UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis

Incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña en la fabricación de pavimentos intertrabados para mejorar sus propiedades mecánicas y fotocatalíticas, Abancay, Apurímac 2025

Presentado por:

Alejandro Arata Paniura

Para optar el título de Ingeniero Civil

Abancay, Perú

2026

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

Incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña en la fabricación de pavimentos intertrabados para mejorar sus propiedades mecánicas y fotocatalíticas, Abancay, Apurímac 2025

Presentado por **Alejandro Arata Paniura**, para optar el título de Ingeniero Civil

Sustentado y aprobado el 10 de agosto del 2026 ante el jurado evaluador:

Presidente: *PhD. Ing. Lucy Marisol Guanuchi Orellana*

Primer miembro: *Ing. Fanny Silva Noriega*

Segundo miembro: *Ing. Edison Ponce Torres*

Asesor: *Mtro. Jinmer Bravo Apaza*

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD
Nº 230-2026

La Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, a través de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería declara que, el Informe de Tesis titulada: **Incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña en la fabricación de pavimentos intertrabados para mejorar sus propiedades mecánicas y fotocatalíticas, Abancay, Apurímac 2025**, presentado por el bachiller; **Alejandro Arata Paniura**, para optar el Título de **Ingeniero Civil**; ha sido sometido a un mecanismo de evaluación y verificación de similitud, a través del Software Turnitin, siendo el índice de similitud ACEPTABLE de **(14%)** por lo que, cumple con los criterios de originalidad establecidos por la Universidad.

Abancay, 07 de agosto del 2026

Atentamente,

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
Dr. Walquer Huacani Calsin
DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA

C. c.
Archivo
WHC/ DUI-FI
Yovana/sec
REG. N° 801

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

Agradecimientos

Agradezco a Dios por brindarme la fortaleza y sabiduría durante el desarrollo de esta investigación. Asimismo, expreso mi agradecimiento a mis docentes y asesor por su orientación y apoyo constante. Esta tesis fue seleccionada y financiada parcialmente por el Vicerrectorado de Investigación de la UNAMBA, mediante el concurso de subvención de proyectos de tesis 2025.

Alejandro Arata Paniura

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

Dedicatoria

Dedico el presente trabajo a mis padres Luis Arata Molina y Julia Paniura Sucantaype a mi familia, por su apoyo incondicional y por ser el pilar fundamental en mi formación personal y profesional. A quienes me motivaron a seguir adelante y alcanzar cada una de mis metas.

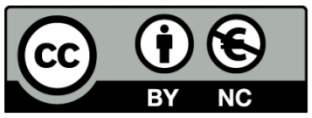
Alejandro Arata Paniura

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

Incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña en la fabricación de pavimentos intertrabados para mejorar sus propiedades mecánicas y fotocatalíticas, Abancay, Apurímac 2025

Línea de investigación: Ingeniería de materiales.

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons.



Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

ÍNDICE

		Pág.
INTRODUCCIÓN		1
RESUMEN		2
ABSTRACT		3
CAPÍTULO I		4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA		4
1.1	Descripción del problema	4
1.2	Enunciado del problema	6
1.2.1	Problema general	6
1.2.2	Problemas específicos	6
1.3	Justificación de la investigación	6
CAPÍTULO II		8
OBJETIVOS E HIPÓTESIS		8
2.1	Objetivos de la investigación	8
2.1.1	Objetivo general	8
2.1.2	Objetivos específicos	8
2.2	Hipótesis de la investigación	8
2.2.1	Hipótesis general	8
2.2.2	Hipótesis específicas	9
2.3	Operacionalización de variables	9
CAPÍTULO III		11
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL		11
3.1	Antecedentes	11
3.1.1	Antecedentes internacionales	11
3.1.2	Antecedentes nacionales	13
3.1.3	Antecedentes regionales	15
3.1.4	Antecedentes locales	15
3.2	Marco teórico	17
3.2.1	Pavimentos	17
3.2.2	Clasificación de los pavimentos	17
3.2.3	Pavimentos intertrabados de concreto	18
3.2.3.1	Principio de funcionamiento	18
3.2.3.2	Ventajas de los pavimentos intertrabados	19
3.2.4	Adoquines de concreto para pavimentos intertrabados	19

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

3.2.4.1 Clasificación según la geometría 19
3.2.4.2 Criterios para la selección de la geometría 20
3.2.5 Adoquín hexagonal 20
3.2.5.1 Requisitos dimensionales 20
3.2.5.2 Justificación de la selección del adoquín hexagonal 21
3.2.6 Componentes y ejecución del sistema de pavimento intertrabado 21
3.2.6.1 Componentes del pavimento intertrabado 21
3.2.6.2 Ejecución del pavimento intertrabado 23
3.2.7 Materiales constituyentes del adoquín de concreto 24
3.2.8 Dióxido de titanio (TiO_2) 26
3.2.9 Fotocatálisis heterogénea 29
3.2.10 Ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBC) 29
3.2.11 Resistencia a la compresión 32
3.2.11.1 Ensayo de resistencia a la compresión 32
3.2.11.2 Justificación de la evaluación de la resistencia a la compresión 33
3.2.12 Actividad fotocatalítica 33
3.2.13 Rodamina B 33
3.2.14 Método de evaluación de la actividad fotocatalítica mediante Rodamina B (Norma UNI 11259:2008) 34
3.3 Marco conceptual 34
CAPÍTULO IV 38
METODOLOGÍA 38
4.1 Tipo y nivel de investigación 38
4.1.1 Tipo de investigación 38
4.1.2 Nivel de investigación 38
4.2 Diseño de la investigación 39
4.3 Descripción ética de la investigación 40
4.4 Población y muestra 40
4.4.1 Población 40
4.4.2 Muestra 41
4.4.3 Muestreo 43
4.5 Procedimiento 43
4.5.1 Selección y caracterización de los materiales 44
4.5.2 Diseño del grupo control por el método ACI 211.1 46
4.5.3 Dosificación de los grupos experimentales (7.5 %, 10 %, 15 %, 22.5 %) 48
4.5.4 Elaboración de las mezclas de concreto 49
4.5.5 Moldeo de especímenes de concreto 50
4.5.6 Curado de los especímenes briquetas y adoquines 50

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

4.5.7 Ensayos experimentales a los especímenes 51
4.6 Técnica e instrumentos 53
4.6.1 Técnicas 53
4.6.2 Instrumentos 53
4.6.3 Validación de instrumentos 54
4.7 Análisis estadístico 55
4.7.1 Estadística descriptiva 56
4.7.2 Estadística inferencial 56
CAPÍTULO V 60
RESULTADOS Y DISCUSIONES 60
5.1 Análisis de los resultados 60
5.1.1 Análisis de los resultados de la resistencia a la compresión 60
5.1.2 Análisis de los resultados de la eficacia fotocatalítica 62
5.2 Contrastación de hipótesis 64
5.2.1 Contrastación de hipótesis específica 1 64
5.2.2 Contrastación de hipótesis específica 2 69
5.2.3 Contrastación de hipótesis específica 3 73
5.2.4 Contrastación de hipótesis general 76
5.3 Discusión 77
CAPÍTULO VI 80
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 80
6.1 Conclusiones 80
6.2 Recomendaciones 81
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 83
ANEXOS 89

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1 — Cuadro de operacionalización de variables de la tesis "Incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña en la fabricación de pavimentos intertrabados para mejorar sus propiedades mecánicas y fotocatalíticas, Abancay, Apurímac 2025" 10

Tabla 2 — Requisitos geométricos de los adoquines de concreto 20

Tabla 3 — Función de los componentes del sistema de pavimento intertrabado 22

Tabla 4 — Límites de granulometría según ASTM 25

Tabla 5 — Principales propiedades del dióxido de titanio (TiO_2) 27

Tabla 6 — Fundamentación de las dosificaciones experimentales de dióxido de titanio 28

Tabla 7 — Principales propiedades de la ceniza de bagazo de caña de azúcar 30

Tabla 8 — Fundamentación de las dosificaciones experimentales de ceniza de bagazo de caña 31

Tabla 9 — Distribución de la población de especímenes utilizados en la investigación 41

Tabla 10 — Distribución de briquetas para el ensayo de resistencia a la compresión 42

Tabla 11 — Características de los especímenes utilizados en la investigación 42

Tabla 12 — Dosificación final de la mezcla del grupo control mediante el método ACI 47

Tabla 13 — Dosificación de materiales por bolsa de cemento (42.5 kg) 48

Tabla 14 — Dosificación de materiales del grupo control y los grupos experimentales 49

Tabla 15 — Validación de los instrumentos por juicio de expertos 54

Tabla 16 — Resultados de la resistencia a la compresión (kg/cm^2) según mezcla y edad de curado (días) 60

Tabla 17 — Registro fotográfico de la degradación de Rodamina B en un intervalo de 0 a 240 minutos 62

Tabla 18 — Resultados de la degradación fotocatalítica según tiempo de medición 63

Tabla 19 — Prueba de normalidad para la resistencia a la compresión 65

Tabla 20 — Prueba de homocedasticidad para la resistencia a la compresión 65

Tabla 21 — Prueba de efectos inter-sujetos para la resistencia a la compresión 66

Tabla 22 — Pruebas de comparación post hoc para la resistencia a la compresión 67

Tabla 23 — Subconjuntos homogéneos Tukey para la resistencia a la compresión 68

Tabla 24 — Prueba de normalidad para la eficacia fotocatalítica 69

Tabla 25 — Prueba de homocedasticidad para la eficacia fotocatalítica 70

Tabla 26 — Prueba de efectos inter-sujetos para la eficacia fotocatalítica 70

Tabla 27 — Pruebas de comparación post hoc para la eficacia fotocatalítica 71

Tabla 28 — Subconjuntos homogéneos Tukey para la eficacia fotocatalítica 72

Tabla 29 — Deseabilidades individuales para los factores evaluados 74

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

Tabla 30 — Deseabilidad global para la optimización del tipo de mezcla 75

Tabla 31 — Contrastación de hipótesis general 76

Tabla 32 — Matriz de consistencia de la tesis “Incorporación de dióxido de titanio (TiO2) en la fabricación de pavimentos intertrabados para mejorar sus propiedades mecánicas y fotocatalíticas, Abancay, Apurímac 2025” 90

Tabla 33 — Resumen de valoración de instrumentos 108

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1 — Pavimento intertrabado de concreto 18
Figura 2 — Clasificación de los adoquines según su geometría 19
Figura 3 — Elementos componentes del sistema 22
Figura 4 — Proceso constructivo de un pavimento intertrabado 24
Figura 5 — Nanopartículas fotocatalíticas 27
Figura 6 — Proceso fotocatalítico del dióxido de titanio (TiO_2) 29
Figura 7 — Máquina universal para ensayo de compresión 32
Figura 8 — Flujograma del procedimiento de la investigación 44
Figura 9 — Combustión del bagazo de caña en los hornos de la destilería Donayres 45
Figura 10 — Dióxido de titanio (TiO_2) utilizado en la investigación 45
Figura 11 — Materiales empleados en la elaboración de las mezclas 50
Figura 12 — Mezclado de los materiales que constituyen el concreto 50
Figura 13 — Ensayos de resistencia a la compresión de las briquetas 51
Figura 14 — Aplicación de la solución de Rodamina B 52
Figura 15 — Registro fotográfico del ensayo fotocatalítico 52
Figura 16 — Resistencia a la compresión (kg/cm^2) según edad (días) y dosificación 61
Figura 17 — Evolución de la resistencia a la compresión según edad y dosificación 61
Figura 18 — Comparación de la eficacia fotocatalítica por tiempo y dosificación 64
Figura 19 — Resultado de contenido de humedad agregado fino 92
Figura 20 — Resultado de contenido de humedad agregado grueso 93
Figura 21 — Resultado peso específico y absorción del agregado grueso 94
Figura 22 — Resultado del peso específico y absorción agregado fino 95
Figura 23 — Resultado análisis granulométrico agregado fino 96
Figura 24 — Resultado análisis granulométrico agregado grueso 97
Figura 25 — Resultado peso unitario agregado fino 98
Figura 26 — Resultado peso unitario agregado grueso 99
Figura 27 — Resultado diseño de mezcla parte 1 100
Figura 28 — Resultado diseño de mezcla parte 2 101
Figura 29 — Resultado resistencia a la compresión de la mezcla del grupo control 102
Figura 30 — Resultado resistencia a la compresión con una incorporación de 7.5 % 103
Figura 31 — Resultado resistencia a la compresión con una incorporación del 10 % 104
Figura 32 — Resultado resistencia a la compresión con una incorporación del 15 % 105
Figura 33 — Resultado resistencia a la compresión con una incorporación del 22.5 % 106

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

Figura 34 — Resultado del ensayo de degradación de rodamina B 107
Figura 35 — Valoración del experto N° 1 109
Figura 36 — Valoración del experto N° 2 110
Figura 37 — Valoración del experto N° 3 111
Figura 38 — Valoración del experto N° 4 112
Figura 39 — Declaración jurada de originalidad y de no plagio 113
Figura 40 — Dosificación de materiales con TiO_2 y CBC 114
Figura 41 — Preparación de la mezcla con TiO_2 y CBC 114
Figura 42 — Moldeo de briquetas con TiO_2 y CBC 115
Figura 43 — Ensayo de resistencia a la compresión de las briquetas de concreto 115
Figura 44 — Elaboración de moldes para adoquines hexagonales de concreto con dimensiones de 150 × 129.9 × 80 mm (L × A × E) 116
Figura 45 — Moldeo de adoquines hexagonales 116
Figura 46 — Vista panorámica de los adoquines hexagonales 117
Figura 47 — Preparación del ensayo de degradación fotocatalítica (RHB) 117
Figura 48 — Pesado de la solución de Rodamina B 118
Figura 49 — Preparación de la solución de Rodamina B para el ensayo de degradación 118
Figura 50 — Registro fotográfico de adoquines impregnados con rodamina B 119
Figura 51 — Delimitación de la región de interés (ROI) para el análisis digital 119
Figura 52 — Ficha técnica del dióxido de titanio (TiO_2) 120
Figura 53 — Certificado de calibración de horno - parte 1 121
Figura 54 — Certificado de calibración de horno - parte 2 122
Figura 55 — Certificado de calibración de balanza - parte 1 123
Figura 56 — Certificado de calibración de balanza - parte 2 124
Figura 57 — Certificado de calibración de tamiz N° 200 – parte 1 125
Figura 58 — Certificado de calibración de tamiz N° 200 – parte 2 126
Figura 59 — Certificado de calibración de tamiz N° 50 parte 1 127
Figura 60 — Certificado de calibración de tamiz N° 50 parte 2 128
Figura 61 — Certificado de calibración de tamiz N° 30 parte 1 129
Figura 62 — Certificado de calibración de tamiz N° 30 parte 2 130
Figura 63 — Certificado de calibración de tamiz de N° 16 – parte 1 131
Figura 64 — Certificado de calibración de tamiz de N° 16 – parte 2 132
Figura 65 — Certificado de calibración de tamiz de N° 04 – parte 1 133
Figura 66 — Certificado de calibración de tamiz de N° 04 – parte 2 134

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ACI — American Concrete Institute (Instituto Americano del Concreto)

ASTM — American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Ensayos y Materiales

CBC — Ceniza de bagazo de caña

DIGESA — Dirección General de Salud Ambiental e Inocuidad Alimentaria

HSV — Hue, Saturation and Value (Matiz, Saturación y Valor)

IRAM — Instituto Argentino de Normalización y Certificación

MTC — Ministerio de Transportes y Comunicaciones

NTP — Norma Técnica Peruana

ROI — Región de Interés

TiO_2 — Dióxido de Titanio

UNAMBA — Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac

UNI — Organismo Nacional Italiano de Normalización

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la contaminación atmosférica ocasionada por las emisiones del tránsito vehicular constituye uno de los principales problemas ambientales que afectan la calidad del aire y la salud pública en las zonas urbanas. En la ciudad de Abancay, el monitoreo de la calidad del aire ha evidenciado la presencia de contaminantes como material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$), dióxido de nitrógeno (NO_2), monóxido de carbono (CO), ozono troposférico (O_3) y dióxido de azufre (SO_2), con mayores concentraciones en las principales vías urbanas debido al elevado flujo vehicular. Asimismo, cerca del 40 % de la infraestructura vial pavimentada ha alcanzado o está próxima a cumplir su vida útil, lo que representa una oportunidad para incorporar materiales innovadores que, además de cumplir funciones estructurales, contribuyan a la reducción de contaminantes atmosféricos. En este contexto, el dióxido de titanio (TiO_2), por su elevada actividad fotocatalítica, y la ceniza de bagazo de caña, por sus propiedades puzolánicas y su aporte a la resistencia mecánica, constituyen una alternativa prometedora para el desarrollo de pavimentos intertrabados más sostenibles.

El objetivo general de la presente investigación fue determinar la influencia de la incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña sobre las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de los pavimentos intertrabados en Abancay, Apurímac, 2025. La investigación fue de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo, nivel explicativo y diseño experimental. La eficacia fotocatalítica se evaluó mediante el ensayo de degradación de Rodamina B y las propiedades mecánicas mediante ensayos de resistencia a la compresión. Finalmente, los resultados fueron analizados mediante estadística descriptiva e inferencial para contrastar las hipótesis planteadas.

La estructura de la tesis se organizó en seis capítulos: el Capítulo I presenta el planteamiento del problema; el Capítulo II desarrolla los objetivos e hipótesis de la investigación; el Capítulo III expone los antecedentes y el marco teórico; el Capítulo IV describe la metodología empleada; el Capítulo V presenta los resultados y su discusión; y el Capítulo VI comprende las conclusiones y recomendaciones. Finalmente, se incluyen las referencias bibliográficas y los anexos que complementan el desarrollo de la investigación.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

RESUMEN

La presente investigación surgió ante la problemática de la contaminación atmosférica generada por las emisiones del tránsito vehicular en la ciudad de Abancay, la cual ha motivado la búsqueda de materiales de construcción que, además de satisfacer los requerimientos mecánicos, contribuyan a la reducción de contaminantes presentes en el ambiente. Si bien el dióxido de titanio (TiO_2) ha demostrado un importante potencial fotocatalítico, aún existe limitada evidencia sobre su incorporación conjunta con ceniza de bagazo de caña y su influencia simultánea en las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de los pavimentos intertrabados. En ese contexto, el objetivo de la investigación fue determinar la influencia de la incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña sobre las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de los pavimentos intertrabados en Abancay, Apurímac, 2025.

La metodología correspondió a una investigación aplicada, de nivel explicativo y diseño experimental. Se evaluaron cinco tratamientos, conformados por un grupo control y cuatro tratamientos con incorporaciones de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña de 7.5 %, 10 %, 15 % y 22.5 %, determinándose la eficacia fotocatalítica mediante el ensayo de degradación de Rodamina B y la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días. Los resultados fueron analizados mediante pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk, homogeneidad de varianzas, ANOVA multifactorial y comparaciones múltiples de Tukey ($p<0.05$). La mayor eficacia fotocatalítica se obtuvo con la dosificación del 10 %, registrando un incremento del porcentaje de degradación de 78.13 % respecto al grupo control a los 240 minutos, mientras que la mayor resistencia a la compresión correspondió a la dosificación del 15 %, con un valor de 255.23 kg/cm² a los 28 días. Asimismo, la optimización multicriterio mediante la función de deseabilidad de Derringer y Suich identificó que la dosificación del 10 % presentó la mayor deseabilidad global (0.9195). Se concluye que la incorporación de dióxido de titanio y ceniza de bagazo de caña influye significativamente en las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de los pavimentos intertrabados, siendo la dosificación del 10 % la alternativa que proporciona la mejor respuesta entre ambas propiedades.

Palabras clave: *dióxido de titanio, ceniza de bagazo de caña, pavimentos intertrabados, resistencia a la compresión, fotocatálisis.*

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

ABSTRACT

This research arose from the need to address atmospheric pollution caused by vehicular traffic emissions in the city of Abancay, which has encouraged the development of construction materials capable of meeting mechanical requirements while contributing to the reduction of environmental pollutants. Although titanium dioxide (TiO_2) has demonstrated remarkable photocatalytic potential, there is still limited scientific evidence regarding its combined incorporation with sugarcane bagasse ash and its simultaneous influence on the mechanical and photocatalytic properties of interlocking concrete pavements. Therefore, the objective of this study was to determine the influence of incorporating titanium dioxide (TiO_2) and sugarcane bagasse ash on the mechanical and photocatalytic properties of interlocking concrete pavements in Abancay, Apurímac, 2025.

The research followed an applied approach with an explanatory level and an experimental design. Five treatments were evaluated, consisting of a control group and four treatments incorporating 7.5%, 10%, 15%, and 22.5% titanium dioxide (TiO_2) and sugarcane bagasse ash. Photocatalytic efficiency was determined using the Rhodamine B degradation test, while compressive strength was evaluated at 7, 14, and 28 days. The results were analyzed using the Shapiro-Wilk normality test, homogeneity of variance tests, multifactorial ANOVA, and Tukey's multiple comparison test ($p < 0.05$). The highest photocatalytic efficiency was achieved with the 10% dosage, showing a 78.13% increase in the Rhodamine B degradation percentage compared with the control group after 240 minutes of solar exposure, whereas the highest compressive strength was obtained with the 15 % dosage, reaching 255.23 kg/cm² at 28 days. Furthermore, multicriteria optimization using the Derringer and Suich desirability function identified the 10 % dosage as the optimum treatment, achieving the highest overall desirability value (0.9195). It is concluded that the incorporation of titanium dioxide and sugarcane bagasse ash significantly influences the mechanical and photocatalytic properties of interlocking concrete pavements, with the 10% dosage providing the best balance between both properties.

