	80.78					81.34			
	78.75					81.32			
P5	ACI 7-25			Largo	198.94	200.00	P5	MAC 7-25	
		199.72	199.5						
		201.24	199.8						
		Ancho	98.83	99.80	Ancho	101.07			
			99.28			99.25			
			101.39			99.67			
		Espesor	79.44	80.00	Espesor	79.52			
			79.77			81			
			80.81			79.41			

DISEÑO	DESCRIP.	CANT.	C. NOMINAL	VARIACIÓN	DISEÑO	DESCRIP.	CANT.	C. NOMINAL	VARIACIÓN
ACI 7-25	Largo	200.28	200.00	0.28	MAC 7-25	Largo	199.82	200.00	-0.18
	Ancho	99.98	100.00	-0.02		Ancho	99.86	100.00	-0.14
	Espesor	80.34	80.00	0.34		Espesor	80.22	80.00	0.22

PROBETA	DISEÑO	DESCRIP.	CANT.	PROMEDIO	PROBETA	DISEÑO	DESCRIP.	CANT.	PROMEDIO
P1	ACI 7-30	Largo	200.8	200.30	P1	MAC 7-30	Largo	199.72	199.10
			201.02					198.65	
			199.01					198.99	
		Ancho	100.29	100.50			Ancho	101.1	
			101.04					98.67	
			100.06					98.95	
		Espesor	79.46	79.60			Espesor	80.42	
			80.07					78.73	
			79.2					80.36	
			200.47					201.01	
P2	ACI 7-30	Largo	200.43	199.90	P2	MAC 7-30	Largo	199.65	200.50
			198.81					200.72	
			101.28					101.26	
		Ancho	100.92	101.20			Ancho	99.23	
			101.28					101.37	
			79.62					81.2	
		Espesor	79.94	79.80			Espesor	80.93	
			79.83					80.68	
			200.43					199.06	
			Largo					199.43	200.40
201.4	200.53								
99.2	99.94								
P3	ACI 7-30	Ancho	99.17	99.10	P3	MAC 7-30	Ancho	99.39	100.00
			98.86					100.61	
			80.76					80.15	
		Espesor	79.83	80.40			Espesor	78.5	79.40
			80.73					79.59	
			198.77					199.79	
			Largo					198.95	199.60
		201.05	200.2						
		99.5	100.83						
		P4	ACI 7-30	Ancho			98.63	99.30	P4
99.83	98.75								
81.36	80.59								
Espesor	78.57			79.90	Espesor	80.32	80.60		
	79.9					80.82			
	199.81					200.07			
	Largo					200.66	200.00	Largo	
199.57	200.57								
99.5	100.26								
P5	ACI 7-30			Ancho	101.09	100.40	P5	MAC 7-30	
		100.6	99.6						
		79.63	80.92						
		Espesor	81.35	80.20	Espesor	79.3			80.10
			79.74			80.2			

DISEÑO	DESCRIP.	CANT.	C. NOMINAL	VARIACIÓN	DISEÑO	DESCRIP.	CANT.	C. NOMINAL	VARIACIÓN
ACI 7-30	Largo	200.04	200.00	0.04	MAC 7-30	Largo	199.94	200.00	-0.06
	Ancho	100.10	100.00	0.1		Ancho	100.02	100.00	0.02
	Espesor	79.98	80.00	-0.02		Espesor	80.16	80.00	0.16

PROBETA	DISEÑO	DESCRIP.	CANT.	PROMEDIO	PROBETA	DISEÑO	DESCRIP.	CANT.	PROMEDIO
P1	ACI 12-20	Largo	199.08	199.30	P1	MAC 12-20	Largo	198.65	199.40
			199.41					198.96	
			199.51					200.6	
		Ancho	100.03	100.30			Ancho	99.01	
			100.18					99.55	
			100.75					100.01	
		Espesor	79.16	79.90			Espesor	78.84	
			79.35					79.94	
			81.18					81.07	
			200.81					201.38	
P2	ACI 12-20	Largo	199.31	199.90	P2	MAC 12-20	Largo	201.26	200.80
			199.59					199.72	
			101.25					98.91	
		Ancho	100.32	100.90			Ancho	99.63	
			101.07					99.52	
			80.46					79.48	
		Espesor	78.87	79.60			Espesor	79.33	
			79.43					79.75	
			201.27					198.93	
			200.61					199.71	
P3	ACI 12-20	Largo	201.22	201.00	P3	MAC 12-20	Largo	200.22	199.60
			99.75					100.74	
			99.97					99.33	
		Ancho	101.23	100.30			Ancho	100.34	
			80.3					81.24	
			81.05					78.59	
		Espesor	78.83	80.10			Espesor	79.47	
			199.7					199.51	
			198.87					199.06	
			199.23					200.48	
P4	ACI 12-20	Largo	100.64	101.10	P4	MAC 12-20	Largo	99.65	99.70
			101.14					99.28	
			101.37					100.23	
		Ancho	78.5	79.20			Ancho	79.91	
			79.87					80.33	
			79.23					79.08	
		Espesor	79.23	79.20			Espesor	79.08	
			200.08					201.16	
			198.96					200.93	
			200.41					199.28	
P5	ACI 12-20	Largo	100.16	99.60	P5	MAC 12-20	Largo	98.79	99.50
			99.58					99.85	
			99.2					99.92	
		Ancho	81.36	80.90			Ancho	80.72	
			81.4					79.65	
			79.85					78.79	
		Espesor	79.85	80.90			Espesor	78.79	

DISEÑO	DESCRIP.	CANT.	C. NOMINAL	VARIACIÓN	DISEÑO	DESCRIP.	CANT.	C. NOMINAL	VARIACIÓN
ACI 12-20	Largo	199.86	200.00	-0.14	MAC 12-30	Largo	200.00	200.00	0
	Ancho	100.44	100.00	0.44		Ancho	99.64	100.00	-0.36
	Espesor	79.94	80.00	-0.06		Espesor	79.76	80.00	-0.24

PROBETA	DISEÑO	DESCRIP.	CANT.	PROMEDIO	PROBETA	DISEÑO	DESCRIP.	CANT.	PROMEDIO	
P1	ACI 12-25	Largo	199.16	199.00	P1	MAC 12-25	Largo	198.71	200.00	
			198.67					200.94		
			199.14					200.28		
		Ancho	99.53	100.00			Ancho	99.45		
			100.28					100.75		
			100.07					100.73		
	Espesor	79.56	80.10	Espesor	81.2					
		79.53			78.61					
		81.21			78.62					
	P2	ACI 12-25	Largo	199.53	200.00	P2	MAC 12-25	Largo	199.91	200.70
				200.88					200.76	
				199.67					201.33	
Ancho			100.64	99.70	Ancho			100		
			98.88					100.06		
			99.54					98.78		
Espesor		81.13	80.70	Espesor	80.75					
		80.88			80.11					
		80.2			79.12					
P3		ACI 12-25	Largo	198.63	199.60	P3	MAC 12-25	Largo	199.82	199.70
				200.62					200.47	
				199.56					198.84	
	Ancho		99.54	100.40	Ancho			99.23		
			101.22					101.03		
			100.4					99.98		
	Espesor	81.21	80.30	Espesor	80.98					
		80.97			80.68					
		78.85			81.31					
	P4	ACI 12-25	Largo	200.11	200.00	P4	MAC 12-25	Largo	200.95	200.40
				200.36					201.23	
				199.38					199.16	
Ancho			101.12	100.30	Ancho			99.1		
			99.16					99.73		
			100.76					100.16		
Espesor		78.99	80.10	Espesor	78.73					
		80.56			80					
		80.73			80.64					
P5		ACI 12-25	Largo	199.07	199.70	P5	MAC 12-25	Largo	200.21	200.10
				200.58					199.41	
				199.55					200.74	
	Ancho		99.28	100.50	Ancho			99.22		
			100.81					101.15		
			101.33					100.53		
	Espesor	80.19	80.50	Espesor	79.89					
		80.14			78.89					
		81.12			79.54					