Keywords: *titanium dioxide, sugarcane bagasse ash, interlocking concrete pavements, compressive strength, photocatalysis.*

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

CAPÍTULO I
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

A nivel internacional, la contaminación atmosférica constituye uno de los principales riesgos para la salud pública y el desarrollo sostenible. La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2024) estima que el 99 % de la población mundial respira aire que no cumple las directrices de calidad del aire, identificándose como principales agentes contaminantes el material particulado (PM) y el conjunto de gases atmosféricos conformado por óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), ozono troposférico (O_3) y dióxido de azufre (SO_2), generados principalmente por el tránsito vehicular y las actividades industriales.

En el Perú, el crecimiento del parque automotor y la expansión urbana han incrementado las emisiones contaminantes. En respuesta a esta problemática, el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2024) realiza acciones de monitoreo y gestión de la calidad del aire en ciudades priorizadas, entre ellas Abancay, considerada una zona de atención prioritaria para la gestión de la calidad del aire.

En la provincia de Abancay, el monitoreo puntual realizado por la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA, 2026) en la estación C.S. Tamburco (E-03) registró concentraciones de PM_{10} de hasta 91,4 µg/m³. Asimismo, se reportó la presencia de otros contaminantes atmosféricos, como NO_2 (10,67–15 µg/m³), CO (93–223,33 µg/m³), O_3 (13,57–32 µg/m³), SO_2 (1–1,6 µg/m³) y $PM_{2.5}$ (3,55–15 µg/m³), evidenciando contaminación atmosférica en el área urbana. Aunque esta problemática afecta a todo Abancay, las mayores concentraciones se presentan en las principales vías urbanas, como las avenidas Díaz Bárcenas, Canadá, Centenario y Núñez, así como en los jirones Arequipa, Lima y Puno, debido al elevado flujo vehicular, la congestión y la circulación de unidades con varios años de antigüedad, factores que incrementan la emisión de contaminantes.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

Frente a esta problemática, la ingeniería civil viene impulsando el desarrollo de materiales con capacidad para contribuir a la mejora de la calidad ambiental. En ese contexto, los pavimentos intertrabados representan una alternativa sostenible por su facilidad constructiva, mantenimiento y potencial para incorporar materiales fotocatalíticos. investigaciones recientes, como la de Benique y Chayña (2024), demostraron que la incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) mejora el desempeño fotocatalítico de los adoquines; sin embargo, aún es limitada la evidencia científica sobre su uso conjunto con ceniza de bagazo de caña.

Según la Gerencia de Desarrollo Urbano de la Municipalidad Provincial de Abancay (2026), aproximadamente el 70 % de la infraestructura vial corresponde a pavimentos rígidos, el 27 % a pavimentos flexibles y solo el 3 % a pavimentos intertrabados. Asimismo, cerca del 40 % de la infraestructura vial pavimentada ha alcanzado o está próxima a cumplir su vida útil, motivo por el cual la municipalidad ejecuta proyectos de construcción, mejoramiento y rehabilitación de vías urbanas. En este contexto, los pavimentos intertrabados con propiedades fotocatalíticas representan una alternativa viable para su incorporación en vías urbanas de tránsito vehicular ligero, especialmente en los corredores con mayor concentración de emisiones, como las avenidas antes mencionadas, además de veredas, parques, plazuelas, alamedas y otros espacios públicos.

No obstante, en la ciudad de Abancay no se identificaron investigaciones que evalúen de manera conjunta la incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña en pavimentos intertrabados, considerando simultáneamente su comportamiento mecánico y su eficacia fotocatalítica. En consecuencia, no existe evidencia técnica que permita establecer una dosificación óptima para su aplicación bajo las condiciones ambientales de la ciudad.

En ese contexto, la presente investigación surge para evaluar la incorporación de diferentes porcentajes de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña en la fabricación de pavimentos intertrabados, con el propósito de mejorar sus propiedades mecánicas y fotocatalíticas. Los resultados servirán como base para su futura aplicación en vías urbanas de tránsito vehicular ligero con alta concentración de emisiones, así como en veredas, parques, plazuelas, alamedas y otros espacios públicos del distrito de Abancay, contribuyendo al desarrollo de infraestructura urbana más sostenible y a la reducción localizada de contaminantes atmosféricos.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

1.2 Enunciado del problema

1.2.1 Problema general

¿Cómo influye la incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña en las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de los pavimentos intertrabados, Abancay, Apurímac 2025?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cómo influye la incorporación de diferentes porcentajes de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña en la resistencia a la compresión de los pavimentos intertrabados, Abancay, Apurímac, 2025?

- ¿Cómo influye la incorporación de diferentes porcentajes de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña en la eficacia fotocatalítica de los pavimentos intertrabados, evaluada mediante la degradación de Rodamina B, en Abancay, Apurímac, 2025?

- ¿Cuál es la dosificación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña que presenta la mejor respuesta mecánica y fotocatalítica entre los tratamientos evaluados para la fabricación de pavimentos intertrabados en Abancay, Apurímac, 2025?

1.3 Justificación de la investigación

La contaminación atmosférica ocasionada por las emisiones del tránsito vehicular constituye una problemática ambiental que afecta la calidad del aire y la salud de la población en la ciudad de Abancay, donde se registraron concentraciones de PM_{10} de hasta 91,4 $\mu g/m^3$, con mayores niveles de contaminación en vías de alto flujo vehicular en las avenidas principales de la ciudad. Frente a esta realidad, la presente investigación adquiere relevancia por su impacto ambiental y social, al demostrar que la incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña en pavimentos intertrabados constituye una alternativa sostenible que contribuye a la reducción de contaminantes atmosféricos, promueve el aprovechamiento de residuos agroindustriales y favorece el desarrollo de infraestructura urbana con beneficios para la calidad del ambiente y el bienestar de la población.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

La relevancia de esta investigación reside en haber determinado la influencia de la incorporación conjunta de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña sobre las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de los pavimentos intertrabados. En el ámbito de la ingeniería civil, los resultados permitieron identificar la dosificación que presenta la mejor respuesta integral, proporcionando criterios técnicos para el diseño y la fabricación de pavimentos con capacidad fotocatalítica y favoreciendo el desarrollo de materiales cementicios multifuncionales para futuras aplicaciones en infraestructura urbana.

La investigación presenta un carácter original para la ciudad de Abancay y la región Apurímac, debido a que no se identificaron antecedentes experimentales que evalúen conjuntamente la incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña considerando simultáneamente las propiedades mecánicas y la eficacia fotocatalítica de los pavimentos intertrabados. Asimismo, la aplicación de la optimización multicriterio mediante la función de deseabilidad de Derringer y Suich permitió determinar la dosificación con la mejor respuesta global, constituyendo un aporte metodológico para futuras investigaciones sobre materiales cementicios funcionales.

El principal aporte científico y tecnológico consistió en generar evidencia experimental sobre el comportamiento mecánico y la eficacia fotocatalítica de pavimentos intertrabados modificados con dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña bajo las condiciones de Abancay, Apurímac. Los resultados obtenidos proporcionan criterios técnicos para futuras investigaciones y constituyen una base para el diseño de pavimentos urbanos con propiedades fotocatalíticas, especialmente en vías con mayor concentración de emisiones vehiculares en el distrito de Abancay, contribuyendo al fortalecimiento del conocimiento sobre materiales cementicios funcionales y al desarrollo de una infraestructura urbana más sostenible.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

CAPÍTULO II
OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos de la investigación

2.1.1 Objetivo general

Determinar la influencia de la incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña sobre las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de los pavimentos intertrabados en Abancay, Apurímac, 2025.

2.1.2 Objetivos específicos

- Determinar la influencia de la incorporación de diferentes porcentajes de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña en la resistencia a la compresión de los pavimentos intertrabados en Abancay, Apurímac, 2025.

- Determinar la influencia de la incorporación de diferentes porcentajes de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña en la eficacia fotocatalítica de los pavimentos intertrabados, evaluada mediante la degradación de Rodamina B, en Abancay, Apurímac, 2025.

- Determinar la dosificación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña que presenta la mejor respuesta mecánica y fotocatalítica entre los tratamientos evaluados para la fabricación de pavimentos intertrabados en Abancay, Apurímac, 2025.

2.2 Hipótesis de la investigación

2.2.1 Hipótesis general

La incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña influye significativamente sobre las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de los pavimentos intertrabados, Abancay, Apurímac, 2025.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

2.2.2 Hipótesis específicas

- La incorporación de diferentes porcentajes de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña influye significativamente en la resistencia a la compresión de los pavimentos intertrabados en Abancay, Apurímac, 2025.

- La incorporación de diferentes porcentajes de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña influye significativamente en la eficacia fotocatalítica de los pavimentos intertrabados, evaluada mediante la degradación de Rodamina B, en Abancay, Apurímac, 2025.

- Existe una dosificación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña que presenta la mejor respuesta mecánica y fotocatalítica entre los tratamientos evaluados para la fabricación de pavimentos intertrabados en Abancay, Apurímac, 2025.

2.3 Operacionalización de variables

A continuación, se muestra el cuadro de operacionalización de variables.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

Tabla 1 — Cuadro de operacionalización de variables de la tesis "Incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña en la fabricación de pavimentos intertrabados para mejorar sus propiedades mecánicas y fotocatalíticas, Abancay, Apurímac 2025"

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Item/und	Instrumentos
Independiente **X:** Incorporación de dióxido de titanio (TiO2) y ceniza de bagazo de caña	Dióxido de titanio (TiO_2): Material semiconductor con propiedades fotocatalíticas que favorece la degradación de contaminantes y confiere capacidad de autolimpieza a los materiales cementicios. (CASTRO HOYOS, et al., 2022) Ceniza de bagazo de caña: Material cementante con actividad puzolánica obtenido de residuos agroindustriales, utilizado como sustitución parcial del cemento para mejorar el desempeño de materiales cementicios. (KOLAWOLE, et al., 2021)	Se incorporarán diferentes porcentajes de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña como sustitución parcial del cemento Portland en la fabricación de pavimentos intertrabados para evaluar su influencia sobre las propiedades mecánicas y fotocatalíticas.	Incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña	Grupo control (Sin incorporación de TiO_2 ni ceniza de bagazo de caña) Incorporación de TiO_2 + ceniza de bagazo de caña (7.5 %, 10 %, 15 % y 22.5 %)	Porcentaje (%)	Diseño de mezcla del grupo control Diseño de mezcla + TiO_2 + Ceniza de bagazo de caña
Dependiente: **Y1:** Propiedades mecánicas.	Las propiedades mecánicas del concreto son las características que determinan su comportamiento frente a cargas externas, siendo la resistencia a la compresión uno de los principales parámetros para evaluar su desempeño estructural. (MAKUL, 2021)	Se determinarán mediante el ensayo de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días de curado.	Resistencia a la compresión	Fuerza máxima soportada	MPa,	Máquina universal de ensayo de compresión
Dependiente: **Y2:** Propiedades fotocatalíticas.	Son las propiedades que permiten a un material acelerar reacciones fotocatalíticas bajo la acción de la luz, favoreciendo la degradación de contaminantes y la autolimpieza de su superficie. (TANG, et al., 2024).	Se determinarán mediante el ensayo de degradación de Rodamina B en pavimentos intertrabados expuestos a radiación solar.	Autolimpieza (Self-cleaning)	Ensayo de degradación de Rodamina B	Porcentaje (%)	Fichas de recolección de datos

CAPÍTULO III
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1 Antecedentes

3.1.1 Antecedentes internacionales

Teles et al. (2025), en la investigación titulada “Evaluación del efecto autolimpiante promovido por la aspersión de fotocatalizadores en morteros de revestimiento”, presentado en el XV Simposio Brasileño de Tecnología de los Morteros, buscaron evaluar el efecto autolimpiante de morteros de revestimiento mediante la aplicación por aspersión de fotocatalizadores TiO_2 y ZnO en concentraciones de 5 %, 10 % y 15 %, utilizando como indicador la degradación del colorante Rodamina B después de la exposición al intemperismo natural y al envejecimiento acelerado. Los resultados evidenciaron que el TiO_2 presentó una mayor eficiencia fotocatalítica que el ZnO en todas las concentraciones evaluadas, alcanzando su mejor desempeño con la concentración del 15 %. Los autores concluyeron que el dióxido de titanio es el fotocatalizador más eficiente para desarrollar superficies cementicias con propiedades autolimpiantes, debido a su mayor capacidad de degradación fotocatalítica frente al ZnO.

Barros Santos, E., et al. (2025), publicaron el artículo “Estudio de las propiedades de las pastas de cemento Portland modificadas con nanopartículas de dióxido de titanio”, en la Revista UNIVAP, evaluaron el efecto de nanopartículas de TiO_2 en concentraciones de 0.1 % y 0.5 % sobre las propiedades físicas y mecánicas de pastas de cemento Portland. Los resultados evidenciaron que la incorporación de TiO_2 no produjo cambios significativos en la resistencia a la compresión, pero sí mejoró la durabilidad al reducir la penetración de cloruros y aumentar la resistencia frente al ataque ácido. Los autores concluyeron que las nanopartículas de TiO_2 representan un aditivo eficaz para incrementar la resistencia del cemento frente a ambientes agresivos, favoreciendo la durabilidad de los materiales de construcción.

Palanisamy et al. (2023), a través del artículo científico “Estudio del comportamiento del mortero de cemento con dióxido de titanio (TiO_2) como fotocatalizador

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

autolimpiante", publicado en la revista Advances in Materials Science and Engineering, evaluaron el comportamiento mecánico, la durabilidad y la actividad fotocatalítica de morteros de cemento con 4 %, 5 % y 6 % de TiO_2. Para ello realizaron ensayos de resistencia a la compresión, velocidad de pulso ultrasónico, resistencia al ataque por ácido y sulfatos, y evaluaron el efecto autolimpiante mediante la decoloración de Rodamina B. Los resultados evidenciaron que la dosificación de 5 % de TiO_2 alcanzó la mayor resistencia a la compresión (17.2 MPa), superando en 10.96 % al mortero convencional (15.5 MPa), además de presentar una mayor densificación microestructural y mejor desempeño frente al ataque químico. Los autores concluyeron que la incorporación del 5 % de TiO_2 constituye la dosificación óptima para mejorar simultáneamente las propiedades mecánicas, la durabilidad y la capacidad autolimpiante de los morteros de cemento.

Hussien, N. T. y Oan, A. F. (2022), en la publicación científica "Uso de residuos de caña de azúcar en el concreto", publicado en la revista Journal of Engineering and Applied Science, buscaron evaluar el efecto de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBC) como sustituto parcial del cemento en morteros (5 %, 10 % y 20 %) y concretos (5 %, 7.5 % y 10 %). Los resultados evidenciaron que la dosificación del 5 % de CBC presentó el mejor comportamiento mecánico, incrementando la resistencia a la compresión del concreto en 17 % a los 7 días y 20.4 % a los 28 días, además de aumentar la resistencia a la tracción indirecta en 33.2 % respecto al concreto convencional. Asimismo, observaron que porcentajes superiores al 5 % ocasionaron una disminución progresiva de las propiedades mecánicas. Los autores concluyeron que la incorporación del 5 % de CBC constituye la dosificación óptima para mejorar la resistencia mecánica del concreto y reducir el consumo de cemento Portland.

Thomas et al. (2021), en su trabajo científico "Revisión del estado del arte sobre el uso de la ceniza de bagazo de caña de azúcar en materiales cementicios", publicado en la revista Cleaner Materials, realizaron una revisión sobre el uso de la ceniza de bagazo de caña de azúcar como material cementante suplementario en concretos y morteros. Los autores determinaron que este residuo posee un elevado contenido de sílice amorfa que favorece las reacciones puzolánicas, observándose que reemplazos parciales del cemento entre 10 % y 20 % incrementan la resistencia a la compresión, reducen la permeabilidad y mejoran la resistencia frente a agentes agresivos.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

Concluyeron que la ceniza de bagazo de caña constituye una alternativa sostenible para disminuir el consumo de cemento Portland y mejorar simultáneamente las propiedades mecánicas y de durabilidad de los materiales cementicios.

3.1.2 Antecedentes nacionales

Apaza et al. (2024), publicaron el artículo "Evaluación de ladrillos fotocatalíticos con adición de dióxido de titanio (TiO_2) para capturar el dióxido de carbono (CO_2) en la región de Tacna", publicado en Ciencia y Educación, buscaron evaluar la influencia de la incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) en la capacidad de captura de CO_2 de ladrillos fotocatalíticos, empleando dosificaciones de 0 %, 5 %, 10 % y 20 % de TiO_2 respecto al peso del cemento. Los resultados evidenciaron que la eficiencia de captura de CO_2 aumentó conforme se incrementó el contenido de TiO_2, alcanzando valores promedio de 139,6 ppm, 316,6 ppm y 631 ppm para las dosificaciones de 5 %, 10 % y 20 %, respectivamente. No obstante, los autores seleccionaron la dosificación del 10 % para la fabricación de ladrillos comerciales por ofrecer el mejor equilibrio entre eficiencia fotocatalítica y costo. Concluyeron que el TiO_2 constituye una alternativa viable para desarrollar materiales de construcción con capacidad de reducir la contaminación atmosférica mediante la captura de CO_2.

Benique y Chayña (2024), presentaron la investigación "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", desarrollada en la Universidad Católica de Santa María, evaluaron adoquines de concreto con diferentes porcentajes de TiO_2 y ceniza volcánica. Los resultados mostraron que la mezcla con 7 % de TiO_2 y 25 % de ceniza volcánica alcanzó una resistencia a la compresión de 420.78 kgf/cm², una absorción de agua de 5.4 % y una degradación fotocatalítica de Rodamina B del 73.2 %, superando ampliamente a los adoquines convencionales. Además, esta dosificación permitió reducir en 20.3 % el costo de producción, concluyendo que representa una alternativa técnica, ambiental y económicamente viable para la fabricación de pavimentos fotocatalíticos.

Apaza y Mamani (2024), desarrollaron la investigación "Influencia del dióxido de titanio y la radiación infrarroja en el comportamiento físico, mecánico y químico del pavimento semirrígido, Puno – 2023", evaluaron adoquines con contenidos de TiO_2 de 0 %, 7 %, 10 % y 13 % sometidos a radiación infrarroja para analizar sus

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

propiedades físicas, mecánicas y químicas. Los resultados indicaron que la dosificación de 7 % de TiO_2 presentó el mejor desempeño, alcanzando una densidad de 2.14 g/cm², absorción de agua de 4.04 %, resistencia a la compresión de 401.03 kg/cm² y módulo de elasticidad de 38,790.10 MPa, mientras que porcentajes mayores redujeron las propiedades mecánicas y físicas del material. Los autores concluyeron que la incorporación del 7 % de TiO_2 constituye la alternativa más adecuada para mejorar el comportamiento integral de los pavimentos semirrígidos.

Espinoza Huapaya y Lázaro Olano (2022), realizaron la investigación "Ceniza de bagazo de caña de azúcar para mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto estructural", buscaron evaluar la influencia de la sustitución parcial del cemento Portland por ceniza de bagazo de caña de azúcar en las propiedades físico-mecánicas del concreto estructural, mediante dosificaciones de 0 %, 5 %, 10 %, 15 % y 20 % de reemplazo. Los resultados evidenciaron que la sustitución del 5 % presentó el mejor comportamiento mecánico, al incrementar la resistencia a la compresión y mantener una adecuada trabajabilidad del concreto, mientras que porcentajes superiores produjeron una disminución progresiva de sus propiedades. Los autores concluyeron que la incorporación del 5 % de ceniza de bagazo de caña de azúcar constituye la dosificación más adecuada para mejorar el desempeño del concreto estructural y reducir el consumo de cemento Portland mediante el aprovechamiento de un residuo agroindustrial.

Ruelas Mollesaca y Yucra Mamani (2022), en el estudio titulado "Comportamiento del concreto con adición de ceniza de bagazo de caña de azúcar como sustituto parcial del cemento Portland en las mezclas de concreto normal", evaluaron el comportamiento mecánico del concreto mediante la sustitución parcial del cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar en cinco dosificaciones: 0 % , 1 %, 2 %, 2,5 % y 5 %. La investigación fue de enfoque cuantitativo y diseño experimental, evaluándose las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido mediante ensayos de resistencia a la compresión, tracción y flexión. Los resultados demostraron que la dosificación de 2,5 % constituyó el porcentaje óptimo de sustitución, al presentar mejoras en las propiedades mecánicas del concreto y una mejor relación costo-beneficio respecto a la mezcla convencional. Los autores concluyeron que la incorporación parcial de ceniza de bagazo de caña de azúcar

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

representa una alternativa técnica y ambientalmente viable para reducir el consumo de cemento Portland sin afectar el desempeño del concreto.

3.1.3 Antecedentes regionales

Vargas Bautista (2024), desarrolló el proyecto de tesis "Influencia de la ceniza de cabuya en el concreto f'c = 280 kg/cm² para pavimento rígido, avenida Cultura, distrito de Pacucha, provincia de Andahuaylas, Apurímac – 2024", buscó evaluar la influencia de la incorporación de 2 %, 4 % y 6 % de ceniza de cabuya como sustituto parcial del cemento en un concreto para pavimento rígido. Los resultados evidenciaron que la incorporación de ceniza mejoró las propiedades mecánicas del concreto, alcanzando su mejor desempeño con la dosificación del 4 %, mientras que porcentajes superiores redujeron progresivamente la resistencia. La autora concluyó que la ceniza de cabuya constituye una alternativa viable para aprovechar residuos agroindustriales y mejorar el comportamiento del concreto empleado en pavimentos.