DISEÑO	DESCRIP.	CANT.	C. NOMINAL	VARIACIÓN	DISEÑO	DESCRIP.	CANT.	C. NOMINAL	VARIACIÓN
ACI 12-25	Largo	199.66	200.00	-0.34	MAC 12-25	Largo	200.18	200.00	0.18
	Ancho	100.18	100.00	0.18		Ancho	100.00	100.00	0
	Espesor	80.34	80.00	0.34		Espesor	79.94	80.00	-0.06

PROBETA	DISEÑO	DESCRIP.	CANT.	PROMEDIO	PROBETA	DISEÑO	DESCRIP.	CANT.	PROMEDIO	
P1	ACI 12-30	Largo	200.74	200.70	P1	MAC 12-30	Largo	198.83	199.60	
			200.91					201.34		
			200.52					198.69		
		Ancho	100.26	99.60			Ancho	99.7		
			99					98.92		
			99.64					100.83		
	Espesor	79.39	80.20	Espesor	78.71					
		80.03			79.05					
		81.12			81.25					
	P2	ACI 12-30	Largo	198.97	199.60	P2	MAC 12-30	Largo	200.54	199.90
				199.47					200.03	
				200.37					199.11	
Ancho			98.86	99.00	Ancho			101.01		
			98.95					101.33		
			99.29					99.44		
Espesor		80.49	79.30	Espesor	79.3					
		78.64			78.89					
		78.65			80.76					
P3		ACI 12-30	Largo	200.61	200.70	P3	MAC 12-30	Largo	198.73	199.90
				200.32					201.22	
				201.17					199.88	
	Ancho		100.37	100.40	Ancho			100.12		
			100.28					100.95		
			100.66					99.62		
	Espesor	80.3	79.50	Espesor	79.21					
		78.77			79.27					
		79.44			81.08					
	P4	ACI 12-30	Largo	198.97	199.10	P4	MAC 12-30	Largo	200.7	200.30
				199.43					198.94	
				198.93					201.39	
Ancho			98.65	99.40	Ancho			100.7		
			98.73					100.72		
			100.73					100.46		
Espesor		81.19	80.20	Espesor	79.09					
		80.65			80.19					
		78.61			80.3					
P5		ACI 12-30	Largo	199.14	200.40	P5	MAC 12-30	Largo	200.46	200.00
				200.96					198.61	
				201.08					201.02	
	Ancho		98.98	99.70	Ancho			98.88		
			98.83					98.91		
			101.4					99.86		
	Espesor	79.21	79.80	Espesor	78.5					
		80.68			79.05					
		79.36			79.58					

DISEÑO	DESCRIP.	CANT.	C. NOMINAL	VARIACIÓN	DISEÑO	DESCRIP.	CANT.	C. NOMINAL	VARIACIÓN
ACI 12-30	Largo	200.10	200.00	0.1	MAC 12-30	Largo	199.94	200.00	-0.06
	Ancho	99.62	100.00	-0.38		Ancho	100.08	100.00	0.08
	Espesor	79.80	80.00	-0.2		Espesor	79.64	80.00	-0.36

Anexo 4 Absorción de adoquines

DISEÑO	Ws (g)	Wi (g)	Wd (g)	ABSORCIÓN (KG/M3)		ABSORCIÓN (%)	
				INDIVIDUAL	PROMEDIO	INDIVIDUAL	PROMEDIO
DISEÑO PATRON ACI	3966	2271	3771	115.04		5.2%	
	3941	2257	3725	128.27		5.8%	
	3946	2265	3744	120.17	119.55	5.4%	5.4%
	3946	2262	3746	118.76		5.3%	
	3963	2275	3768	115.52		5.2%	
DISEÑO PATRON MAC	3939	2225	3733	120.19		5.5%	
	3973	2287	3789	109.13		4.9%	
	3994	2303	3813	107.04	112.72	4.7%	5.1%
	3958	2253	3774	107.92		4.9%	
	3971	2270	3768	119.34		5.4%	
ACI 3-20	3952	2257	3758	114.45		5.2%	
	3963	2260	3775	110.39		5.0%	
	3976	2289	3786	112.63	112.45	5.0%	5.0%
	3967	2264	3776	112.16		5.1%	
	3970	2283	3780	112.63		5.0%	
MAC 3-20	3986	2287	3805	106.53		4.8%	
	3934	2242	3742	113.48		5.1%	
	3992	2310	3809	108.80	109.26	4.8%	4.9%
	3986	2302	3800	110.45		4.9%	
	3980	2289	3799	107.04		4.8%	
ACI 3-25	3966	2250	3786	104.90		4.8%	
	3965	2270	3771	114.45		5.1%	
	3942	2230	3759	106.89	109.45	4.9%	5.0%
	3966	2251	3779	109.04		4.9%	
	3956	2259	3766	111.96		5.0%	
MAC 3-25	4005	2309	3813	113.21		5.0%	
	3918	2215	3705	125.07		5.7%	
	3969	2284	3756	126.41	119.81	5.7%	5.4%
	3940	2241	3741	117.13		5.3%	
	3976	2287	3778	117.23		5.2%	
ACI 3-30	3944	2212	3716	131.64		6.1%	
	3929	2201	3702	131.37		6.1%	
	3958	2220	3728	132.34	131.89	6.2%	6.1%
	3947	2218	3718	132.45		6.2%	
	3956	2224	3728	131.64		6.1%	
MAC 3-30	4005	2273	3792	122.98		5.6%	
	4006	2283	3785	128.26		5.8%	
	3930	2201	3701	132.45	128.00	6.2%	5.9%
	3983	2254	3767	124.93		5.7%	
	3978	2250	3751	131.37		6.1%	

DISEÑO	Ws (g)	Wi (g)	Wd (g)	ABSORCIÓN (KG/M3)		ABSORCIÓN (%)	
				INDIVIDUAL	PROMEDIO	INDIVIDUAL	PROMEDIO
ACI 7-20	3985	2305	3784	119.64	112.52	5.3%	5.1%
	3969	2255	3772	114.94		5.2%	
	3930	2232	3749	106.60		4.8%	
	3951	2260	3769	107.63		4.8%	
	3953	2257	3760	113.80		5.1%	
MAC 7-20	3919	2230	3727	113.68	113.46	5.2%	5.2%
	3978	2252	3780	114.72		5.2%	
	3996	2279	3805	111.24		5.0%	
	3934	2217	3739	113.57		5.2%	
	3936	2236	3742	114.12		5.2%	
ACI 7-25	3974	2264	3788	108.77	118.30	4.9%	5.4%
	3921	2237	3709	125.89		5.7%	
	4007	2280	3799	120.44		5.5%	
	3945	2255	3753	113.61		5.1%	
	3985	2283	3776	122.80		5.5%	
MAC 7-25	3918	2228	3701	128.40	118.72	5.9%	5.4%
	3924	2244	3738	110.71		5.0%	
	3978	2260	3800	103.61		4.7%	
	3945	2254	3735	124.19		5.6%	
	3919	2230	3705	126.70		5.8%	
ACI 7-30	3956	2233	3730	131.17	129.54	6.1%	6.0%
	3943	2220	3716	131.75		6.1%	
	3971	2242	3754	125.51		5.8%	
	3956	2227	3729	131.29		6.1%	
	3961	2234	3740	127.97		5.9%	
MAC 7-30	3941	2201	3717	128.74	129.94	6.0%	6.1%
	3985	2245	3756	131.61		6.1%	
	3942	2205	3721	127.23		5.9%	
	3950	2211	3722	131.11		6.1%	
	3970	2230	3742	131.03		6.1%	
ACI 12-20	3932	2198	3704	131.49	129.58	6.2%	6.0%
	3923	2192	3699	129.40		6.1%	
	3957	2234	3737	127.68		5.9%	
	3932	2200	3711	127.60		6.0%	
	3935	2212	3708	131.75		6.1%	
MAC 12-20	3921	2193	3693	131.94	130.35	6.2%	6.1%
	3999	2258	3783	124.07		5.7%	
	3955	2228	3726	132.60		6.1%	
	3951	2220	3724	131.14		6.1%	
	3965	2230	3736	131.99		6.1%	