Cano Quispe y Cárdenas Castro (2024), presentaron la tesis "Análisis comparativo de la influencia en las propiedades índice y mecánicas de un suelo para subrasante añadiendo ceniza del bagazo de la cañaduz en la ruta Canua a Llinqui – Aymaraes – Apurímac, 2021", buscaron determinar la influencia de la incorporación de 5 %, 10 % y 15 % de ceniza del bagazo de la cañaduz sobre las propiedades índice y mecánicas de un suelo para subrasante. Los resultados evidenciaron que la adición del 5 % redujo significativamente el índice de plasticidad, mientras que el 10 % alcanzó el mejor comportamiento mecánico, incrementando la Relación de Soporte de California (CBR) en 522.96 % respecto al suelo natural. Asimismo, observaron que la densidad seca máxima disminuyó conforme aumentó el porcentaje de ceniza. Las autoras concluyeron que la ceniza del bagazo de la cañaduz influye significativamente en las propiedades índice y mecánicas del suelo, constituyendo una alternativa sostenible para su estabilización.

3.1.4 Antecedentes locales

Cruz Huamán y Zaga Hinojosa (2024) realizaron la investigación titulada "Influencia del dióxido de titanio al 3 %, 5 % y 7 % con respecto a las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de la mezcla asfáltica en caliente con agregados de Abancay – Apurímac 2023". El estudio tuvo un enfoque cuantitativo y diseño experimental, evaluando mezclas asfálticas modificadas con 3 %, 5 % y 7 % de TiO_2. Se analizaron

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

propiedades mecánicas y fotocatalíticas mediante ensayos de estabilidad, tracción indirecta, resistencia a la fatiga, degradación de Rodamina B y capacidad autolimpiante. Los resultados demostraron que la incorporación de TiO_2 mejoró significativamente el comportamiento fotocatalítico de la mezcla, alcanzando valores de degradación que cumplen con la UNI 11259, además de incrementar parcialmente algunas propiedades mecánicas. Los autores concluyeron que el dióxido de titanio constituye una alternativa viable para desarrollar materiales de pavimentación con capacidad fotocatalítica y beneficios ambientales.

Cielo Cipriano y Gutiérrez Chuqui (2024), desarrollaron la tesis "Propiedades del concreto f'c = 280 kg/cm² adicionando ceniza de bagazo de caña de azúcar en 3 %, 5 %, 7 % y 10 % en sustitución del cemento", buscaron determinar las propiedades del concreto al incorporar 3 %, 5 %, 7 % y 10 % de ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBC) como sustituto parcial del cemento. Los resultados evidenciaron que la dosificación del 5 % presentó el mejor comportamiento mecánico, alcanzando una resistencia a la compresión de 329.35 kg/cm² a los 28 días, superior al concreto base (289.03 kg/cm²). Asimismo, la incorporación del 3 % obtuvo 314.58 kg/cm², mientras que las dosificaciones de 7 % y 10 % redujeron la resistencia a 260.20 kg/cm² y 236.08 kg/cm², respectivamente. Los autores concluyeron que la incorporación de 3 % y 5 % de CBC mejora significativamente la resistencia a la compresión del concreto, siendo el 5 % la dosificación óptima.

Huaraca Huamán (2022), presentó la investigación "Evaluación de la resistencia a la compresión y flexo tracción del concreto elaborado con ceniza de bagazo de caña de azúcar como sustituto parcial del cemento en Abancay, 2019", evaluó la influencia de la ceniza de bagazo de caña de azúcar como sustituto parcial del cemento en las propiedades mecánicas del concreto. La investigación fue de enfoque cuantitativo y diseño experimental, considerando sustituciones del 10 %, 15 % y 20 % del cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar. Se elaboraron especímenes cilíndricos y prismáticos, los cuales fueron ensayados a 7, 14, 21 y 28 días para determinar la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexotracción, tomando como referencia un concreto convencional con f'c = 210 kg/cm². Los resultados evidenciaron que las mezclas con ceniza no superaron la resistencia alcanzada por el concreto convencional; sin embargo, la sustitución del 10 % permitió mantener propiedades físicas y mecánicas similares, lo que sugiere una influencia favorable sin

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

afectar significativamente el desempeño mecánico del concreto. El autor concluyó que la incorporación de ceniza de bagazo de caña de azúcar constituye una alternativa técnicamente viable para sustituir parcialmente el cemento sin afectar significativamente el desempeño mecánico del concreto.

3.2 Marco teórico

3.2.1 Pavimentos

Los pavimentos constituyen estructuras de ingeniería conformadas por un conjunto de capas superpuestas, diseñadas para recibir las cargas generadas por el tránsito y transmitirlas de manera progresiva hacia el terreno de fundación, evitando deformaciones que comprometan su desempeño. Además de proporcionar una superficie segura y confortable para la circulación vehicular y peatonal, deben garantizar estabilidad estructural, durabilidad y condiciones adecuadas de servicio durante el período previsto de diseño (Concrete Masonry & Hardscapes Association, 2023).

3.2.2 Clasificación de los pavimentos

La clasificación de los pavimentos responde al comportamiento estructural de los materiales y al mecanismo de transmisión de las cargas hacia el terreno de fundación. Según estos criterios, se clasifican en pavimentos flexibles, rígidos e intertrabados, cada uno con características constructivas y estructurales que determinan su desempeño en servicio (CMHA, 2023).

a) Pavimentos flexibles

La Concrete Masonry & Hardscapes Association (CMHA, 2023) señala que los pavimentos flexibles están conformados por una superficie asfáltica apoyada sobre capas granulares de base y subbase, las cuales distribuyen gradualmente las cargas hacia la subrasante. Su desempeño depende del trabajo conjunto de todas las capas y de la calidad de los materiales empleados.

b) Pavimentos rígidos

Según la CMHA (2023), los pavimentos rígidos utilizan losas de concreto hidráulico como principal elemento estructural, cuya elevada rigidez permite distribuir las cargas sobre una mayor superficie del terreno. Esta característica

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

reduce las deformaciones y proporciona mayor durabilidad, por lo que son adecuados para vías de alto volumen vehicular.

c) Pavimentos intertrabados

La CMHA (2023) establece que los pavimentos intertrabados están conformados por adoquines prefabricados de concreto colocados sobre una cama de arena y confinados lateralmente, cuya transferencia de cargas se produce mediante el interbloqueo entre las unidades.

3.2.3 Pavimentos intertrabados de concreto

Los pavimentos intertrabados de concreto constituyen un sistema de pavimentación conformado por unidades prefabricadas de concreto, conocidas como adoquines, que se colocan sobre una cama de arena y permanecen confinadas mediante elementos laterales. De acuerdo con la Concrete Masonry & Hardscapes Association (CMHA, 2023), el adecuado desempeño de este sistema no depende únicamente de la resistencia de cada adoquín, sino del comportamiento conjunto de sus componentes, permitiendo que las cargas aplicadas sobre la superficie sean redistribuidas eficientemente hacia las capas inferiores del pavimento.



FUENTE: Rathan y Sunitha, 2024.

Figura 1 — Pavimento intertrabado de concreto

3.2.3.1 Principio de funcionamiento

La CMHA (2023) indica que el comportamiento estructural del pavimento intertrabado se basa en el interbloqueo entre los adoquines, permitiendo

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

redistribuir las cargas hacia las unidades adyacentes y las capas inferiores. Este mecanismo favorece la estabilidad del sistema frente al tránsito vehicular.

3.2.3.2 Ventajas de los pavimentos intertrabados

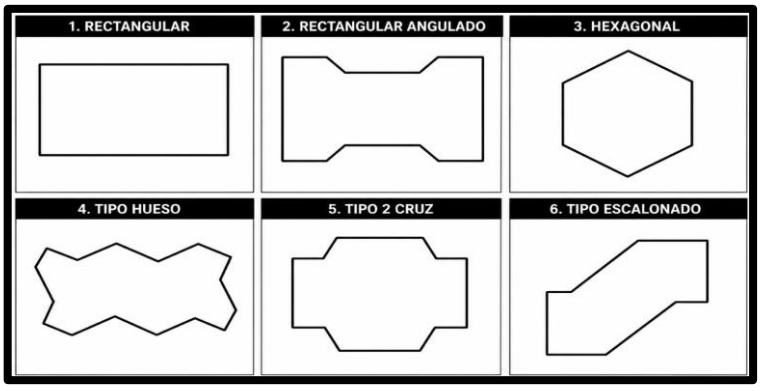
Según la CMHA (2023), los pavimentos intertrabados presentan ventajas relacionadas con su facilidad de instalación, mantenimiento y rehabilitación, debido a que las unidades pueden reemplazarse de manera individual sin intervenir la totalidad del pavimento. Además, permiten una rápida puesta en servicio, ofrecen una adecuada distribución de las cargas y facilitan la incorporación de materiales innovadores, como el dióxido de titanio (TiO_2) y la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBC).

3.2.4 Adoquines de concreto para pavimentos intertrabados

La IRAM 11656:2019 y la NTP 399.611:2017 establecen los requisitos geométricos, físicos y mecánicos que deben cumplir los adoquines de concreto para asegurar su desempeño estructural en pavimentos intertrabados.

3.2.4.1 Clasificación según la geometría

La IRAM 11656:2019 clasifica los adoquines de concreto de acuerdo con su geometría, encontrándose formas rectangulares, cuadradas, hexagonales, cruz, hueso y otras geometrías especiales diseñadas para incrementar el interbloqueo entre las piezas. La selección de la forma depende de los requerimientos estructurales, el nivel de tránsito y las condiciones de servicio previstas para el pavimento.



FUENTE: IRAM 11656, 2019.

Figura 2 — Clasificación de los adoquines según su geometría

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

3.2.4.2 Criterios para la selección de la geometría

La CMHA (2023) señala que la geometría del adoquín influye directamente en el comportamiento del pavimento intertrabado, ya que determina el nivel de interbloqueo alcanzado entre las unidades y la eficiencia en la transferencia de cargas. Las geometrías con múltiples caras de contacto incrementan la restricción al desplazamiento lateral y favorecen una distribución más uniforme de los esfuerzos, contribuyendo a mejorar la estabilidad estructural del sistema. Por esta razón, la selección de la forma del adoquín constituye un aspecto fundamental durante el diseño de pavimentos intertrabados.

3.2.5 Adoquín hexagonal

El adoquín hexagonal es una unidad prefabricada de concreta empleada en pavimentos intertrabados, cuya geometría favorece un elevado nivel de interbloqueo, permitiendo una adecuada transferencia de cargas y estabilidad estructural. Por estas características, se utiliza ampliamente en vías urbanas, estacionamientos y otras áreas sometidas a tránsito vehicular (CMHA, 2023).

3.2.5.1 Requisitos dimensionales

La IRAM 11656:2019 establece los requisitos geométricos que deben cumplir los adoquines de concreto para pavimentos intertrabados, definiendo dimensiones nominales, relaciones geométricas y espesores mínimos según las condiciones de servicio y el nivel de tránsito, con el fin de garantizar su adecuado desempeño estructural.

Tabla 2 — Requisitos geométricos de los adoquines de concreto

Parámetro	Requisito
Longitud nominal	50 mm ≤ L ≤ 250 mm
Ancho nominal	≥ 50 mm
Espesor nominal	60 mm: tránsito peatonal y liviano. 80 mm: tránsito vehicular medio y pesado. 100 mm: tránsito industrial o cargas especial.
Relación longitud/ancho	≤ 4
Relación longitud/espesor	≤ 4
Tolerancia dimensional	Longitud ±2 mm; ancho ±2 mm; espesor ±3 mm
FUENTE: IRAM 11656, 2019.	

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

3.2.5.2 Justificación de la selección del adoquín hexagonal

La selección del adoquín hexagonal se fundamenta en sus ventajas estructurales dentro de los pavimentos intertrabados. La Concrete Masonry & Hardscapes Association (CMHA, 2023) señala que las geometrías con un mayor número de caras de contacto incrementan el efecto de interbloqueo, mejoran la distribución de las cargas y reducen el desplazamiento lateral de las unidades, favoreciendo la estabilidad del pavimento bajo solicitaciones repetidas. Estas características hacen que el adoquín hexagonal sea una alternativa adecuada para vías sometidas a tránsito vehicular, donde se requiere un comportamiento estructural uniforme y una mayor capacidad de transferencia de cargas.

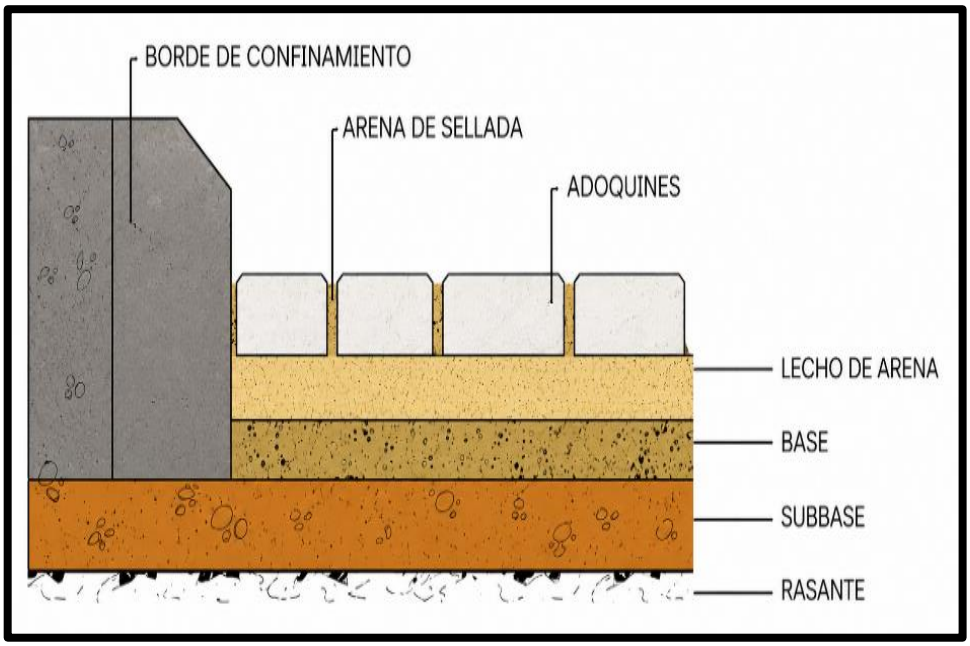
3.2.6 Componentes y ejecución del sistema de pavimento intertrabado

Los pavimentos intertrabados están conformados por componentes que actúan de manera integrada para distribuir las cargas y garantizar la estabilidad del sistema. Según la CMHA (2022), su desempeño depende de la calidad de los materiales y de una correcta ejecución constructiva.

3.2.6.1 Componentes del pavimento intertrabado

De acuerdo con la CMHA (2022), un pavimento intertrabado está conformado por la subrasante, subbase, base granular, cama de arena, adoquines de concreto, arena de sello y confinamiento lateral. Estos elementos trabajan de forma integrada para garantizar la adecuada transferencia de cargas y la estabilidad del pavimento.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



FUENTE: AKSON INGENIERÍA, 2020.

Figura 3 — Elementos componentes del sistema

Tabla 3 — Función de los componentes del sistema de pavimento intertrabado

Componente	Descripción y función principal
Subrasante	Terreno de fundación sobre el cual se apoya el pavimento. Proporciona soporte a toda la estructura.
Subbase	Capa granular que mejora la capacidad portante, favorece el drenaje y distribuye las cargas hacia la subrasante.
Base granular	Capa estructural que recibe las cargas de los adoquines y las transmite uniformemente a la subbase.
Lecho o cama de arena	Capa de arena nivelada que facilita el asentamiento de los adoquines y corrige pequeñas irregularidades de la base.
Adoquines de concreto	Unidades prefabricadas que conforman la superficie de rodadura y transmiten las cargas mediante el interbloqueo.
Arena de sellado	Material que rellena las juntas entre los adoquines, mantiene el interbloqueo y restringe el desplazamiento de las piezas.

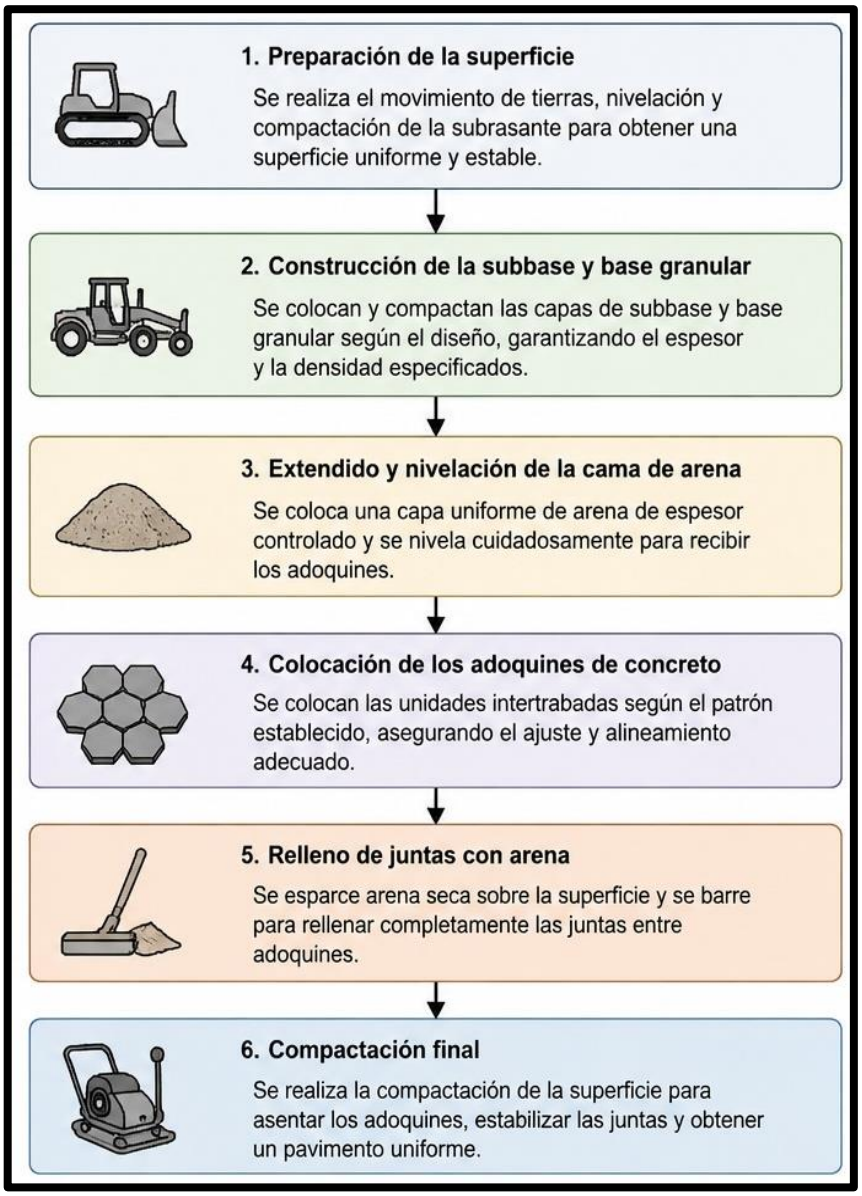
Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

Borde de confinamiento	Elemento lateral de concreto es un material rígido que evita el desplazamiento de los adoquines y conserva la estabilidad del pavimento.
FUENTE: Adaptado Concrete Masonry & Hardscapes Association CMHA, 2023.	

3.2.6.2 Ejecución del pavimento intertrabado

La CMHA (2022) establece que la ejecución de un pavimento intertrabado comprende una secuencia de etapas constructivas que incluyen la preparación y compactación de la subrasante, la construcción de las capas de subbase y base granular, la colocación de la cama de arena, el asentamiento de los adoquines, el relleno de las juntas con arena y la compactación final. Cada una de estas etapas cumple una función importante en el comportamiento estructural del pavimento, ya que contribuye a la distribución de las cargas, la estabilidad de las piezas y la reducción de posibles deformaciones. Por ello, el cumplimiento de las especificaciones técnicas durante el proceso constructivo resulta fundamental para garantizar el adecuado funcionamiento y la durabilidad del sistema.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



FUENTE: Adaptado de CMHA, 2022.

Figura 4 — Proceso constructivo de un pavimento intertrabado

3.2.7 Materiales constituyentes del adoquín de concreto

Los adoquines de concreto se fabrican mediante la combinación de materiales que cumplen funciones específicas dentro de la mezcla, influyendo directamente en sus propiedades mecánicas, durabilidad y desempeño estructural. Los materiales constituyentes convencionales comprenden el cemento Portland, agregado grueso, agregado fino y el agua, los cuales deben satisfacer los requisitos de calidad establecidos en las Normas Técnicas Peruanas para garantizar el adecuado comportamiento del concreto CMHA (2022).

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

a) Cemento

El cemento Portland es el principal material cementante empleado en la fabricación de adoquines de concreto. Al hidratarse con el agua, forma una matriz resistente que proporciona cohesión y resistencia mecánica al concreto. Neville (2022) señala que sus propiedades dependen en gran medida de la calidad del cemento y de la adecuada relación agua-cemento. En el Perú, los requisitos para el cemento Portland están establecidos en la NTP 334.009, que regula sus características físicas y mecánicas para su utilización en elementos de concreto.

b) Agregado fino

Conforme a la norma NTP 400.037 (2021). Se refiere a los agregados artificiales obtenidos de la desintegración natural o artificial de rocas o piedras, que tienen una granulometría que permite pasar por el tamiz normalizado de 9,5 mm (3/8 pulgadas) y cumplen con los límites establecidos en la Norma Técnica Peruana.

Tabla 4 — Límites de granulometría según ASTM

MALLA	Abertura	PORCENTAJE QUE PASA (ACUMULATIVO)
3/8"	9.5 mm	100
N° 4	4.75 mm	95 a 100
N° 8	2.36 mm	80 a 100
N° 16	1.18 mm	50 a 85
N° 30	600 µm	25 a 60
N° 50	300 µm	10 a 30
N° 100	150 µm	2 a 10
FUENTE: NTP 400.037, 2021.		

c) Agregado grueso

Según la NTP 400.011 (2020), el agregado grueso es el material pétreo conformado por partículas retenidas en el tamiz de 4,75 mm (N° 4), que cumple con requisitos de calidad como la granulometría, la resistencia al desgaste, la limpieza y los límites de impurezas. En el concreto, constituye el esqueleto resistente de la mezcla, aportando resistencia mecánica,

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

estabilidad dimensional y durabilidad, además de favorecer la reducción de vacíos y optimizar el consumo de pasta de cemento.

d) Agua

El agua es el componente que permite la hidratación del cemento, favoreciendo el fraguado, endurecimiento y la trabajabilidad de la mezcla. La NTP 339.088 (2024), establece que el agua empleada en la elaboración del concreto debe estar libre de sustancias perjudiciales que puedan afectar sus propiedades mecánicas y su durabilidad.