DISEÑO	Ws (g)	Wi (g)	Wd (g)	ABSORCIÓN (KG/M3)		ABSORCIÓN (%)	
				INDIVIDUAL	PROMEDIO	INDIVIDUAL	PROMEDIO
ACI 12-25	3927	2184	3692	134.83	133.21	6.4%	6.2%
	4006	2258	3767	136.73		6.3%	
	3938	2195	3713	129.09		6.1%	
	3997	2253	3771	129.59		6.0%	
	3933	2188	3696	135.82		6.4%	
MAC 12-25	3928	2188	3699	131.61	132.97	6.2%	6.2%
	4001	2267	3777	129.18		5.9%	
	3954	2222	3720	135.10		6.3%	
	3967	2235	3733	135.10		6.3%	
	3931	2198	3699	133.87		6.3%	
ACI 12-30	3935	2201	3696	137.83	132.62	6.5%	6.2%
	3960	2218	3729	132.61		6.2%	
	3951	2201	3729	126.86		6.0%	
	3953	2203	3722	132.00		6.2%	
	3953	2219	3721	133.79		6.2%	
MAC 12-30	3987	2253	3759	131.49	130.92	6.1%	6.1%
	4005	2265	3776	131.61		6.1%	
	3954	2222	3728	130.48		6.1%	
	3999	2262	3772	130.69		6.0%	
	3961	2227	3735	130.33		6.1%	

Anexo 5 Fichas técnicas



FICHA TECNICA COLOR RODAMINA B

NOMBRE DEL PRODUCTO / DESCRIPCION

Color Rodamina B. Polvo soluble en agua (150 g/l a 20°C), dando solución rosada, esta disolución se vuelve rosado intenso en medio alcalino, es poco soluble en etanol (0.1 g/l) con regular estabilidad a la oxidación, y a pH 3, pH 7, pH 8.

COMPOSICION

Rodamina B (Pureza 85% mín., 15% Cloruros y Sulfatos),

CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS Y MICROBIOLÓGICAS

Aspecto:	Polvo
Color:	Verde oscuro
Olor:	Inodoro
Pureza	85 % Mín.
Materia insoluble en agua	0.2 % Max.
Metales pesados (como Plomo)	40 ppm Máx.
Arsénico (As)	3 ppm Máx.
Plomo (Pb)	2 ppm Máx.

MICROBIOLÓGICO: NO APLICA

TRATAMIENTO DE CONSERVACION

NO APLICA

PRESENTACION - ENVASES - EMBALAJES

Tambores por 25 kg., con polietileno interior, bolsas de polietileno



INSTRUCCIONES DE USO

Colorante, especialmente para alimentos, siempre y cuando se declare en la lista de ingredientes el uso de este color; fármacos y cosméticos.

CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO

El Colorante, se debe almacenar herméticamente sellados en ambientes secos y frescos

VIDA UTIL

2 años.

CONTENIDO DEL ROTULADO

Nombre del producto, número de lote, Fecha de fabricación, fecha de vencimiento, número de lote.

GREEN INSUQUIMICA SAC

La Calidad es lo Primero

Central Telefónica: 719 - 6949 Móvil WhatsApp: 993 - 523 - 032

Email: ventas@insuquimica.com / Web site: www.insuquimica.com



CERTIFICATE OF ANALYSIS
RHODAMINE B

BATCH NO.		S09300923
QUANTITY		1000 KG
CHARACTERISTIC	SPECIFICATION	RESULTS
PURE DYE CONTENT (ON DRY BASIS AT 105° C)	MIN. 85.00 %	89.50 %
WATER INSOLUBLE MATTER	MAX. 0.2 %	0.126 %
LEAD(As⁺ Pb⁺)	MAX. 2 PPM	0.62 PPM
ARSENIC(As⁺ As⁺)	MAX. 3 PPM	0.42 PPM
HEAVY METALS	MAX. 40 PPM	4.5 PPM
MANUFACTURING DATE		27SEP-2023
EXPIRY DATE		26SEP-2026

Note : Above specification As Per EU Regulation No. : 231/2012

FOR AJANTA CHEMICAL INDUSTRIES



QUALITY CONTROL INCHARGE

Roli
Checked By

Sucursales:

Lima Este

Lima Centro

Lima Norte

Jr. Vara de oro 186 Zárate – SJL | Jr. Mariscal Miller 1663 – Lince | Av. Alfredo Mendiola 6466 – SMP

Central de ventas: 01 719 – 6949 | RPC: 993 - 523 - 032

Email: ventas@insuquimica.com / Web site: www.insuquimica.com

Anexo 6 Constancia de Uso de Laboratorio de la UCSM



Universidad Católica
de Santa María

AREQUIPA-PERU

(51 54) 382038 <http://www.ucsm.edu.pe> [facebook.com/ucsm.edu.pe](https://www.facebook.com/ucsm.edu.pe)

CONSTANCIA

ID-010426

El que suscribe, **Mgter. Ing. RUBEN FRANCISCO GAMARRA TUCO**, Coordinador de los Laboratorios FAICA, de la Universidad Católica de Santa María de Arequipa.

HACE CONSTAR

Que el (los) Señor(es) Bachiller(es) en Ingeniería Civil:

LUIS EDUARDO BENIQUE QUISPE (DNI - 74771970)

ANGELA MILUSKA CHAYÑA GOMEZ (DNI - 74294751)

Ha realizado los ensayos en los Laboratorios de Ingeniería Civil, correspondientes a su trabajo de tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con la tesis denominada:

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL ADOQUÍN CON LA ADICIÓN DE CENIZA VOLCÁNICA Y TIO₂ BAJO LAS METODOLOGÍAS ACI Y MODELO DE ACOMODO COMPRESIBLE, AREQUIPA 2024”

Los ensayos efectuados en el laboratorio se detallan en el Anexo I del presente, se llevaron a cabo el 13/11/2023 al 08/08/2024.

El total resultante según el tarifario 2024 como DERECHO USO LABORATORIO POR TESIS, se categoriza con descuento en la opción “3”, de acuerdo a la autorización de la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil se dispone:

USO DE EQUIPOS TESIS		TOTAL A PAGAR POR TESIS S/	COMPROBANTE DE PAGO
TOTAL RESULTANTE S/	OPCIÓN “3” SE COBRA EL PORCENTAJE SEGÚN TOTAL RESULTANTE DE LA TABLA COSTO TESISISTAS	935.55	B017-00003275
2573.00	35%		

Se expide la presente constancia para los fines convenientes.

Arequipa, 20 de diciembre del 2024.