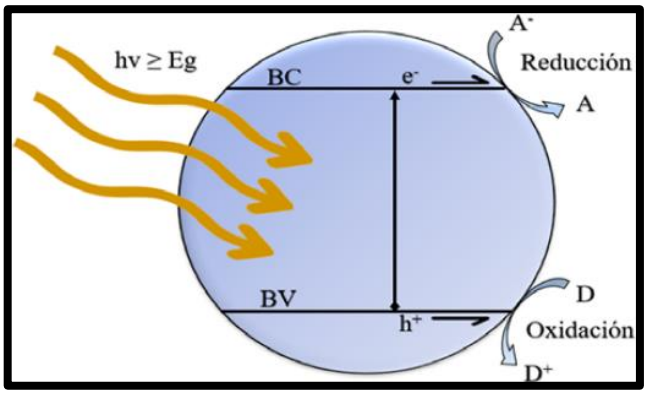
3.2.8 Dióxido de titanio (TiO_2)

El dióxido de titanio (TiO_2) es un óxido metálico semiconductor ampliamente utilizado en aplicaciones ambientales y materiales cementicios debido a su elevada estabilidad química, baja toxicidad, resistencia a la corrosión y reducido costo. Estas propiedades lo convierten en uno de los fotocatalizadores más empleados para desarrollar materiales con capacidad autolimpiante y descontaminante (Castro et al., 2022).

Asimismo, su incorporación en concretos, morteros, adoquines y pavimentos permite conferir propiedades fotocatalíticas que favorecen la degradación de contaminantes orgánicos, la reducción de óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles (COV), contribuyendo al desarrollo de infraestructuras más sostenibles (Hamdany et al., 2022).

Las nanopartículas de TiO_2 presentan dimensiones inferiores a 100 nm, lo que incrementa la relación entre su área superficial y volumen, aumentando el número de sitios activos disponibles para las reacciones fotocatalíticas. Gracias a esta característica, mejoran la degradación de compuestos orgánicos y diversos contaminantes presentes sobre la superficie de los materiales de construcción (Rathan y Sunitha, 2024).

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



FUENTE: Rathan y Sunitha, 2024.

Figura 5 — Nanopartículas fotocatalíticas

a) Propiedades del dióxido de titanio (TiO_2)

Las propiedades físico-químicas del dióxido de titanio (TiO_2) lo convierten en uno de los fotocatalizadores más utilizados en materiales cementicios. Su elevada estabilidad química, baja toxicidad, resistencia a la corrosión y reducido costo permiten su incorporación en concretos, morteros y adoquines sin afectar significativamente sus propiedades estructurales. Además, su activación mediante radiación ultravioleta favorece el desarrollo de superficies con capacidad autolimpiante y descontaminante, razón por la cual es ampliamente empleado en aplicaciones ambientales y de ingeniería civil (Castro et al., 2022).

Tabla 5 — Principales propiedades del dióxido de titanio (TiO_2)

Propiedad	Descripción
Composición química	TiO_2
Tipo de material	Semiconductor
Estabilidad química	Alta
Toxicidad	Baja
Activación	Radiación UV
Aplicaciones	Concretos, morteros, adoquines, pavimentos y recubrimientos
FUENTE: Adaptado de Castro et al., 2022.	

b) Fases cristalinas del dióxido de titanio (TiO_2)

El dióxido de titanio (TiO_2) presenta tres fases cristalinas principales: anatasa, rutilo y brookita, las cuales poseen la misma composición química, pero difieren en su estructura cristalina, estabilidad y actividad

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

fotocatalítica. Estas diferencias determinan su comportamiento y sus aplicaciones en materiales cementicios (Hamdany et al., 2022).

c) Fundamentación de las dosificaciones experimentales de dióxido de titanio

La selección de las dosificaciones experimentales de dióxido de titanio (TiO_2) se fundamentó en la revisión de antecedentes científicos sobre su incorporación en materiales cementicios. Los estudios reportan dosificaciones comprendidas entre 0.1 % y 20 %, identificándose diferentes valores óptimos según el tipo de material y las propiedades evaluadas. Estos resultados constituyeron la base para definir las dosificaciones empleadas en el diseño experimental de la presente investigación.

Tabla 6 — Fundamentación de las dosificaciones experimentales de dióxido de titanio

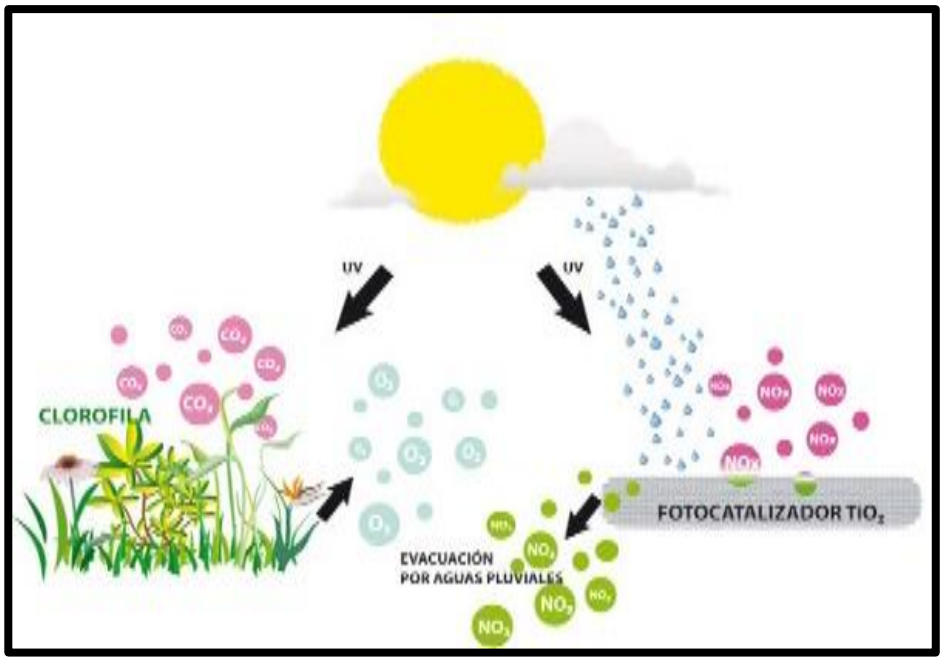
Autor (Año)	Dosificaciones evaluadas	Aporte para la presente investigación
Barros Santos et al. (2025)	0.1 % y 0.5 %	La dosificación óptima de 0.5 % evidencia la viabilidad del TiO_2 como adición funcional en materiales cementicios.
Teles et al. (2025)	5 %, 10 % y 15 %	La dosificación óptima de 15 % respalda la selección del nivel superior evaluado en esta investigación.
Apaza et al. (2024)	0 %, 5 %, 10 % y 20 %	La dosificación óptima de 10 % sustenta la inclusión de un nivel intermedio de incorporación de TiO_2.
Benique y Chayña (2024)	3 %, 7 % y 12 %	La dosificación óptima de 7 % constituye el antecedente más cercano y respalda la selección del 7.5 %.
Apaza y Mamani (2024)	0 %, 7 %, 10 % y 13 %	La dosificación óptima de 7 % justifica la evaluación de un nivel próximo (7.5 %)
Palanisamy et al. (2023)	4 %, 5 % y 6 %	La dosificación óptima de 5 % evidencia el buen desempeño de incorporaciones moderadas de TiO_2.
Huamani y Solis (2021)	0 %, 3 %, 6 % y 9 %	La dosificación óptima de 3 % demuestra la eficacia de incorporaciones bajas de TiO_2.
Chávarry Vallejos et al.	0 %, 5 %, 7.5 % y 10 %	Aunque la dosificación óptima fue 5 %, el estudio respalda la evaluación de 7.5 % y 10 %.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

Bernuy y Howard (2020)	5 %, 7.5 % y 10 %	La dosificación óptima de 5 % sustenta el análisis de incrementos graduales mediante 7.5 % y 10 %.
FUENTE: Elaboración propia.		

3.2.9 Fotocatálisis heterogénea

La fotocatálisis heterogénea es un proceso de oxidación avanzada en el que un material semiconductor, como el dióxido de titanio (TiO_2), actúa como catalizador al ser activado por la radiación luminosa. Durante este proceso se generan pares electrón-hueco que reaccionan con el agua y el oxígeno del ambiente, formando especies reactivas capaces de degradar contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes sobre la superficie de concretos, morteros y pavimentos. Como resultado, los materiales adquieren propiedades autolimpiantes y descontaminantes, favoreciendo la reducción de óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos orgánicos volátiles (COV) y otros contaminantes atmosféricos, sin que el fotocatalizador sea consumido durante la reacción (Hamdany et al., 2022).



FUENTE: Rathan y Sunitha, 2024.

Figura 6 — Proceso fotocatalítico del dióxido de titanio (TiO_2)

3.2.10 Ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBC)

La ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBC) es un subproducto obtenido de la combustión del bagazo generado durante el procesamiento industrial de la caña

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

de azúcar. Su composición, dominada por dióxido de silicio (SiO_2) y complementada por óxidos de aluminio (Al_2O_3), hierro (Fe_2O_3), calcio (CaO) y magnesio (MgO), le confiere propiedades puzolánicas que favorecen las reacciones con los productos de hidratación del cemento, contribuyendo al mejoramiento de las propiedades mecánicas y la durabilidad de los materiales cementicios (Resano et al., 2022).

a) Propiedades físicas y químicas de la CBC

La ceniza de bagazo de caña de azúcar presenta propiedades físicas y químicas que favorecen su utilización como material cementante suplementario. Su elevado contenido de sílice amorfa y su actividad puzolánica permiten sustituir parcialmente el cemento Portland, contribuyendo a mejorar la resistencia mecánica y la durabilidad de los materiales cementicios (Thomas et al., 2021).

Tabla 7 — Principales propiedades de la ceniza de bagazo de caña de azúcar

Propiedad	Descripción
Componente principal	Sílice amorfa (SiO_2)
Compuestos secundarios	Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO y MgO
Tamaño de partícula	Fino
Actividad	Puzolánica
Aplicación	Material cementante suplementario
FUENTE: Adaptado de Thomas et al., 2021.	

b) Actividad puzolánica y aplicación en materiales cementicios

La actividad puzolánica de la CBC favorece la formación de gel C-S-H adicional, reduciendo la porosidad de la matriz cementicia y mejorando la resistencia mecánica, la impermeabilidad y la durabilidad de concretos, morteros, adoquines y pavimentos (Resano et al., 2022).

Asimismo, su incorporación como sustituto parcial del cemento Portland disminuye el consumo de este material y promueve el aprovechamiento de

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

residuos agroindustriales, contribuyendo a reducir las emisiones de CO_2 y al desarrollo de materiales cementicios más sostenibles (Thomas et al., 2021).

c) Fundamentación de las dosificaciones experimentales de (TiO_2)

La selección de las dosificaciones experimentales de ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBC) se fundamentó en la revisión de antecedentes científicos que evaluaron diferentes porcentajes de sustitución parcial del cemento en materiales cementicios. Los valores óptimos reportados por estas investigaciones sirvieron de base para establecer las dosificaciones experimentales empleadas en el presente estudio.

Tabla 8 — Fundamentación de las dosificaciones experimentales de ceniza de bagazo de caña

Autor (Año)	Dosificaciones evaluadas	Aporte para la presente investigación
Mucha Chávez (2025)	0 %, 5 %, 10 % y 15 %	La dosificación óptima de 10 % respalda la evaluación progresiva de la CBC.
Campos y Samaniego (2025)	2 % y 4 %	La dosificación óptima de 2 % evidencia el buen desempeño de bajas incorporaciones de CBC.
Yrigoin Pérez (2024)	1 %, 3.5 % y 6 %	La dosificación óptima de 3.5 % respalda sustituciones bajas de CBC.
Huaraca Huamán (2022)	0 %, 10 %, 15 % y 20 %	La dosificación óptima de 10 % sustenta la evaluación de sustituciones crecientes.
Espinoza y Lázaro (2022)	0 %, 5 %, 10 %, 15 % y 20 %	Las dosificaciones óptimas entre 5 % y 10 % respaldan sustituciones intermedias.
Coronel et al. (2021)	0 %, 5 %, 10 %, 15 % y 20 %	La dosificación óptima de 5 % evidencia un comportamiento mecánico favorable.
Palomino y Torres (2021)	5 %, 10 % y 15 %	La dosificación óptima de 5 % sustenta sustituciones moderadas de CBC.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

Huayllapuma y Saldivar (2020)	0 %, 6 %, 8 % y 10 %	Las dosificaciones óptimas entre 6 % y 8 % respaldan porcentajes intermedios de CBC.
FUENTE: Elaboración propia.		

3.2.11 Resistencia a la compresión

Es una de las principales propiedades mecánicas de los materiales cementicios y representa la capacidad del concreto para soportar cargas de compresión sin presentar falla (Neville, 2022).

3.2.11.1 Ensayo de resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión se determina mediante una máquina universal de ensayos, que aplica una carga axial creciente sobre briquetas cilíndricas de concreto hasta producir su falla. La carga máxima registrada permite calcular la resistencia del material, constituyendo uno de los métodos más utilizados para evaluar su comportamiento mecánico. En el Perú, este procedimiento se realiza conforme a la NTP 339.034, que establece el método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de briquetas cilíndricas de concreto.



FUENTE: Registro fotográfico del laboratorio de ensayos de la presente investigación, 2026

Figura 7 — Máquina universal para ensayo de compresión

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

3.2.11.2 Justificación de la evaluación de la resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión fue seleccionada como variable de evaluación por constituir el principal parámetro mecánico para valorar el desempeño del concreto empleado en la fabricación de adoquines y su capacidad para soportar las cargas transmitidas por el tránsito vehicular, siendo además uno de los criterios de aceptación de los pavimentos intertrabados (CMHA, 2023). Aunque existen otros ensayos mecánicos, como la resistencia a la flexión o a la tracción indirecta, en la presente investigación se priorizó el ensayo de compresión por permitir evaluar de manera directa el comportamiento mecánico de las briquetas cilíndricas de concreto y analizar la influencia de la incorporación de TiO_2 y CBC sobre su capacidad resistente.

3.2.12 Actividad fotocatalítica

La actividad fotocatalítica es la capacidad que posee un material para degradar contaminantes cuando es activado por una fuente de radiación. En materiales cementicios modificados con dióxido de titanio (TiO_2), esta propiedad permite degradar compuestos orgánicos e inorgánicos presentes sobre la superficie, proporcionando propiedades autolimpiantes y descontaminantes (Hamdany et al., 2022).

3.2.13 Rodamina B

La Rodamina B (RhB) es un colorante orgánico ampliamente utilizado como indicador para evaluar la actividad fotocatalítica de materiales modificados con dióxido de titanio (TiO_2). Su estabilidad química y facilidad de cuantificación mediante espectrofotometría o análisis digital de imágenes permiten determinar la eficiencia fotocatalítica a partir de la degradación del colorante (Hamdany et al., 2022).

Al ser expuesta a radiación sobre una superficie fotocatalítica, la Rodamina B se degrada progresivamente por la acción del TiO_2, constituyendo uno de los indicadores más empleados para evaluar el desempeño fotocatalítico de materiales cementicios. En la presente investigación, el análisis digital de imágenes complementó esta evaluación mediante la comparación de los cambios de color registrados durante el ensayo (Teles et al., 2025).

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

3.2.14 Método de evaluación de la actividad fotocatalítica mediante Rodamina B (Norma UNI 11259:2008)

La Norma UNI 11259:2008 establece un procedimiento para evaluar la actividad fotocatalítica de materiales cementicios mediante la degradación del colorante Rodamina B (RhB). El método permite determinar la capacidad autolimpiante de superficies fotocatalíticas a partir de la variación del color del indicador después de su exposición a radiación ultravioleta.

El procedimiento consiste en aplicar una cantidad conocida de Rodamina B sobre la superficie de la muestra, registrar una medición inicial (0 h) y exponerla a radiación ultravioleta durante 4 horas. Posteriormente, se realiza una nueva medición utilizando un colorímetro o espectrofotómetro, generalmente mediante el sistema colorimétrico CIEL a*b*, considerando principalmente la coordenada a*, relacionada con la intensidad del color rojo del colorante.

La norma establece que el ensayo debe desarrollarse bajo condiciones controladas de 20 ± 2 °C de temperatura y 70 ± 10 % de humedad relativa. La eficiencia fotocatalítica se determina a partir de la disminución del color de la Rodamina B, considerándose que un material presenta actividad fotocatalítica cuando dicha reducción es superior al 20 % después de las 4 horas de exposición. Este criterio constituye la referencia para evaluar la capacidad autolimpiante de materiales cementicios modificados con fotocatalizadores, como el dióxido de titanio (TiO_2).

3.3 Marco conceptual

a) Abrasión

Propiedad que expresa la capacidad de un elemento de concreto para resistir el desgaste superficial ocasionado por el tránsito, la fricción o el rozamiento, constituyendo un indicador de su durabilidad y desempeño en servicio. (ASTM C936/C936M, 2020).

b) Absorción de agua

La absorción de agua es la propiedad que expresa la cantidad de agua que un material puede absorber a través de sus poros, respecto a su masa seca. En los adoquines de concreto, este parámetro se utiliza como indicador de la porosidad, durabilidad y calidad del producto (ASTM C140/C140M-24, 2024).

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

c) Actividad fotocatalítica

Capacidad de un material fotocatalítico para degradar compuestos orgánicos e inorgánicos cuando es activado por una fuente de radiación, generalmente evaluada mediante la disminución de la concentración de un compuesto indicador como la Rodamina B (Hamdany et al., 2022).

d) Aditivo

Material diferente del agua, los agregados, el cemento y las fibras de refuerzo que se incorpora al concreto antes o durante el mezclado, en pequeñas cantidades, con la finalidad de modificar una o más propiedades del concreto fresco o endurecido (NTP 334.088:2024).

e) Adoquines

Elemento prefabricado de concreto utilizado para conformar pavimentos intertrabados, diseñado para transmitir cargas entre unidades adyacentes y facilitar su mantenimiento (ASTM C936, 2024).

f) Agregados

Material granular natural, manufacturado o reciclado empleado junto con un material cementante para la elaboración de concreto o mortero, constituyendo la mayor parte del volumen de la mezcla (NTP 400.037:2024).

g) Agregado fino

Material granular que pasa casi en su totalidad el tamiz de 4,75 mm (N.º 4) y cumple los requisitos granulométricos establecidos para su utilización en concretos y morteros (NTP 400.037:2024).

h) Agregado grueso

Material granular retenido en el tamiz de 4.75 mm (N° 4), empleado en la elaboración de concretos para proporcionar resistencia mecánica y estabilidad a la mezcla (NTP 400.037:2024).

i) Agua de mezclado

El agua de mezclado es el agua utilizada para la preparación del concreto, cuya calidad debe ser adecuada para no afectar el proceso de hidratación del cemento ni las

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

propiedades del concreto fresco y endurecido. Debe estar libre de sustancias que puedan alterar el desempeño del material (ASTM C1602, 2022).

j) Cemento

Material cementante hidráulico finamente pulverizado que, al mezclarse con agua, forma una pasta capaz de fraguar y endurecer mediante reacciones de hidratación, desarrollando resistencia mecánica y estabilidad tanto en ambientes secos como sumergidos en agua (ASTM C150, 2024).

k) Ceniza de bagazo de caña (CBC)

Material obtenido tras la combustión del bagazo de caña de azúcar, caracterizado por su elevado contenido de sílice y su capacidad para actuar como material cementante suplementario mediante reacciones puzolánicas (Thomas et al., 2021).

l) Curva granulométrica

Representación gráfica de la distribución del tamaño de las partículas de un agregado, obtenida mediante análisis por tamizado, que permite verificar su gradación para la fabricación de concretos y morteros conforme a las normas técnicas (NTP 400.037:2024).

m) Ensayo de compresión

Ensayo mecánico que determina la resistencia a la compresión de una probeta o briqueta mediante la aplicación de una carga axial creciente hasta producir su falla, permitiendo evaluar la capacidad resistente del concreto (ASTM C39, 2023).

n) Fotocatálisis

Proceso mediante el cual un material semiconductor acelera reacciones de oxidación y reducción al ser activado por la radiación, favoreciendo la degradación de contaminantes (Hamdany et al., 2022).

o) Maquina universal de ensayos

Equipo utilizado para aplicar cargas controladas y determinar las propiedades mecánicas de los materiales. En la presente investigación se utilizó para evaluar la resistencia a la compresión de briquetas cilíndricas de concreto. (ASTM C39, 2023).

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

p) Pavimentos intertrabados

Sistema de pavimentación conformado por adoquines de concreto que trabajan de manera conjunta mediante el intertrabado mecánico, distribuyendo eficientemente las cargas hacia las capas inferiores (ICPI, 2022).

q) Rodamina B (RhB)

Colorante orgánico ampliamente utilizado como indicador para evaluar la actividad fotocatalítica de materiales cementicios, debido a que su degradación permite cuantificar la eficiencia de los fotocatalizadores cuando son expuestos a radiación (Hamdany et al., 2022).

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

CAPÍTULO IV
METODOLOGÍA

4.1 Tipo y nivel de investigación

4.1.1 Tipo de investigación

Según Hernández y Mendoza (2023), la investigación aplicada se orienta a utilizar los conocimientos científicos para resolver problemas concretos mediante la implementación de procedimientos, técnicas o tecnologías, con el propósito de generar soluciones prácticas en un contexto determinado.

En ese contexto, la presente investigación se clasificó como **aplicada**, debido a que busca contribuir a la solución del problema de la contaminación ambiental mediante el desarrollo de pavimentos intertrabados con propiedades fotocatalíticas, a partir de la incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña. Su propósito no es solo generar nuevos conocimientos teóricos, sino aplicar principios de la ingeniería de materiales para determinar experimentalmente la dosificación que permita brindarnos la mejor respuesta con respecto a las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de estos elementos prefabricados, logrando un impacto directo en la salud pública.

4.1.2 Nivel de investigación

De acuerdo con Hernández y Mendoza (2023), los estudios de nivel explicativo están orientados a determinar las causas de los fenómenos, estableciendo relaciones de causa y efecto entre las variables para explicar cómo, por qué y en qué medida una variable influye sobre otras.

La presente investigación se situó en el nivel **explicativo** porque no se limita a determinar las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de los pavimentos intertrabados, sino que busca establecer una relación de causalidad entre la variable independiente, correspondiente a la incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña, y las variables dependientes. Explicando el comportamiento experimental observado en los tratamientos analizados.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

4.2 Diseño de la investigación

Por su parte Hernández y Mendoza (2023), mencionan que en los diseños experimentales el investigador manipula intencionalmente una o más variables independientes para analizar las consecuencias que dicha manipulación produce sobre una o más variables dependientes, manteniendo el control de las condiciones del experimento.

La presente investigación corresponde a un **diseño experimental**, debido a que se manipula deliberadamente la variable independiente mediante la incorporación de diferentes porcentajes de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña con la finalidad de evaluar su efecto sobre las variables dependientes representadas por la resistencia a la compresión y la eficacia fotocatalítica de los pavimentos intertrabados.

a) Esquema básico del diseño: La secuencia lógica del experimento se representa mediante la siguiente simbología técnica:

$$Gc \longrightarrow O_1$$
$$Ge_1 \longrightarrow X_1 \longrightarrow O_2$$
$$Ge_2 \longrightarrow X_2 \longrightarrow O_3$$
$$Ge_3 \longrightarrow X_3 \longrightarrow O_4$$
$$Ge_4 \longrightarrow X_4 \longrightarrow O_5$$

Claves

Gc	Grupo control sin incorporación de TiO_2 ni ceniza de bagazo de caña
Ge_1, Ge_2, Ge_3 y Ge_4	Grupos experimentales de pavimentos intertrabados
X_1	Incorporación del 7.5 % de TiO_2 y ceniza de bagazo de caña
X_2	Incorporación del 10 % de TiO_2 y ceniza de bagazo de caña
X_3	Incorporación del 15 % de TiO_2 y ceniza de bagazo de caña
X_4	Incorporación del 22.5 % de TiO_2 y ceniza de bagazo de caña
O_1, O_2, O_3, O_4 y O_5	Medición de las variables dependientes (resistencia a la compresión y eficacia fotocatalítica)

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

4.3 Descripción ética de la investigación

La presente investigación se fundamentó en los principios de integridad científica, honestidad y responsabilidad durante todas las etapas del estudio. A nivel internacional, la UNESCO (2021) establece que la ética en la investigación debe garantizar que el conocimiento científico y tecnológico contribuya al bienestar de la sociedad y al desarrollo sostenible. En ese sentido, esta investigación busca aportar una alternativa para mejorar las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de los pavimentos intertrabados, contribuyendo a la mitigación de la contaminación ambiental y al aprovechamiento sostenible de la ceniza de bagazo de caña.

A nivel nacional, el CONCYTEC (2022) señala que la ética en la investigación se sustenta en la transparencia, veracidad y objetividad de los resultados. Por ello, los datos obtenidos durante los ensayos fueron registrados, analizados e interpretados sin manipulación, garantizando la confiabilidad de los resultados.

Asimismo, la investigación se desarrolló conforme al Código de Ética para la Investigación de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac (UNAMBA), respetando los principios de originalidad, responsabilidad y honestidad académica. Como investigador, se asumió el compromiso de conducir el estudio con rigor científico, reconocer adecuadamente las fuentes consultadas y presentar resultados veraces que constituyan un aporte para la ingeniería civil y el desarrollo sostenible.

Como investigador, se asumió el compromiso de actuar con honestidad, objetividad y responsabilidad durante el desarrollo de la investigación, garantizando la veracidad de los datos y la transparencia en su análisis e interpretación. Asimismo, los resultados fueron presentados de manera íntegra, contribuyendo al desarrollo de pavimentos intertrabados con mejores propiedades mecánicas y fotocatalíticas.

4.4 Población y muestra

4.4.1 Población

Según Hernández y Mendoza (2023), la población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones. En este estudio, la población estuvo constituida por los pavimentos intertrabados de concreto destinados a infraestructura urbana con tránsito vehicular ligero y peatonal, susceptibles de

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

incorporar dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña para mejorar sus propiedades mecánicas y fotocatalíticas.

Estos pavimentos presentan potencial de aplicación en vías urbanas con mayor concentración de emisiones vehiculares, como las avenidas Díaz Bárcenas, Canadá, Centenario y Núñez, así como los jirones Arequipa, Lima y Puno del distrito de Abancay. Asimismo, pueden emplearse en veredas, parques, plazuelas, alamedas y otros espacios públicos, contribuyendo a la mitigación de la contaminación atmosférica y al desarrollo de infraestructura urbana más sostenible. Para el desarrollo experimental se emplearon adoquines hexagonales de 80 mm de espesor, de acuerdo con las recomendaciones establecidas por la IRAM 11656:2019 para pavimentos sometidos a tránsito vehicular.

Tabla 9 — Distribución de la población de especímenes utilizados en la investigación

Tipo de espécimen	**Tratamientos (TiO_2 + CBC)**	**Cantidad**	**Ensayo**
Briquetas de concreto	Gc (0 %), Ge_1 (7.5 %), Ge_2 (10 %), Ge_3 (15 %) y Ge_4 (22.5 %)	45	Resistencia a la compresión (7, 14 y 28 días)
Adoquines de concreto	Gc (0 %), Ge_1 (7.5 %), Ge_2 (10 %), Ge_3 (15 %) y Ge_4 (22.5 %)	15	Eficacia fotocatalítica
Total		60	
FUENTE: Elaboración propia.			

4.4.2 Muestra

La muestra estuvo conformada por 60 especímenes elaborados exclusivamente para la presente investigación, distribuidos en un grupo control sin incorporación y cuatro grupos experimentales con incorporaciones de 7.5 %, 10 %, 15 % y 22.5 % de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña, con la finalidad de evaluar sus propiedades mecánicas y fotocatalíticas.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

a) Unidad de análisis: Cada briqueta cilíndrica y cada adoquín intertrabado fabricados con diferentes porcentajes de incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña, sobre los cuales se evaluó la resistencia a la compresión y la eficacia fotocatalítica.

b) Tamaño de la muestra: La muestra estuvo constituida por 45 briquetas de concreto, destinadas al ensayo de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días, y 15 adoquines intertrabados, destinados a la evaluación de la eficacia fotocatalítica mediante el ensayo de degradación de Rodamina B.

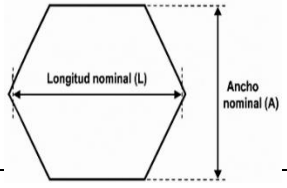
Tabla 10 — Distribución de briquetas para el ensayo de resistencia a la compresión

Grupo experimental	Incorporación de TiO_2 + CBC	Briquetas (7 días)	Briquetas (14 días)	Briquetas (28 días)	Total, de briquetas	Adoquines (28 días)
Gc	0 %	3	3	3	9	3
Ge_1	7.5 %	3	3	3	9	3
Ge_2	10 %	3	3	3	9	3
Ge_3	15 %	3	3	3	9	3
Ge_4	22.5 %	3	3	3	9	3
Total		**15**	**15**	**15**	**45**	**15**

FUENTE: Elaboración propia.

c) Características de los especímenes: Los especímenes utilizados en la investigación fueron briquetas cilíndricas de concreto y adoquines intertrabados de forma hexagonal. Esta geometría fue seleccionada por favorecer la distribución de cargas y la trabazón entre las piezas, siendo ampliamente utilizada en pavimentos para tránsito vehicular ligero.

Tabla 11 — Características de los especímenes utilizados en la investigación

Grupo de control		
Forma	Briquetas 	Adoquín hexagonal 

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

Dimensiones	Ø100 × 200 mm	Longitud nominal (L): 150 mm Ancho nominal (A): 129.90 mm Arista: 75 mm Espesor (e): 80 mm Relación L/A: 1.15
Edad	7,14 y 28 días	28 días
Norma de referencia	ASTM C39/C39M	IRAM 11656:2019
FUENTE: Elaboración propia.		

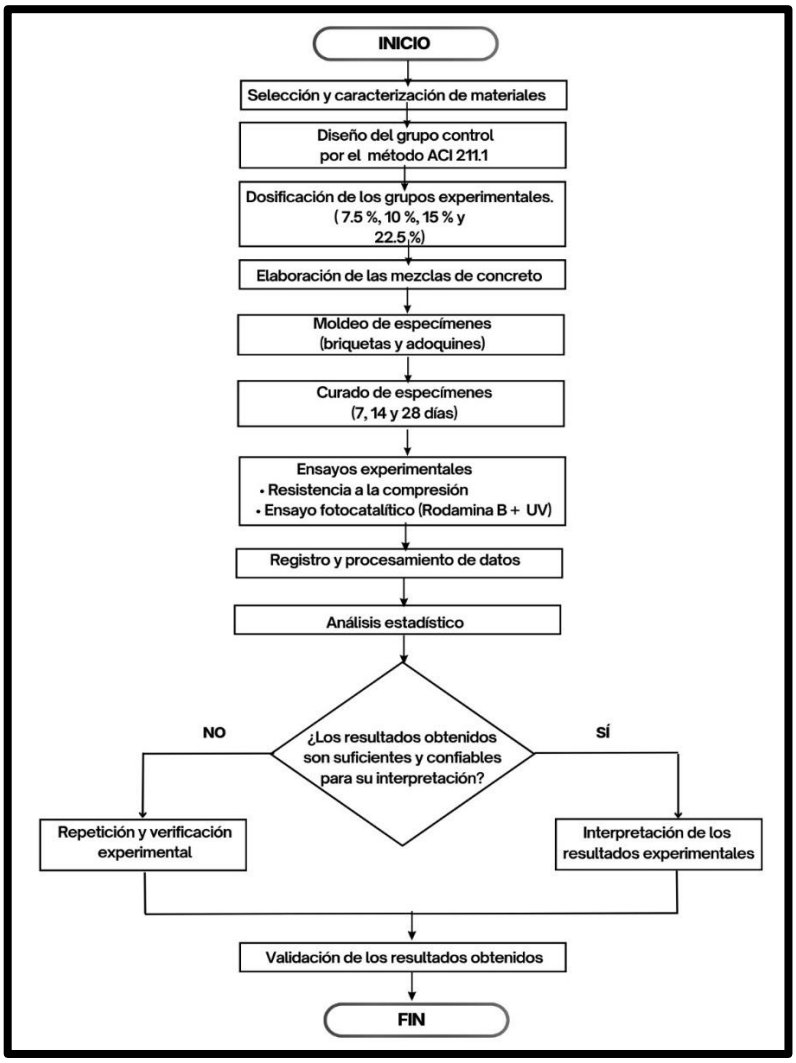
4.4.3 Muestreo

El muestreo fue de tipo no probabilístico e intencional, mediante un muestreo por conveniencia, debido a que los especímenes fueron seleccionados conforme al diseño experimental de la investigación.

4.5 Procedimiento

La presente investigación se desarrolló mediante una secuencia ordenada de actividades experimentales que comprendió la selección y caracterización de los materiales, el diseño de las mezclas, la fabricación y curado de los especímenes, la ejecución de los ensayos de resistencia a la compresión y eficacia fotocatalítica, así como el procesamiento, análisis e interpretación de los resultados.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



FUENTE: Elaboración propia.

Figura 8 — Flujograma del procedimiento de la investigación

4.5.1 Selección y caracterización de los materiales

La selección de los materiales se realizó considerando su disponibilidad en el ámbito local y el cumplimiento de los requisitos establecidos en las normas técnicas aplicables para la fabricación de pavimentos intertrabados de concreto. Los materiales empleados fueron cemento Portland Tipo IP, agregado fino, agregado grueso, agua, dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña.

a) Ceniza de Bagazo de caña

La ceniza de bagazo de caña de azúcar fue obtenida de la destilería Donayres, ubicada en el sector Pachachaca, distrito de Abancay. Este subproducto fue recolectado después de la combustión del bagazo de caña y acondicionado para su incorporación en las mezclas experimentales.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



Figura 9 — Combustión del bagazo de caña en los hornos de la destilería Donayres

b) Dióxido de titanio

El dióxido de titanio (TiO_2) fue adquirido de la empresa Proquinsa, ubicada en la ciudad de Lima, y utilizado conforme a las especificaciones técnicas del fabricante para su incorporación en las mezclas experimentales.

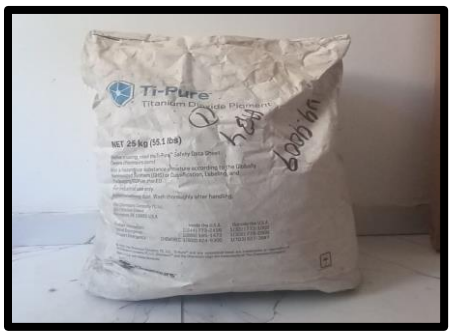


Figura 10 — Dióxido de titanio (TiO_2) utilizado en la investigación

c) Cemento

Se empleó cemento Portland Tipo IP de la marca Yura como conglomerante principal de las mezclas experimentales. Sus propiedades físicas cumplen con las especificaciones establecidas en la NTP 334.009 y la ASTM C150, garantizando su idoneidad para la fabricación de los especímenes.

d) Agregados fino y grueso

Los agregados fino y grueso fueron adquiridos del proveedor de materiales “Murillo” ubicado en la ciudad de Abancay, y caracterizados conforme a las Normas Técnicas Peruanas (NTP) y al Manual de Ensayo de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). Los resultados obtenidos permitieron verificar que ambos

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

materiales cumplen los requisitos técnicos para su utilización en la fabricación de pavimentos intertrabados de concreto.

e) Resultados de la caracterización de los materiales empleados en la investigación

- **Cemento**
  - Tipo : Yura IP
  - Peso específico : 3.15 g/cm³

- **Agregado fino**
  - Peso Específico : 2.76 g/cm³
  - Absorción : 4.27 %
  - Contenido de humedad : 2.25 %
  - Módulo de finura : 2.90

- **Agregado grueso**
  - Tamaño máximo nominal: 1/2"
  - Peso específico : 2.63 g/cm³
  - Peso seco compactado : 1541 kg/m³
  - Absorción : 0.68 %
  - Contenido de humedad : 1.37 %

Una vez obtenidos los resultados de la caracterización de los materiales, se realizó el diseño de las mezclas para el grupo de control y los grupos experimentales, siguiendo el procedimiento establecido por el método ACI 211.

4.5.2 Diseño del grupo control por el método ACI 211.1

El diseño de la mezcla del grupo control se realizó conforme al procedimiento establecido por el American Concrete Institute (ACI 211.1) para concretos de peso normal. Este método permite determinar las proporciones de los materiales en función de las propiedades físicas de los agregados y de la resistencia especificada del concreto.

Para el desarrollo del diseño se aplicaron las siguientes etapas:

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

- Selección del revenimiento de diseño.
- Determinación del tamaño máximo nominal del agregado grueso.
- Estimación del contenido de agua de mezclado y del aire atrapado.
- Determinación de la resistencia promedio requerida (f'cr).
- Selección de la relación agua/cemento (A/C).
- Cálculo del contenido de cemento.
- Determinación del contenido de agregado grueso.
- Cálculo del contenido de agregado fino por el método volúmenes absolutos.
- Obtención de la dosificación en condición seca.
- Corrección por humedad y absorción de los agregados.
- Determinación de la dosificación final de la mezcla del grupo control.

A partir de la aplicación de este procedimiento se obtuvieron los parámetros de diseño de la mezcla, cuyos resultados se presentan a continuación.

Tabla 12 — Dosificación final de la mezcla del grupo control mediante el método ACI

Parámetro	Valor
Resistencia especificada (kg/cm²)	210
Resistencia promedio requerida (kg/cm²)	294
Revenimiento (pulg)	5"
Tamaño máximo nominal del agregado (mm)	12.7 (½")
Porcentaje de aire atrapado (%)	2.5
Relación agua/cemento	0.55
Agua efectiva de mezclado (L/m³)	239.16
Contenido de cemento (kg/m³)	408.60
Contenido de agregado fino húmedo (kg/m³)	855.10
Contenido de agregado grueso húmedo (kg/m³)	843.54
NOTA Se realizó en base a los resultados emitidos por el laboratorio de ensayo de materiales. FUENTE: Elaboración propia.	

La dosificación final obtenida mediante la metodología del ACI 211.1 constituyó la mezcla del grupo control de la investigación. A partir de esta dosificación se formularon los tratamientos experimentales mediante la incorporación de dióxido

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña en sustitución parcial del cemento, conforme a las proporciones establecidas para cada tratamiento experimental.

Tabla 13 — Dosificación de materiales por bolsa de cemento (42.5 kg)

Material	Unidad	Cantidad
Cemento	kg/bolsa	42.500
Agua efectiva	L/bolsa	24.876
Agregado fino	kg/bolsa	88.953
Agregado grueso	kg/bolsa	87.720
NOTA Se realizó en base a los resultados emitidos por el laboratorio de ensayo de materiales. FUENTE: Elaboración propia.		

4.5.3 Dosificación de los grupos experimentales (7.5 %, 10 %, 15 %, 22.5 %)

Una vez definida la mezcla del grupo control mediante el método ACI 211.1, se establecieron cuatro tratamientos experimentales mediante la sustitución parcial del cemento por dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña (CBC), además de un grupo control sin incorporación de estos materiales.

La selección de las dosificaciones se fundamentó en la revisión de antecedentes científicos desarrollada en el marco teórico, donde se identificaron los rangos de incorporación que presentan resultados favorables en el comportamiento mecánico, fotocatalítico y puzolánico de estos materiales, definiéndose los porcentajes de sustitución evaluados en la presente investigación.

- **Grupo control (0 %):** Se empleó una mezcla sin incorporación de TiO_2 ni ceniza de bagazo de caña, utilizada como referencia para comparar el efecto de los tratamientos experimentales.

- **Grupo experimental 1 (7.5 %):** Se incorporó 5 % de TiO_2 y 2.5 % de ceniza de bagazo de caña, priorizando el efecto fotocatalítico del TiO_2 y una sustitución inicial de ceniza que favoreciera la actividad puzolánica sin afectar significativamente la hidratación del cemento.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

- **Grupo experimental 2 (10 %):** Se mantuvo constante el contenido de TiO_2 (5 %) y se incrementó la ceniza de bagazo de caña hasta 5 %, con la finalidad de evaluar el efecto del aumento de este material sobre la respuesta mecánica y fotocatalítica.

- **Grupo experimental 3 (15 %):** Se incorporó 7.5 % de TiO_2 y 7.5 % de ceniza de bagazo de caña, buscando evaluar el efecto conjunto de ambos materiales dentro de los rangos de sustitución reportados por la literatura.

- **Grupo experimental 4 (22.5 %):** Se incrementó el contenido de TiO_2 hasta 15 %, manteniendo constante la ceniza de bagazo de caña en 7.5 %, con el propósito de evaluar el límite superior de incorporación del fotocatalizador, minimizando al mismo tiempo una sustitución excesiva del cemento.

Con base en las dosificaciones definidas, se calcularon las cantidades de cemento, TiO_2 y ceniza de bagazo de caña para cada tratamiento experimental, manteniéndose constantes las cantidades de agua efectiva, agregado fino y agregado grueso de la mezcla del grupo control.

Tabla 14 — Dosificación de materiales del grupo control y los grupos experimentales

Material	Grupo control	Ge_1 7.5 %	Ge_2 10.0 %	Ge_3 15.0 %	Ge_4 22.5 %
Cemento (kg)	42.500	39.313	38.250	36.125	32.938
TiO_2 (kg)	0.000	2.125	2.125	3.188	6.375
CBC (kg)	0.000	1.063	2.125	3.188	3.188
Agua efectiva (L)	24.876	24.876	24.876	24.876	24.876
Agregado fino (kg)	88.953	88.953	88.953	88.953	88.953
Agregado grueso (kg)	87.720	87.720	87.720	87.720	87.720
FUENTE: Elaboración propia.					

4.5.4 Elaboración de las mezclas de concreto

Definidas las dosificaciones experimentales, se elaboraron las mezclas de concreto del grupo control y de los grupos experimentales, utilizando las proporciones

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

establecidas mediante el método ACI 211.1. El mezclado se realizó conforme a la ASTM C192/C192M, incorporando TiO_2 y ceniza de bagazo de caña (CBC) como sustitutos parciales del cemento hasta obtener una mezcla homogénea.



Figura 11 — Materiales empleados en la elaboración de las mezclas



Figura 12 — Mezclado de los materiales que constituyen el concreto

4.5.5 Moldeo de especímenes de concreto

Obtenidas las mezclas de concreto, se procedió al moldeo de las briquetas cilíndricas y adoquines intertrabados correspondientes al grupo control y a los grupos experimentales. La fabricación de los especímenes se realizó conforme a la NTP 399.611:2017 y la ASTM C192/C192M, garantizando la uniformidad de los especímenes para los ensayos de resistencia a la compresión y eficacia fotocatalítica.