Mgter. Ing. Rubén Francisco Gamarra Tuco
Coordinador de los Laboratorios FAICA



Universidad Católica
de Santa María

AREQUIPA-PERÚ

(51 54) 382038

http://www.ucsm.edu.pe

facebook.com/ucsm.edu.pe/

ANEXO 1

ITEM	ENSAYO	CANT.	C.U. al 25%	PARCIAL S/
ENSAYOS EN AGREGADOS				
1	Abrasión Los Ángeles (L.A.) al Desgaste de los Agregados de Tamaños Menores a 1 1/2"	1	28.00	28.00
2	Análisis Granulométrico de agregado grueso	3	10.00	30.00
3	Análisis Granulométrico de Agregados Grueso y Finos - Incluye Módulo de Fineza	3	10.00	30.00
4	Contenido de Humedad de Agregados	8	5.00	40.00
5	Peso Específico y Absorción de Agregado Fino	1	12.00	12.00
6	Peso Específico y Absorción de Agregado Grueso	1	12.00	12.00
7	Peso Unitario del Agregado Fino (suelto y varillado)	1	13.00	13.00
8	Peso Unitario del Agregado Global (suelto y varillado)	1	15.00	15.00
ENSAYOS EN CONCRETO DE CEMENTO PORTLAND				
9	Compresión de Adoquines de Concreto	379	4.00	1516.00
10	Curado de muestras de concreto	379	1.00	379.00
11	Asentamiento del concreto de cemento portland (slump)	9	1.00	9.00
12	Temperatura del concreto en estado fresco	9	1.00	9.00
ENSAYOS EN CEMENTOS				
13	Finura del cemento	3	4.00	12.00
ENSAYOS DE ALBAÑILERÍA				
14	Absorción de Unidades	20	19.00	380.00
15	Dimensionamiento	20	8.00	160.00
ANÁLISIS QUÍMICOS EN SUELOS, AGREGADOS Y OTROS				
16	Azul de metileno	2	14.00	28.00
			TOTAL	2673.00





Universidad Católica
de Santa María

AREQUIPA-PERÚ

(51 54) 382038

<http://www.ucsm.edu.pe>

[facebook.com/ucsm.edu.pe/](https://www.facebook.com/ucsm.edu.pe/)

CONSTANCIA

ID-010426

La que suscribe, **Mgter. Ing. MILAGROS SOCORRO GUILLEN MALAGA**, Directora de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil -FAICA, de la Universidad Católica de Santa María de Arequipa.

HACE CONSTAR

Que el (los) Señor(es) Bachiller(es) en Ingeniería Civil:

LUIS EDUARDO BENIQUE QUISPE (DNI - 74771970)

ANGELA MILUSKA CHAYÑA GOMEZ (DNI - 74294751)

Ha realizado los ensayos adicionales en los Laboratorios de Ingeniería Civil, correspondientes a su trabajo de tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con la tesis denominada: **"EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL ADOQUÍN CON LA ADICIÓN DE CENIZA VOLCÁNICA Y TIO₂ BAJO LAS METODOLOGÍAS ACI Y MODELO DE ACOMODO COMPRESIBLE, AREQUIPA 2024"**

Los ensayos efectuados en el laboratorio se detallan en el Anexo 1 del presente, se llevaron a cabo el 07/01/2025 al 08/01/2025.

El total resultante según el tarifario 2024 como DERECHO USO LABORATORIO POR TESIS, se categoriza con descuento en la **opción "1"**, de acuerdo a la autorización de la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil se dispone:

USO DE EQUIPOS TESIS		TOTAL A PAGAR POR TESIS S/	COMPROBANTE DE PAGO
TOTAL RESULTANTE S/	OPCIÓN "1" SE COBRA EL TOTAL RESULTANTE DE LA TABLA COSTO TESISISTAS	114.00	B017-00003277
114.00	100%		

Se expide la presente constancia para los fines convenientes.

Arequipa, 20 de marzo del 2025.



Mtra. Milagros Socorro Guillén Málaga
Directora(e) de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil
Urb. San José s/n Limacofu, Arequipa - Perú.
www.ucsm.edu.pe



ANEXO 1

ITEM	ENSAYO	CANT.	C.U. al 25%	PARCIAL S/
ENSAYOS EN AGREGADOS				
1	Peso Específico y Absorción de Agregado Fino	3	12.00	36.00
ENSAYOS EN CEMENTOS				
2	Peso específico del cemento	3	13.00	39.00
3	Peso específico de ceniza	3	13.00	39.00
TOTAL				114.00



Mtra. Milagros Socorro Guillén Málaga
Directora(e) de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil
Urb. San José s/n Umacollo, Arequipa - Perú
www.ucsm.edu.pe