4.5.6 Curado de los especímenes briquetas y adoquines

Finalizada la elaboración de los especímenes, se procedió a su curado mediante inmersión en agua, conforme a los lineamientos de la ASTM C192/C192M, manteniéndolos en condiciones controladas hasta las edades de 7, 14 y 28 días, programadas para la evaluación de las propiedades mecánicas y fotocatalíticas**.**

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

4.5.7 Ensayos experimentales a los especímenes

a) Ensayos de resistencia a la compresión

El ensayo de resistencia a la compresión se realizó con la finalidad de evaluar el efecto de la incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña (CBC) sobre el comportamiento mecánico de las briquetas cilíndricas de concreto. El procedimiento se ejecutó conforme a la NTP 339.034 y la ASTM C39/C39M, garantizando la uniformidad y confiabilidad de los resultados obtenidos.



Figura 13 — Ensayos de resistencia a la compresión de las briquetas

b) Ensayos de eficacia fotocatalítica mediante la degradación de Rodamina B

La eficacia fotocatalítica de los adoquines se evaluó mediante el ensayo de degradación de Rodamina B, conforme a la UNI 11259:2008. Los especímenes fueron impregnados con una solución de Rodamina B y expuestos a radiación solar durante 60, 120, 180 y 240 minutos. La degradación se determinó mediante análisis digital de imágenes (HSV) empleando una región de interés (ROI), utilizándose el porcentaje de degradación a los 240 minutos para comparar la respuesta fotocatalítica de los tratamientos.

- **Paso 1: Preparación del ensayo**

  Se seleccionaron los adoquines correspondientes al grupo control y a los grupos experimentales (7.5 %, 10 %, 15 % y 22.5 %). Posteriormente, se preparó la solución de Rodamina B y se aplicó uniformemente sobre la superficie de cada espécimen hasta cubrir completamente el área de evaluación.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



Figura 14 — Aplicación de la solución de Rodamina B

- **Paso 2: Exposición a la radiación solar**

  Una vez aplicada la solución de Rodamina B, los adoquines fueron expuestos a radiación solar para activar el proceso fotocatalítico del TiO_2. La exposición se realizó durante 60, 120, 180 y 240 minutos, efectuándose un registro fotográfico al finalizar cada intervalo para evaluar la degradación del colorante y comparar la respuesta fotocatalítica de los tratamientos experimentales.

- **Paso 3: Registro fotográfico de la degradación de la rodamina B**

  Al finalizar cada intervalo de exposición, se realizó el registro fotográfico de los especímenes bajo las mismas condiciones de iluminación, distancia y ángulo de captura, con el propósito de documentar la evolución de la degradación de la Rodamina B y garantizar la comparabilidad de las imágenes utilizadas en el análisis digital.



Figura 15 — Registro fotográfico del ensayo fotocatalítico

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

- **Paso 4: Análisis digital de imágenes y determinación del porcentaje de degradación**

  Las imágenes obtenidas fueron procesadas mediante un sistema de análisis digital utilizando el espacio de color HSV (Hue, Saturation, Value). Para cada adoquín se definió una región de interés (ROI) representativa de la superficie impregnada con Rodamina B, a partir de la cual se obtuvieron los valores de saturación correspondientes a cada tiempo de evaluación. Estos valores permitieron determinar el porcentaje de degradación de la Rodamina B y evaluar la eficacia fotocatalítica de los tratamientos experimentales.

4.6 Técnica e instrumentos

4.6.1 Técnicas

Según Hernández-Sampieri y Mendoza (2023), las técnicas de investigación comprenden los procedimientos utilizados para obtener la información necesaria que permita dar respuesta a los objetivos del estudio.

En la presente investigación se emplearon las siguientes técnicas:

- **Experimentación de laboratorio:** Constituyó la técnica principal, ya que permitió manipular la variable independiente mediante la incorporación de diferentes porcentajes de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña (CBC) en la fabricación de pavimentos intertrabados, evaluando posteriormente su efecto sobre las propiedades mecánicas y fotocatalíticas bajo condiciones controladas.

- **Observación directa:** Se utilizó de manera complementaria durante la elaboración de las mezclas, la fabricación de los especímenes y la ejecución de los ensayos de resistencia a la compresión y eficacia fotocatalítica, permitiendo registrar de forma sistemática el comportamiento observado y los resultados obtenidos en cada tratamiento experimental.

4.6.2 Instrumentos

Los instrumentos utilizados para la recolección de datos estuvieron constituidos por fichas de registro elaboradas para documentar de manera sistemática la información obtenida durante el diseño de la mezcla y la ejecución de los ensayos experimentales. Estos instrumentos permitieron registrar los resultados conforme a las normas

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

técnicas aplicables y a los objetivos de la investigación. Los formatos empleados se presentan en los anexos de la presente tesis.

Los formatos empleados se presentan en los anexos de la presente tesis.

a) **Instrumento 1. Ficha de registro para el diseño de mezcla.**
   Permitió documentar el procedimiento y los cálculos realizados mediante el método ACI 211.1, así como la dosificación final de la mezcla del grupo control y de los tratamientos experimentales.

b) **Instrumento 2. Ficha de registro del ensayo de resistencia a la compresión.**
   Permitió registrar la identificación de los especímenes, la edad de ensayo, la carga máxima aplicada y la resistencia a la compresión obtenida, conforme a la NTP 339.034 y la ASTM C39/C39M.

c) **Instrumento 3. Ficha de registro del ensayo de eficacia fotocatalítica.**
   Se empleó para registrar los tiempos de exposición, los resultados del análisis digital de imágenes y el porcentaje de degradación de la Rodamina B, tomando como referencia la UNI 11259:2008.

4.6.3 Validación de instrumentos

Los instrumentos fueron sometidos a juicio de expertos para evaluar su claridad, pertinencia, coherencia y aplicabilidad. La validación fue realizada por especialistas en ingeniería civil y estadística, quienes emitieron el veredicto de "Es aplicable". Los formatos de validación se presentan en los anexos de la presente investigación.

Tabla 15 — Validación de los instrumentos por juicio de expertos

N°	Experto	Especialidad	Grado académico	Veredicto
1	Charles Néstor Checcya Alata	Ingeniero Civil – Especialista en Geotecnia y Vías Terrestres	Magíster	Es aplicable
2	Edwin Meza Tintaya	Ingeniero Civil – Especialista en Estructuras	Magíster	Es aplicable
3	Américo Huachaca Barazorda	Ingeniero Civil	Magíster	Es aplicable

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

4	Edwar Ilasaca Cahuata	Ingeniero Estadístico	Doctor	Es aplicable

El análisis de los instrumentos de recolección de datos y su correspondiente evaluación por juicio de expertos (Anexo C) permitió obtener un coeficiente de confiabilidad de 0.90, valor que corresponde a un nivel de confiabilidad muy bueno. Este resultado evidencia una adecuada consistencia interna de los instrumentos y respalda su aplicación para la recolección de datos, garantizando la confiabilidad de la información obtenida durante el desarrollo de la investigación.

4.7 Análisis estadístico

El análisis estadístico tuvo como finalidad procesar, organizar e interpretar los datos obtenidos durante los ensayos experimentales, con el propósito de evaluar el efecto de la incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña (CBC) sobre las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de los pavimentos intertrabados de concreto. Según Hernández y Mendoza (2023), el análisis estadístico permite organizar, resumir e interpretar la información obtenida durante la investigación para dar respuesta a los objetivos planteados y contrastar las hipótesis formuladas.

El análisis se desarrolló en dos niveles complementarios: estadística descriptiva y estadística inferencial, utilizando el software IBM SPSS Statistics versión 26.0 y Microsoft Excel para el procesamiento, análisis e interpretación de los datos experimentales. De acuerdo con los objetivos específicos de la investigación, el análisis estadístico se desarrolló de la siguiente manera.

- **Objetivo específico 1:** Evaluación de la resistencia a la compresión mediante estadística descriptiva e inferencial, aplicando las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk, homogeneidad de varianzas (Levene), análisis de varianza (ANOVA) y comparaciones múltiples de Tukey.

- **Objetivo específico 2:** Evaluación de la eficacia fotocatalítica, mediante estadística descriptiva e inferencial, aplicando las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk, homogeneidad de varianzas (Levene), análisis de varianza (ANOVA) y comparaciones múltiples de Tukey.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

- **Objetivo específico 3:** Determinación de la dosificación óptima, mediante la función de deseabilidad de Derringer y Suich, integrando la respuesta mecánica y la eficacia fotocatalítica para seleccionar el tratamiento con el mejor desempeño.

4.7.1 Estadística descriptiva

La estadística descriptiva se empleó para organizar, resumir y presentar los datos obtenidos durante los ensayos de resistencia a la compresión y eficacia fotocatalítica. Para ello, se elaboraron tablas y gráficos estadísticos, además del cálculo de medidas descriptivas como la media aritmética y la desviación estándar, permitiendo caracterizar el comportamiento de los tratamientos experimentales y facilitar la interpretación de los resultados.

4.7.2 Estadística inferencial

La estadística inferencial permitió determinar si las diferencias observadas entre los tratamientos fueron estadísticamente significativas o si se debieron al azar, mediante la aplicación de pruebas de hipótesis apropiadas para el diseño experimental de la investigación.

a) Nivel de significancia

Para la contrastación de las hipótesis se estableció un nivel de significancia de **α = 0.05 (5 %)**

b) Tipo de error en una prueba de hipótesis

En toda prueba de hipótesis existe la posibilidad de tomar una decisión incorrecta debido a la variabilidad inherente de los datos y al carácter probabilístico del análisis estadístico. Por ello, al decidir aceptar o rechazar la hipótesis nula pueden presentarse dos tipos de errores, cuya probabilidad se procura minimizar mediante la elección de un nivel de significancia adecuado.

- **Error tipo I (α):** Se produce cuando se rechaza la hipótesis nula (H_0) siendo esta verdadera. En la presente investigación se estableció una probabilidad de $\alpha = 0.05$, lo que equivale a aceptar un 5 % de riesgo de cometer este error.

- **Error tipo II (β):** Ocurre cuando no se rechaza la hipótesis nula (H_0), a pesar de que en realidad es falsa.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

c) Prueba de normalidad

Antes de aplicar las pruebas paramétricas, se verificó el supuesto de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk, con el propósito de determinar si los datos experimentales presentaban una distribución normal.

- **Hipótesis estadísticas**
  - **H_0:** Los datos presentan una distribución normal.
  - **H_1:** Los datos no presentan una distribución normal.

- **Criterio de decisión**
  - Si **$p \geq 0.05$**, no se rechaza la hipótesis nula y se asume normalidad.
  - Si **$p < 0.05$**, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que los datos no presentan una distribución normal.

d) Prueba de homogeneidad de varianzas

Antes de aplicar el análisis de varianza (ANOVA), se verificó el supuesto de homogeneidad de varianzas entre los tratamientos evaluados. Este procedimiento permitió comprobar que la variabilidad de los datos fuera similar entre los grupos, condición necesaria para garantizar la validez de las pruebas paramétricas empleadas en la investigación.

- **Hipótesis estadísticas**
  - **H_0:** Las varianzas de los tratamientos son homogéneas.
  - **H_1:** Al menos una de las varianzas difiere de las demás.

- **Criterio de decisión**
  - **Si $p \geq 0.05$**, no se rechaza la hipótesis nula y se concluye que las varianzas son homogéneas, por lo que es posible aplicar el análisis de varianza (ANOVA).

  - **Si $p < 0.05$**, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que existe heterogeneidad de varianzas entre los tratamientos.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

e) Análisis de varianza (ANOVA)

Una vez verificados los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, se aplicó el análisis de varianza (ANOVA) para determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados. Según Montgomery (2021), el ANOVA permite comparar simultáneamente las medias de varios grupos. En la presente investigación, esta prueba se utilizó para evaluar el efecto de la incorporación de TiO_2 y CBC sobre la resistencia a la compresión y la eficacia fotocatalítica.

- **Hipótesis estadísticas**
  - **H_0:** Las medias de los tratamientos son iguales.
  - **H_1:** Al menos una media difiere significativamente de las demás.

- **Criterio de decisión**
  - **Si $p \geq 0.05$**, no se rechaza la hipótesis nula.
  - **Si $p < 0.05$**, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que existen diferencias significativas entre los tratamientos.

f) Prueba de comparaciones múltiples post hoc de Tukey

Cuando el análisis de varianza (ANOVA) evidenció diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$), se aplicó la prueba post hoc de Tukey para identificar entre qué tratamientos existían diferencias significativas mediante comparaciones por pares de las medias.

g) Función de deseabilidad de Derringer y Suich

Con el propósito de determinar la dosificación que presentó la mejor respuesta conjunta entre la resistencia a la compresión y la eficacia fotocatalítica, se aplicó la función de deseabilidad de Derringer y Suich. Este método integró ambas variables de respuesta en un índice global de deseabilidad (0 a 1), permitiendo identificar la dosificación que presentó la mejor respuesta conjunta entre las propiedades mecánicas y fotocatalíticas.

Criterio de interpretación:

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

- **Deseabilidad = 1:** El tratamiento presenta la mejor respuesta para las variables evaluadas.

- **Deseabilidad cercana a 1:** El tratamiento presenta una respuesta favorable respecto a los objetivos establecidos.

- **Deseabilidad cercana a 0:** El tratamiento presenta una respuesta poco favorable respecto a los objetivos establecidos.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

CAPÍTULO V
RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Análisis de los resultados

5.1.1 Análisis de los resultados de la resistencia a la compresión

Se evaluó la resistencia a la compresión de los pavimentos intertrabados a los 7, 14 y 28 días de curado con el propósito de determinar el efecto de la incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña (CBC) sobre el comportamiento mecánico del material. La evaluación se realizó mediante ensayos de compresión en las diferentes mezclas experimentales y en la mezcla de control (Gc), considerando como indicadores la resistencia media y la desviación estándar obtenidas para cada edad de curado. Los resultados se presentan en la tabla 16.

Tabla 16 — Resultados de la resistencia a la compresión (kg/cm²) según mezcla y edad de curado (días)

Mezcla	Edad (días)					
	7		14		28	
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
Gc	161.43	1.46	192.79	1.87	223.71	0.69
Ge_1	173.71	3.69	206.31	1.61	232.53	2.61
Ge_2	183.84	2.14	213.39	1.14	237.61	0.98
Ge_3	187.90	2.19	216.96	0.63	255.23	1.42
Ge_4	188.22	0.86	216.46	0.73	251.34	3.46

NOTA
Se realizó en base a los resultados emitidos por el laboratorio.
FUENTE: Elaboración propia.

En la tabla 16 se presentan los resultados de la resistencia a la compresión de los pavimentos intertrabados según la mezcla y la edad de curado. En todas las mezclas se registró un incremento progresivo de la resistencia conforme aumentó el tiempo de curado. La mezcla Ge_3 (15 % TiO_2 + 7.5 % CBC) alcanzó la mayor resistencia promedio (255.23 kg/cm²), seguida por Ge_4 (251.34 kg/cm²), Ge_2 (237.61 kg/cm²), mientras que

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

la mezcla del grupo control (Gc) obtuvo 223.71 kg/cm². Estos resultados muestran que la incorporación de TiO_2 y CBC mejoró la resistencia a la compresión, siendo la dosificación Ge_3 la que presentó el mejor comportamiento mecánico.

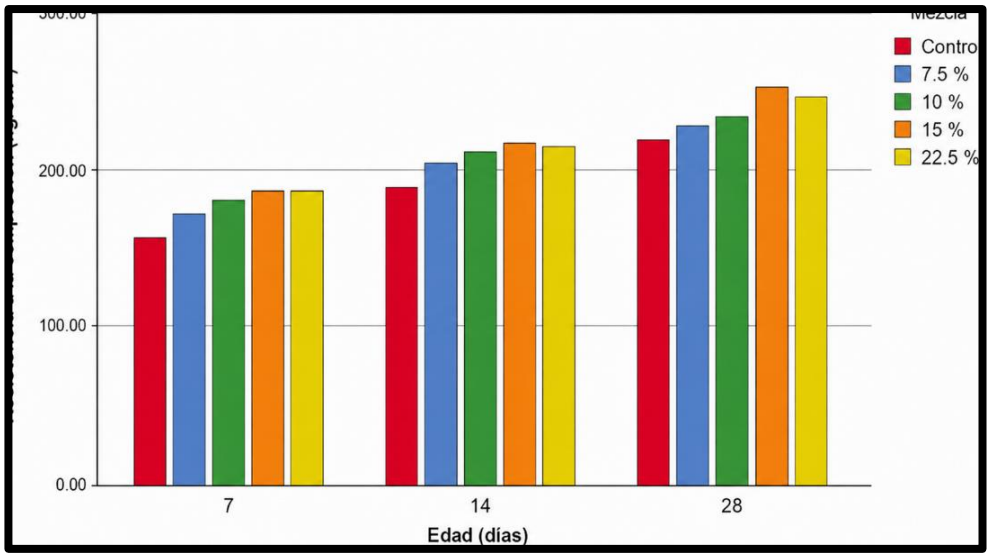


Figura 16 — Resistencia a la compresión (kg/cm²) según edad (días) y dosificación

La Figura 16 compara el comportamiento de las mezclas en las diferentes edades de curado, evidenciando que la incorporación de TiO_2 y CBC mejoró la resistencia a la compresión respecto al grupo control. La mezcla Ge_3 (15 %) presentó la mejor resistencia a la compresión, mientras que el grupo control (Gc), correspondiente a la mezcla del grupo control sin incorporación de TiO_2 ni CBC, registró los menores valores de resistencia en todas las edades evaluadas, al no incorporar estos materiales.

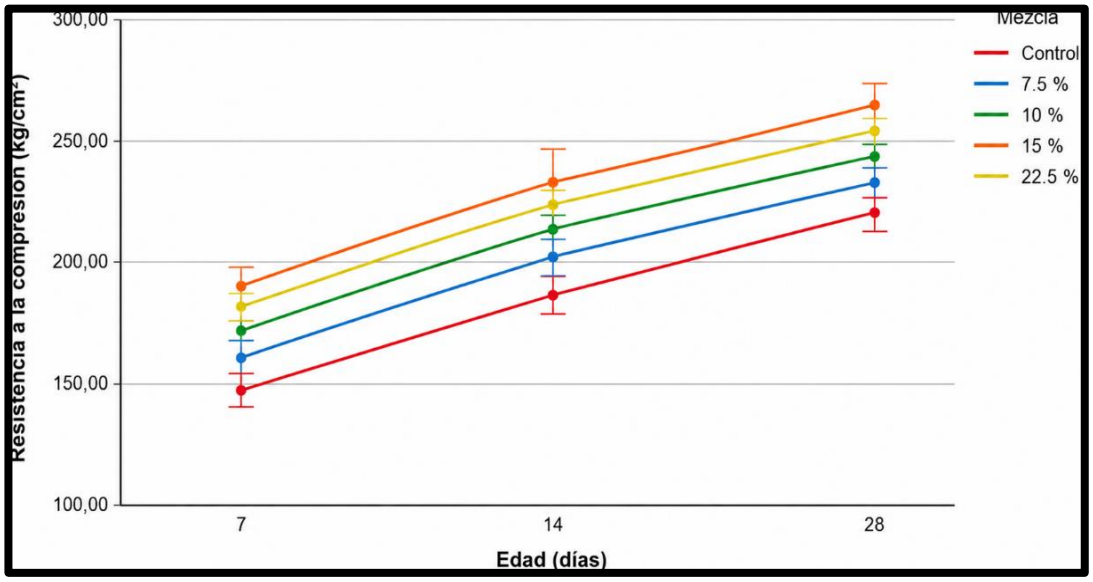


Figura 17 — Evolución de la resistencia a la compresión según edad y dosificación

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

La figura 17 muestra la evolución de la resistencia a la compresión en función de la edad de curado para cada mezcla evaluada. Se observa un incremento progresivo de la resistencia entre los 7 y 28 días en todos los tratamientos, destacando la mezcla Ge_3, que alcanzó los mayores valores de resistencia durante el periodo de evaluación.

5.1.2 Análisis de los resultados de la eficacia fotocatalítica

Se evaluó la eficacia fotocatalítica de los pavimentos intertrabados incorporados con dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña (CBC) mediante el ensayo de degradación de Rodamina B durante 240 minutos de exposición solar. La eficacia fotocatalítica se determinó a partir del porcentaje de degradación del colorante respecto al estado inicial, lo que permitió comparar el comportamiento fotocatalítico de las diferentes mezclas evaluadas.

Tabla 17 — Registro fotográfico de la degradación de Rodamina B en un intervalo de 0 a 240 minutos

Mezcla	Tiempo de exposición al sol en minutos				
	0	60	120	180	240
Gc (Grupo control)					
Ge_1					
Ge_2					
Ge_3					
Ge_4					

En la tabla 17 se presenta la evolución visual de la degradación de Rodamina B durante la exposición solar. Se observa una disminución progresiva de la intensidad de la coloración rosada, evidenciando el proceso de autolimpieza de los pavimentos

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

intertrabados. Este efecto fue más notorio en la mezcla Ge_2, seguida por Ge_3 y Ge_4. En la mezcla del grupo control (Gc) también se observó una ligera pérdida de color; sin embargo, esta se atribuye a procesos naturales, como la fotólisis y la adsorción del colorante, y no a una actividad fotocatalítica. Por ello, la mezcla Gc se utilizó como referencia para el cálculo del porcentaje de degradación y la comparación de la eficacia fotocatalítica.

Tabla 18 — Resultados de la degradación fotocatalítica según tiempo de medición

Mezcla	Tiempo (min)							
	60		120		180		240	
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
Gc	6.07	0.30	9.49	0.47	12.46	0.62	15.47	0.77
Ge_1	10.34	0.52	16.74	0.84	25.29	1.26	33.82	1.69
Ge_2	35.97	1.80	53.05	2.65	74.39	3.72	93.60	4.68
Ge_3	25.30	1.27	40.23	2.01	53.05	2.65	63.70	3.19
Ge_4	18.88	0.94	33.82	1.69	46.63	2.33	57.30	2.87

NOTA
Se realizó en base a los resultados emitidos por el laboratorio.
FUENTE: Elaboración propia.

En la tabla 18 se presentan los resultados del porcentaje de degradación fotocatalítica durante 240 minutos de exposición solar. En todas las mezclas se observó un incremento progresivo de la degradación conforme aumentó el tiempo de exposición. La mezcla Ge_2 presentó la mayor eficacia fotocatalítica (93.60 %), con un incremento de 78.13 % respecto al grupo control, seguida por Ge_3 (48.23 %), Ge_4 (41.83 %) y Ge_1 (18.35 %). La mezcla del grupo control registró una degradación de 15.47 %, atribuible a procesos naturales, como la fotólisis y la adsorción del colorante, y no a una actividad fotocatalítica.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

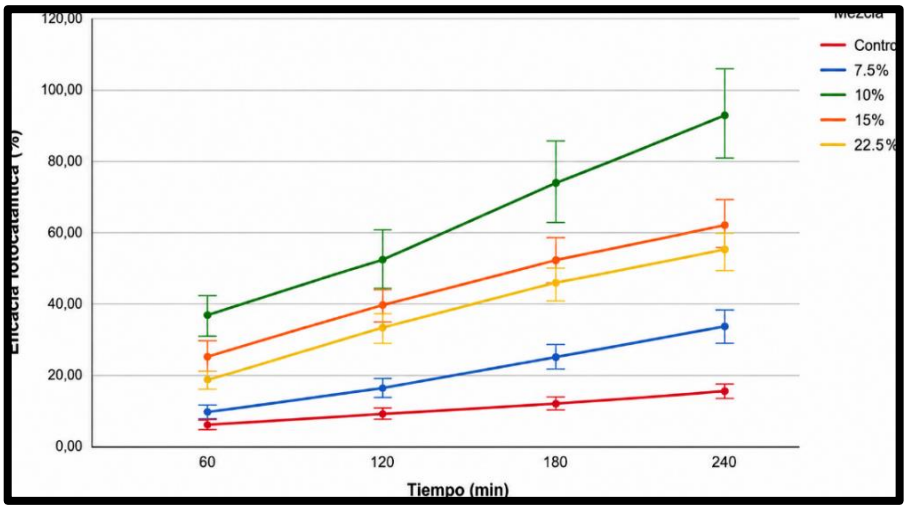


Figura 18 — Comparación de la eficacia fotocatalítica por tiempo y dosificación

La figura 18 muestra la evolución del porcentaje de degradación fotocatalítica durante el tiempo de exposición solar. Se observa que todas las mezclas incrementaron progresivamente su eficacia fotocatalítica; sin embargo, la mezcla Ge_2 presentó la mayor tasa de degradación en todos los tiempos de evaluación, mientras que la mezcla de control registró los menores valores.

5.2 Contrastación de hipótesis

5.2.1 Contrastación de hipótesis específica 1

La incorporación de diferentes porcentajes de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña influye significativamente en la resistencia a la compresión de los pavimentos intertrabados en Abancay, Apurímac, 2025.

a) Hipótesis estadísticas

- **H0:** La incorporación de diferentes porcentajes de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña no influye significativamente en la resistencia a la compresión de los pavimentos intertrabados en Abancay, Apurímac, 2025.

- **H1:** La incorporación de diferentes porcentajes de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña influye significativamente en la resistencia a la compresión de los pavimentos intertrabados en Abancay, Apurímac, 2025.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

- **Criterio de decisión**

  Si sig.<0.05 se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

b) Nivel de significancia

Se utilizó un nivel de significancia del 5 %.

c) Prueba de normalidad

Tabla 19 — Prueba de normalidad para la resistencia a la compresión

Descripción	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Gl	Sig.
Residuo estandarizado para resistencia a la compresión	0.977	45	0.494

d) Prueba de homogeneidad de varianzas

Tabla 20 — Prueba de homocedasticidad para la resistencia a la compresión

Chi-cuadrado	Gl	Sig.
8.526	1	0.350
NOTA El test prueba la hipótesis nula de homocedasticidad de los errores u homogeneidad de varianzas. Valores de Sig. <0.05 indican heterocedasticidad de los errores. Los errores son pronosticados a partir del modelo de regresión lineal planteado para la resistencia a la compresión		

En la tabla 20 se presentó la prueba de homocedasticidad para la resistencia a la compresión. El estadístico Chi-cuadrado fue de 8.526 con un valor de significancia de 0.350, superior a 0.05, lo que indicó que las varianzas de los errores fueron homogéneas y que el modelo cumplió el supuesto de homocedasticidad.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

e) ANOVA multifactorial

Tabla 21 — Prueba de efectos inter-sujetos para la resistencia a la compresión

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	32574.93	6	5429.16	564.58	0.000
Intersección	1973703.92	1	1973703.92	205246.86	0.000
Mezcla	4606.87	4	1151.72	119.77	0.000
Edad	27968.06	2	13984.03	1454.21	0.000
Error	365.42	38	9.62		
Total	2006644.27	45			
Total, corregido	32940.35	44			

NOTA

La prueba de efectos inter-sujetos evalúa la significancia del modelo general y de los factores mezcla y edad. Valores de significancia menores a 0.05 indican efectos estadísticamente significativos. El Total representa la variabilidad total de la variable dependiente, mientras que el Total corregido representa la variabilidad respecto a su media y constituye la base para el análisis de varianza (ANOVA).

En la Tabla 21 se presentan los resultados de la prueba de efectos inter-sujetos para la resistencia a la compresión. El modelo general fue estadísticamente significativo ($F = 564.58$; $p < 0.001$). Asimismo, tanto el factor mezcla ($F = 119.77$; $p < 0.001$) como la edad de curado ($F = 1454.21$; $p < 0.001$) ejercieron un efecto estadísticamente significativo sobre la resistencia a la compresión. En consecuencia, se rechazó la hipótesis nula y se aceptó la hipótesis de investigación, concluyéndose que la incorporación de diferentes porcentajes de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña (CBC) influye significativamente en la resistencia a la compresión de los pavimentos intertrabados.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

f) Comparación múltiple post hoc de Tukey

Tabla 22 — Pruebas de comparación post hoc para la resistencia a la compresión

(I) Mezcla		Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95 %	
					Límite inferior	Límite superior
Grupo control	7.5 %	-11,5400*	1.46183	0.000	-15.7253	-7.3547
	10 %	-18,9667*	1.46183	0.000	-23.1520	-14.7814
	15 %	-27,3878*	1.46183	0.000	-31.5731	-23.2025
	22.5 %	-26,0289*	1.46183	0.000	-30.2142	-21.8436
7.5%	Gc	11,5400*	1.46183	0.000	7.3547	15.7253
	10 %	-7,4267*	1.46183	0.000	-11.6120	-3.2414
	15 %	-15,8478*	1.46183	0.000	-20.0331	-11.6625
	22.5 %	-14,4889*	1.46183	0.000	-18.6742	-10.3036
10%	Gc	18,9667*	1.46183	0.000	14.7814	23.1520
	7.5 %	7,4267*	1.46183	0.000	3.2414	11.6120
	15 %	-8,4211*	1.46183	0.000	-12.6064	-4.2358
	22.5 %	-7,0622*	1.46183	0.000	-11.2475	-2.8769
15%	Gc	27,3878*	1.46183	0.000	23.2025	31.5731
	7.5 %	15,8478*	1.46183	0.000	11.6625	20.0331
	10 %	8,4211*	1.46183	0.000	4.2358	12.6064
	22.5 %	1.3589	1.46183	0.884	-2.8264	5.5442
22.5%	Gc	26,0289*	1.46183	0.000	21.8436	30.2142
	7.5 %	14,4889*	1.46183	0.000	10.3036	18.6742
	10 %	7,0622*	1.46183	0.000	2.8769	11.2475
	15 %	-1.3589	1.46183	0.884	-5.5442	2.8264

NOTA

Se presentan las comparaciones post hoc mediante la prueba de Tukey, la cual realiza comparaciones en pareja entre los diversos porcentajes de dióxido de titanio y bagazo de caña. Las diferencias significativas se acompañan de un símbolo asterisco (*).

En la tabla 22 se presentaron las comparaciones múltiples mediante la prueba post hoc de Tukey para la resistencia a la compresión. Se observó que todas las comparaciones entre las mezclas presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p<0.001$), excepto entre las mezclas con 15 % y 22.5 %, cuya diferencia no fue significativa ($p=0.884$). La mezcla con 15 % de dióxido de titanio y ceniza de bagazo de caña presentó la mayor resistencia media, aunque

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

estadísticamente fue similar a la mezcla con 22.5 %, mientras que ambas superaron significativamente a las mezclas con 10 %, 7.5 % y a la mezcla del grupo control.

g) Subconjuntos homogéneos de Tukey

Tabla 23 — Subconjuntos homogéneos Tukey para la resistencia a la compresión

Mezcla	N° de observaciones	Subconjunto			
		1	2	3	4
Grupo control	9	192.6433			
7.5 %	9		204.1833		
10 %	9			211.6100	
22.5 %	9				218.6722
15 %	9				220.0311
Sig.		1.0000	1.0000	1.0000	0.8840

NOTA
Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos, las mezclas que presentan el mismo número de subconjunto no presentan diferencias estadísticamente significativas entre sí.

En la tabla 23 se presentaron los subconjuntos homogéneos obtenidos mediante la prueba de Tukey para la resistencia a la compresión. Se observó que las mezclas del grupo control, 7.5 % y 10 % conformaron subconjuntos independientes, mientras que las mezclas con 22.5 % y 15 % compartieron un mismo subconjunto, indicando que entre ellas no existieron diferencias estadísticamente significativas en la resistencia a la compresión. La mezcla con 15 % presentó la mayor media de resistencia, seguida muy de cerca por la mezcla con 22.5 %, ambas con un comportamiento mecánico superior al de las demás mezclas evaluadas.

Dado que el valor de significancia obtenido en el ANOVA multifactorial fue inferior al nivel de significancia establecido ($p < 0.001$; $\alpha = 0.05$), se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna. En consecuencia, se concluye que:

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

La incorporación de diferentes porcentajes de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña influye significativamente en la resistencia a la compresión de los pavimentos intertrabados en Abancay, Apurímac, 2025.

5.2.2 Contrastación de hipótesis específica 2

La incorporación de diferentes porcentajes de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña influye significativamente en la eficacia fotocatalítica de los pavimentos intertrabados, evaluada mediante la degradación de Rodamina B, en Abancay, Apurímac, 2025.

a) Hipótesis estadísticas

- **H0:** La incorporación de diferentes porcentajes de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña no influye significativamente en la eficacia fotocatalítica de los pavimentos intertrabados, evaluada mediante la degradación de Rodamina B, en Abancay, Apurímac, 2025.

- **H1:** La incorporación de diferentes porcentajes de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña influye significativamente en la eficacia fotocatalítica de los pavimentos intertrabados, evaluada mediante la degradación de Rodamina B, en Abancay, Apurímac, 2025.

- **Criterio de decisión**

  Si sig.<0.05 se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

b) Nivel de significancia

Se utilizó un nivel de significancia del 5 %.

c) Prueba de normalidad

Tabla 24 — Prueba de normalidad para la eficacia fotocatalítica

Descripción	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Gl	Sig.
Residuo estandarizado para eficacia fotocatalítica.	0.977	60	0.312

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

d) Prueba de homogeneidad de varianzas

Tabla 25 — Prueba de homocedasticidad para la eficacia fotocatalítica

Chi-cuadrado	Gl	Sig.
0.257	1	0.612

NOTA
El test prueba la hipótesis nula de homocedasticidad de los errores u homogeneidad de varianzas. Valores de Sig. <0.05 indican heterocedasticidad de los errores. Los errores son pronosticados a partir del modelo de regresión lineal planteado para la eficacia fotocatalítica

En la tabla 25 se presentó la prueba de homocedasticidad para la eficacia fotocatalítica. El estadístico Chi-cuadrado fue de 0.257 con un valor de significancia de 0.612, superior a 0.05, lo que indicó que no existieron evidencias de heterocedasticidad y que las varianzas de los errores fueron homogéneas, cumpliéndose este supuesto para el modelo de regresión.

e) ANOVA multifactorial

Tabla 26 — Prueba de efectos inter-sujetos para la eficacia fotocatalítica

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	30305.03	7	4329.29	91.63	0.000
Intersección	78974.30	1	78974.30	1671.56	0.000
Dosificación	20875.59	4	5218.90	110.46	0.000
Tiempo	9429.44	3	3143.15	66.53	0.000
Error	2456.79	52	47.25		
Total	111736.12	60			
Total, corregido	32761.82	59			

NOTA
La prueba de efectos inter-sujetos evalúa la significancia del modelo general y de los factores dosificación y tiempo. Valores de significancia menores a 0.05 indican efectos estadísticamente significativos. El Total representa la variabilidad total de

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

la variable dependiente, mientras que el Total corregido representa la variabilidad respecto a su media y constituye la base para el análisis de varianza (ANOVA).

En la Tabla 26 se presentan los resultados de la prueba de efectos inter-sujetos para la eficacia fotocatalítica. El modelo general fue estadísticamente significativo ($F = 91.63$; $p < 0.001$). Asimismo, tanto el factor dosificación ($F = 110.46$; $p < 0.001$) como el tiempo de exposición ($F = 66.53$; $p < 0.001$) ejercieron un efecto estadísticamente significativo sobre la eficacia fotocatalítica. En consecuencia, se rechazó la hipótesis nula y se aceptó la hipótesis de investigación, concluyéndose que la incorporación de diferentes porcentajes de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña (CBC) influye significativamente en la eficacia fotocatalítica de los pavimentos intertrabados.

f) Comparación múltiple post hoc de Tukey

Tabla 27 — Pruebas de comparación post hoc para la eficacia fotocatalítica

(I) Mezcla		Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95 %	
					Límite inferior	Límite superior
Grupo control	7.5 %	-10,6750*	2.80612	0.003	-18.6045	-2.7455
	10 %	-53,3800*	2.80612	0.000	-61.3095	-45.4505
	15 %	-34,6975*	2.80612	0.000	-42.6270	-26.7680
	22.5 %	-28,2850*	2.80612	0.000	-36.2145	-20.3555
7.5 %	Gc	10,6750*	2.80612	0.003	2.7455	18.6045
	10 %	-42,7050*	2.80612	0.000	-50.6345	-34.7755
	15 %	-24,0225*	2.80612	0.000	-31.9520	-16.0930
	22.5 %	-17,6100*	2.80612	0.000	-25.5395	-9.6805
10 %	Gc	53,3800*	2.80612	0.000	45.4505	61.3095
	7.5 %	42,7050*	2.80612	0.000	34.7755	50.6345
	15 %	18,6825*	2.80612	0.000	10.7530	26.6120
	22.5 %	25,0950*	2.80612	0.000	17.1655	33.0245
15 %	Gc	34,6975*	2.80612	0.000	26.7680	42.6270
	7.5 %	24,0225*	2.80612	0.000	16.0930	31.9520
	10 %	-18,6825*	2.80612	0.000	-26.6120	-10.7530
	22.5 %	6.4125	2.80612	0.166	-1.5170	14.3420

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

22.5 %	Gc	28,2850*	2.80612	0.000	20.3555	36.2145
	7.5 %	17,6100*	2.80612	0.000	9.6805	25.5395
	10 %	-25,0950*	2.80612	0.000	-33.0245	-17.1655
	15 %	-6.4125	2.80612	0.166	-14.3420	1.5170

NOTA
Se presentan las comparaciones post hoc mediante la prueba de Tukey, la cual realiza comparaciones en pareja entre los diversos porcentajes de dióxido de titanio y bagazo de caña. Las diferencias significativas se acompañan de un símbolo asterisco (*).

En la tabla 27 se presentaron las comparaciones múltiples mediante la prueba post hoc de Tukey para la eficacia fotocatalítica. Se observó que la mezcla con 10 % de dióxido de titanio y ceniza de bagazo de caña presentó diferencias estadísticamente significativas respecto a todas las demás mezclas ($p < 0.001$), registrando la mayor eficacia fotocatalítica. Asimismo, la mezcla con 15 % también difirió significativamente de la mezcla del grupo control, de 7.5 % y de 10 %, pero no presentó diferencias significativas respecto a la mezcla con 22.5 % ($p = 0.166$). Del mismo modo, la comparación entre las mezclas con 15 % y 22.5 % no mostró diferencias estadísticamente significativas, mientras que el resto de comparaciones evidenció diferencias significativas, indicando que la dosificación del 10 % fue la que alcanzó la mayor eficacia fotocatalítica.

g) Subconjuntos homogéneos de Tukey

Tabla 28 — Subconjuntos homogéneos Tukey para la eficacia fotocatalítica

Mezcla	N° de observaciones	Subconjunto			
		1	2	3	4
Grupo control	12	10.8725			
7.5 %	12		21.5475		
22.5 %	12			39.1575	
15 %	12			45.5700	
10 %	12				64.2525
Sig.		1.0000	1.0000	0.1660	1.0000

NOTA
Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos, las mezclas que presentan el mismo número de subconjunto no presentan diferencias estadísticamente significativas entre sí.

En la tabla 28 se presentan los subconjuntos homogéneos obtenidos mediante la prueba de Tukey para la eficacia fotocatalítica. Las mezclas base, 7.5 % y 10 %

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

conformaron subconjuntos independientes, evidenciando diferencias estadísticas entre ellas. En cambio, las mezclas con 15 % y 22.5 % compartieron un mismo subconjunto, lo que indica que no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre sí, aunque ambas registraron una eficacia inferior a la mezcla con 10 %, la cual alcanzó la mayor media de degradación fotocatalítica.

Dado que el ANOVA multifactorial mostró un valor de significancia inferior al nivel establecido ($p < 0.001$; $\alpha = 0.05$), se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna. En consecuencia, se concluye que:
La incorporación de diferentes porcentajes de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña influye significativamente en la eficacia fotocatalítica de los pavimentos intertrabados, evaluada mediante la degradación de Rodamina B, en Abancay, Apurímac, 2025.

5.2.3 Contrastación de hipótesis específica 3

Existe una dosificación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña que presenta la mejor respuesta mecánica y fotocatalítica entre los tratamientos evaluados para la fabricación de pavimentos intertrabados en Abancay, Apurímac, 2025.

a) Hipótesis estadísticas

- **H0:** No existe una dosificación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña que presenta la mejor respuesta mecánica y fotocatalítica entre los tratamientos evaluados para la fabricación de pavimentos intertrabados en Abancay, Apurímac, 2025.

- **H1:** Existe una dosificación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña que presenta la mejor respuesta mecánica y fotocatalítica entre los tratamientos evaluados para la fabricación de pavimentos intertrabados en Abancay, Apurímac, 2025.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

b) Deseabilidad individual para la eficacia fotocatalítica y la resistencia a la compresión

Tabla 29 — Deseabilidades individuales para los factores evaluados

Mezcla	Resistencia estimada	Eficacia estimada	Deseabilidad de resistencia	Deseabilidad de eficacia
Grupo control	223.30	27.37	0.4660	0.0069
7.5 %	234.84	38.05	0.6968	0.2085
10 %	242.27	80.75	0.8454	1.0000
15 %	250.69	62.07	1.0000	0.6617
22.5 %	249.33	55.66	0.9866	0.5408

NOTA
La deseabilidad individual de cada respuesta se calculó mediante la función de deseabilidad de Derringer y Suich para el criterio de maximización (larger is better), utilizando un parámetro de forma (s = 1), lo que implica una transformación lineal entre el límite inferior aceptable ((L)) y el valor objetivo ((T)). Para la resistencia a la compresión se establecieron (L = 210) kg/cm² y (T = 250) kg/cm², mientras que para la respuesta fotocatalítica se definieron (L = 27 %) y (T = 80 %). Los valores comprendidos entre ambos límites se transformaron linealmente a una escala de 0 a 1.

En la tabla 29 se presentaron las deseabilidades individuales para la resistencia a la compresión y la eficacia fotocatalítica de las mezclas evaluadas. Se observó que la mezcla con 15 % de dióxido de titanio y ceniza de bagazo de caña alcanzó la máxima deseabilidad para la resistencia (1.00), seguida por la mezcla con 22.5 % (0.9866) y la mezcla con 10 % (0.8454). En cuanto a la eficacia fotocatalítica, la mezcla con 10 % obtuvo la máxima deseabilidad (1.0000), seguida por la mezcla con 15 % (0.6617) y la mezcla con 22.5 % (0.5408). La mezcla del grupo control presentó las menores deseabilidades para ambas respuestas (0.4660 para resistencia y 0.0069 para eficacia), evidenciando que la mejor respuesta individual dependió de la variable analizada, siendo la mezcla con 15 % la más favorable para la resistencia y la mezcla con 10 % la más eficaz desde el punto de vista fotocatalítico.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

c) Deseabilidad individual global

Tabla 30 — Deseabilidad global para la optimización del tipo de mezcla

Mezcla	Resistencia estimada	Eficacia estimada	Deseabilidad de resistencia	Deseabilidad de eficacia	Deseabilidad global
Grupo control	223.3	27.37	0.4660	0.0069	0.0570
7.5 %	234.84	38.05	0.6968	0.2085	0.3812
10 %	242.27	80.75	0.8454	1.0000	0.9195
15 %	250.69	62.07	1.0000	0.6617	0.8134
22.5 %	249.33	55.66	0.9866	0.5408	0.7304

NOTA

La deseabilidad global se obtuvo mediante la media geométrica de las deseabilidades individuales de la resistencia a la compresión y la respuesta fotocatalítica, asignando igual importancia a ambas respuestas. Los valores de la deseabilidad global se expresan en una escala de 0 a 1, donde valores cercanos a 1 indican un mayor cumplimiento simultáneo

En la tabla 30 se presentó la deseabilidad global obtenida mediante la combinación de la resistencia a la compresión y eficacia fotocatalítica.

La mezcla con 10 % de TiO_2 y ceniza de bagazo de caña alcanzó la mayor deseabilidad global (0.9195), seguida por las mezclas con 15 % (0.8134) y 22.5 % (0.7304). Por el contrario, la mezcla con 7.5 % obtuvo una deseabilidad de 0.3812, mientras que la mezcla del grupo control registró el menor valor (0.0570).

Estos resultados evidencian que la incorporación del 10 % de TiO_2 y CBC proporcionó la mejor respuesta entre la resistencia a la compresión y la eficacia fotocatalítica.

Con base en los resultados de la función de deseabilidad de Derringer y Suich, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna. En consecuencia, se concluye que:

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

Existe una dosificación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña que presenta la mejor respuesta mecánica y fotocatalítica entre los tratamientos evaluados para la fabricación de pavimentos intertrabados en Abancay, Apurímac, 2025.

5.2.4 Contrastación de hipótesis general

a) Hipótesis

- **H_0:** La incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña influye significativamente sobre las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de los pavimentos intertrabados, Abancay, Apurímac 2025.

- **H_1:** La incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña no influye significativamente sobre las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de los pavimentos intertrabados, Abancay, Apurímac 2025.

Tabla 31 — Contrastación de hipótesis general

Modelo	Variables	Tipo III de suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo 1	Eficacia fotocalítica	20875.59	4	5218.90	110.46	0.000
Modelo 2	Resistencia a la compresión	4606.87	4	1151.72	119.77	0.000

NOTA
La tabla resume los resultados del ANOVA multifactorial para evaluar el efecto de la incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña (CBC) sobre la eficacia fotocatalítica y la resistencia a la compresión de los pavimentos intertrabados. Los análisis detallados se presentan en las hipótesis específicas 1 y 2.

En la Tabla 31 se presenta el resumen de los resultados obtenidos para contrastar la hipótesis general. El análisis de varianza mostró que la incorporación de TiO_2 y CBC produjo un efecto estadísticamente significativo tanto sobre la eficacia fotocatalítica ($F = 110.46$; $p < 0.001$) como sobre la resistencia a la compresión ($F = 119.77$; $p < 0.001$). Asimismo, el análisis de optimización mediante la función de deseabilidad de Derringer y Suich identificó que la dosificación del 10 % alcanzó la mayor deseabilidad global (0.9195), al proporcionar el mejor equilibrio entre ambas propiedades evaluadas.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

En consecuencia, se cumple el objetivo general al demostrar que la incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña mejora las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de los pavimentos intertrabados. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula, se acepta la alterna y se concluye que:

La incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña influye significativamente sobre las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de los pavimentos intertrabados, Abancay, Apurímac 2025.

5.3 Discusión

En relación con el **primer objetivo específico**, los resultados demostraron que la incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña (CBC) produjo un efecto altamente significativo sobre la resistencia a la compresión de los pavimentos intertrabados ($F = 564.58$; $p < 0.001$). La dosificación del 15 % (7.5 % TiO_2 + 7.5 % CBC) presentó la mayor resistencia promedio (255.23 kg/cm²), con un incremento del 14.08 % respecto a la mezcla del grupo control, seguida por la dosificación del 22.5 % (15 % TiO_2 + 7.5 % CBC), sin diferencias estadísticas significativas entre ambas ($p = 0.884$). Las dosificaciones de 7.5 % (5 % TiO_2 + 2.5 % CBC) y 10 % (5 % TiO_2 + 5 % CBC) también mejoraron la resistencia en 3.94 % y 6.21 %, respectivamente. Estos resultados concuerdan con Thomas et al. (2021), quienes señalaron que sustituciones entre 10 % y 20 % de CBC favorecen las reacciones puzolánicas y mejoran la resistencia mecánica. Asimismo, Hussien y Oan (2022) reportaron que una sustitución del 5 % de CBC incrementó la resistencia a la compresión del concreto los 28 días, mientras que Espinoza Huapaya identifico como óptima sustitución el 5 % de CBC. Aunque las dosificaciones óptimas difieren entre investigaciones, ello puede atribuirse a las características de los materiales y, principalmente, a que el presente estudio evaluó la incorporación combinada de TiO_2 y CBC, mientras que los antecedentes analizaron únicamente la incorporación de CBC. En consecuencia, la dosificación del 15 % (7.5 % TiO_2 + 7.5 % CBC) se establece como la alternativa más favorable para incrementar la resistencia mecánica de los pavimentos intertrabados.

En relación con el **segundo objetivo específico**, los resultados demostraron que la incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña (CBC) influyó significativamente en la eficacia fotocatalítica de los pavimentos intertrabados ($p < 0.001$), El grupo control (Gc) alcanzó una degradación máxima de 15.47 %, atribuida a procesos naturales como la fotólisis y la adsorción del colorante. En contraste, la dosificación del 10

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

% (5 % TiO_2 + 5 % CBC) registró la mayor degradación (93.60 %), incrementando el porcentaje de degradación en 78.13 % respecto al grupo control y superando ampliamente el criterio establecido por la norma UNI 11259:2008 para materiales fotocatalíticos (> 50 %). Asimismo, las dosificaciones del 15 % y 22.5 % incrementaron la degradación en 48.23 % y 41.83 %, respectivamente, mientras que la dosificación del 7.5 % presentó un incremento de 18.35 %. Estos resultados concuerdan con Cruz Huamán y Zaga Hinojosa (2024), quienes demostraron que la incorporación de TiO_2 permitió obtener degradaciones de Rodamina B compatibles con la UNI 11259:2008. Del mismo modo, Benique y Chayña (2024) reportaron una degradación fotocatalítica del 73.2 % en adoquines con 7 % de TiO_2, mientras que Palanisamy et al. (2023) concluyeron que el 5 % de TiO_2 optimiza la capacidad autolimpiante del mortero. Aunque Apaza y Mamani (2024) identificaron como óptima una dosificación del 7 % de TiO_2, esta diferencia puede atribuirse a que evaluaron únicamente TiO_2, mientras que la presente investigación incorporó TiO_2 y CBC de forma conjunta. En consecuencia, la dosificación del 10 % (5 % TiO_2 + 5 % CBC) se establece como la alternativa más favorable para maximizar la actividad fotocatalítica y la capacidad autolimpiante de los pavimentos intertrabados.

En relación con el **tercer objetivo específico**, los resultados demostraron que existe una dosificación óptima de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña (CBC) capaz de maximizar simultáneamente las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de los pavimentos intertrabados. Mediante la función de deseabilidad de Derringer y Suich, la dosificación del 10 % (5 % TiO_2 + 5 % CBC) alcanzó la mayor deseabilidad global (0.9195), superando a las dosificaciones del 15 % (0.8134), 22.5 % (0.7304), 7.5 % (0.3812) y a la mezcla del grupo control (0.0570). Aunque la dosificación del 15 % presentó la mayor resistencia estimada (255.23 kg/cm²) y la del 10 % alcanzó la mayor eficacia fotocatalítica (78.13 %), el análisis multicriterio evidenció que esta última proporciona el mejor equilibrio entre ambas respuestas. Estos resultados guardan relación con Apaza y Mamani (2024), quienes identificaron como óptima una dosificación del 10 % de TiO_2 para mejorar el comportamiento integral de pavimentos semirrígidos. Del mismo modo, Benique y Chayña (2024) reportaron que la incorporación de 7 % de TiO_2 y 25 % de ceniza volcánica permitió obtener una resistencia a la compresión de 420.78 kgf/cm² y una degradación fotocatalítica de 73.2 %, demostrando que la combinación de TiO_2 con materiales cementicios suplementarios mejora simultáneamente las propiedades mecánicas y fotocatalíticas. Asimismo, Thomas et al. (2021) señalaron que la incorporación

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

controlada de CBC favorece las reacciones puzolánicas y mejora el desempeño mecánico del material.

En relación con el **objetivo general**, los resultados demostraron que la incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña (CBC) influyó significativamente sobre las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de los pavimentos intertrabados. El análisis de varianza confirmó un efecto altamente significativo tanto para la resistencia a la compresión ($F = 119.77$; $p < 0.001$) como para la eficacia fotocatalítica ($F = 110.46$; $p < 0.001$). Asimismo, la función de deseabilidad de Derringer y Suich identificó que la dosificación del 10 % (5 % TiO_2 + 5 % CBC) alcanzó la mayor deseabilidad global (0.9195), al proporcionar el mejor equilibrio entre ambas propiedades. Estos resultados concuerdan con Benique y Chayña (2024), quienes reportaron mejoras simultáneas en la resistencia mecánica y la actividad fotocatalítica de adoquines modificados con TiO_2 y un material cementicio suplementario, así como con Palanisamy et al. (2023) y Thomas et al. (2021), quienes señalaron que la incorporación controlada de TiO_2 y materiales puzolánicos favorece el desempeño mecánico y la capacidad autolimpiante de los materiales cementicios. En consecuencia, se confirma que la incorporación conjunta de TiO_2 y CBC constituye una alternativa técnicamente viable para mejorar simultáneamente las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de los pavimentos intertrabados, cumpliéndose así el objetivo general de la investigación.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

CAPÍTULO VI
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Con respecto al objetivo general, se concluye que la presente investigación demostró que la incorporación conjunta de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña (CBC) mejora significativamente las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de los pavimentos intertrabados. La evaluación experimental permitió identificar que la dosificación del 10 % (5 % TiO_2 + 5 % CBC) constituye la alternativa óptima, al proporcionar el mejor equilibrio entre la resistencia a la compresión y la eficacia fotocatalítica, de acuerdo con la función de deseabilidad de Derringer y Suich. En consecuencia, la incorporación conjunta de ambos materiales representa una alternativa técnica y ambientalmente viable para la fabricación de pavimentos intertrabados destinados a vías urbanas y zonas de tránsito peatonal y vehicular ligero, al incrementar su desempeño mecánico, su capacidad autolimpiante y promover el aprovechamiento sostenible de la ceniza de bagazo de caña como material cementicio suplementario.

Con respecto al primer objetivo específico, se concluye que la incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña (CBC) influye significativamente en la resistencia a la compresión de los pavimentos intertrabados ($p < 0.001$). La dosificación del 15 % (7.5 % TiO_2 + 7.5 % CBC) presentó el mejor comportamiento mecánico, alcanzando una resistencia promedio de 255.23 kg/cm², equivalente a un incremento del 14.08 % respecto a la mezcla del grupo control. Asimismo, la prueba de Tukey evidenció que las dosificaciones del 15 % y 22.5 % no presentaron diferencias estadísticas significativas, confirmando que ambas mejoran el desempeño mecánico del material.

Con respecto al segundo objetivo específico, se concluye que la incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña (CBC) mejora significativamente la eficacia fotocatalítica de los pavimentos intertrabados ($p < 0.001$). La mezcla del grupo control alcanzó una degradación máxima de 15.47 %, atribuida a procesos naturales, mientras que la dosificación del 10 % (5 % TiO_2 + 5 % CBC) obtuvo la mayor degradación fotocatalítica (93.60 %) incrementando la degradación en 78.13 % respecto a la mezcla de control y

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

superando ampliamente el criterio establecido por la norma UNI 11259:2008 para materiales fotocatalíticos. En consecuencia, esta dosificación presentó la mayor capacidad de autolimpieza y se estableció como la alternativa más eficiente para potenciar las propiedades fotocatalíticas de los pavimentos intertrabados.

Con respecto al tercer objetivo específico, se concluye que la función de deseabilidad de Derringer y Suich permitió determinar la dosificación óptima de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña (CBC) para maximizar simultáneamente la resistencia a la compresión y la eficacia fotocatalítica. La dosificación del 10 % (5 % TiO_2 + 5 % CBC) alcanzó la mayor deseabilidad global (0.9195), superando a las demás mezclas evaluadas. Aunque la dosificación del 15 % presentó la mayor resistencia mecánica, la del 10 % proporcionó el mejor equilibrio entre ambas propiedades, constituyéndose como la alternativa más adecuada para la fabricación de pavimentos intertrabados.

6.2 Recomendaciones

Con base en el objetivo general, aunque los resultados obtenidos evidenciaron la viabilidad técnica de incorporar dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña (CBC) en pavimentos intertrabados hexagonales, se recomienda que futuros investigadores tomen como base la presente investigación y amplíen su alcance mediante ensayos en condiciones reales de servicio, considerando niveles de contaminación atmosférica, intensidad del tránsito vehicular y condiciones climáticas propias de la zona de estudio. Asimismo, se sugiere evaluar su aplicación en las principales avenidas y vías urbanas de Abancay, con el propósito de validar su desempeño mecánico y fotocatalítico a mediano y largo plazo, así como su contribución a la reducción de contaminantes atmosféricos.

Con base en el primer objetivo específico, aunque la investigación demostró que la dosificación del 15 % (7.5 % TiO_2 + 7.5 % CBC) mejora significativamente la resistencia a la compresión de los pavimentos intertrabados, es recomendable evaluar su comportamiento utilizando diferentes tipos de cemento, relaciones agua/cemento y fuentes de ceniza de bagazo de caña, debido a que el presente estudio se desarrolló con materiales específicos y bajo condiciones controladas de laboratorio. Asimismo, se sugiere evaluar su aplicación en las principales avenidas y vías urbanas de Abancay, con el propósito de establecer la aplicabilidad de esta dosificación en distintos contextos constructivos y optimizar el diseño de mezclas para pavimentos intertrabados.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

Con base en el segundo objetivo específico, si bien la metodología basada en el análisis digital de imágenes permitió evaluar satisfactoriamente la actividad fotocatalítica mediante la degradación de Rodamina B, se recomienda que futuras investigaciones complementen este procedimiento mediante métodos instrumentales validados para la evaluación de materiales cementicios fotocatalíticos, con el fin de fortalecer la confiabilidad de los resultados obtenidos. Asimismo, es importante estandarizar las condiciones de captura de imágenes, controlando la iluminación, el ángulo, la distancia de la cámara y los tiempos de exposición del ensayo, con el fin de minimizar errores durante el procesamiento digital y mejorar la reproducibilidad de los resultados.

Con base en el tercer objetivo específico, a pesar de que la función de deseabilidad permitió identificar a la dosificación del 10 % (5 % TiO_2 + 5 % CBC) como la alternativa que proporciona el mejor equilibrio entre la resistencia mecánica y la eficacia fotocatalítica, es recomendable ampliar la investigación evaluando nuevas combinaciones de TiO_2 y CBC, así como otros materiales cementicios suplementarios y nanopartículas fotocatalíticas. Estas investigaciones deberían ser desarrolladas por universidades y centros de investigación, con el propósito de optimizar simultáneamente el desempeño mecánico, la actividad fotocatalítica y la durabilidad de los pavimentos intertrabados.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKSON INGENIERÍA. 2020. Especificación técnica: Pavimento intertrabado. [En línea] 2020. https://www.udocz.com/apuntes/1036966/especificacion-tecnica-pavimento-intertrabado-akso.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 2022. ASTM C1602/C1602M-2022. Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete. West Conshohocken, Pennsylvania, 2022.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 2024. ASTM C140/C140M-24. Standard Test Methods for Sampling and Testing Concrete Masonry Units and Related Units. West Conshohocken, Pennsylvania, 2024.

APAZA PAREDES, Fabiola del Rocio, VARGAS MAMANI, Alexander Alexis y GAMBOA ZAVALA, Albert Stony. 2024. Evaluación de ladrillos fotocatalíticos con adición de dióxido de titanio (TiO_2) para capturar el dióxido de carbono (CO_2) en la región de Tacna, 2024.

APAZA QUISPE, Alber Milton y MAMANI MAMANI, Rene Oswaldo. 2024. Influencia del dióxido de titanio y la radiación infrarroja en el comportamiento físico, mecánico y químico del pavimento semirrígido, Puno – 2023. Tesis para optar el título de ingeniero Civil. Callao: Universidad César Vallejo, 2024.

BARROS SANTOS, E, et al. 2025. Estudio de las propiedades de las pastas de cemento Portland modificadas con nanopartículas de dióxido de titanio. s.l.: Revista Univap, 2025. Vol. 31, pp. 1-14, 2025. ISSN 2237-1753.

BENIQUE QUISPE, Luis Eduardo y CHAYÑA GÓMEZ, Angela Miluska. 2024. 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 para optar el título de ingeniero civil. Arequipa: Universidad Católica de Santa María, 2024.

BERNUY CHÁVEZ, Giancarlo Orlando y FLORES CORTES, Howard Hans. 2020. Evaluación de las propiedades mecánicas y capacidad autolimpiable del mortero c/a 1:5 de cemento Portland tipo I modificado con dióxido de titanio (TiO_2), en la ciudad de Lima. Tesis para optar el título de ingeniero civil. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2020.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

CAMPOS RIVERA, Noelita y SAMANIEGO HEREDIA, Lesly Lisbeth. 2025. Evaluación de las propiedades del concreto f'c = 280 kg/cm² al sustituir cenizas de cascarilla de café y bagazo de caña de azúcar con relación al peso del cemento, para pavimento rígido-2024. Tesis para optar el título de ingeniero civil. Jaén: Universidad Nacional de Jaén, 2025.

CANO QUISPE, Rayza Miluska y CÁRDENAS CASTRO, Talia. 2024. Análisis comparativo de la influencia en las propiedades índice y mecánicas de un suelo para subrasante añadiendo ceniza del bagazo de la cañaduz en la ruta Canua a Llinqui – Aymaraes – Apurímac, 2021. Tesis para optar el título de ingeniero civil. Abancay: Universidad Tecnológica de los Andes, 2024.

CASTRO HOYOS, Angelica Maria, ROJAS MANZANO, Manuel Alejandro y MAURY RAMÍREZ, Aníbal. 2022. Challenges and Opportunities of Using Titanium Dioxide Photocatalysis on Cement-Based Materials. Coatings, 2022. Vol. 12. ISSN 2079-6412.

CHÁVARRY VALLEJOS, Carlos Magno, et al. 2021. Efecto del dióxido de titanio sobre las propiedades mecánicas y de autolimpieza del mortero. Universidad Ciencia y Tecnología, 2021. Vol. 25, pp. 88–97. DOI: 10.47460/uct. v25i109.452.

CIELO CIPRIANO, Bratzon Ariane y GUTIÉRREZ CHUQUI, Jonayquer Stid. 2024. Propiedades del concreto f'c = 280 kg/cm² adicionando ceniza de bagazo de caña de azúcar en 3 %, 5 %, 7 % y 10 % en sustitución del cemento. Tesis para optar el título de ingeniero civil. Lima: Universidad Cesar Vallejo, 2024.

CONCRETE MASONRY & HARDSCAPES ASSOCIATION. 2022. Concrete Paver Installer Course: Student Manual. Herndon, Virginia, 2022.

CONCRETE MASONRY & HARDSCAPES ASSOCIATION. 2023. Structural Design of Interlocking Concrete Pavement for Roads and Parking Lots PAV-TEC-004-23. Herndon, Virginia, 2023.

CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA (CONCYTEC). Código de Integridad Científica. Lima, 2022.

CORONEL CAMINO, Ramiro Stalin, MUÑOZ PÉREZ, Sócrates Pedro y RODRÍGUEZ LAFITTE, Ernesto Dante. 2021. Efecto de la ceniza de bagazo de caña de azúcar en las propiedades del concreto. Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación. Vol. 8, n.º 2, pp. 43–58. ISSN 2313-1926.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

CRUZ HUAMAN, Jaime Yohan and ZAGA HINOJOSA, Neyer Ivan. 2024. Influencia del dióxido de titanio al 3 %, 5 % y 7 % con respecto a las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de la mezcla asfáltica en caliente con agregados de Abancay – Apurímac, 2023. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil. Abancay: Universidad Tecnológica de los Andes, 2024.

ENTE NAZIONALE ITALIANO DI UNIFICAZIONE (UNI). 2008. UNI 11259:2008. Products and systems for the protection and repair of concrete structures – Determination of photocatalytic activity of hydraulic binder – Rhodamine method. Milano, 2008.

ESPINOZA HUAPAYA, Víctor Roger Andre y LAZARI OLANO, Katherine Verónica. 2022. Ceniza de bagazo de caña de azúcar para mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto estructural. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil. Lima: Universidad Ricardo Palma, 2022.

HAMDANY, Abdul Halim, et al. 2022. Photocatalytic cementitious material for eco-efficient construction: A systematic literature review. 2022. Vol. 12, pp. 1 - 17. ISSN 2076-3417.

HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto y MENDOZA TORRES, Christian Paulina. 2023. Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. [2.ª ed.] McGraw-Hill Education. Ciudad de México, 2023.

HUARACA HUAMAN, Carlos Yasmany. 2022. Evaluación de la resistencia a la compresión y flexotracción del concreto elaborado con ceniza de bagazo de caña de azúcar como sustituto parcial del cemento en Abancay, 2019. Tesis para optar el título de ingeniero civil. Abancay: Universidad Tecnológica de los Andes, 2022.

HUAYLLAPUMA HUERTA, Jaddy Nashira y SALDIVAR ASTETE, Shunqo Sami. 2020. Adición de las cenizas de bagazo de caña de azúcar en el comportamiento mecánico del concreto f'c = 210 kg/cm² en Abancay, 2020. Tesis para optar el título de ingeniero civil. Lima: Universidad Cesar Vallejo, 2020.

HUSSIEN, N. T. and OAN, A. F. 2022. The use of sugarcane wastes in concrete. Journal of Engineering and Applied Science. 2022. Vol. 69, pp. 1 - 9. ISSN 2536-9152.

INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (IRAM). 2019. IRAM 11656: Adoquines de hormigón para pavimentos intertrabados. Requisitos y métodos de ensayo. Buenos Aires: Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 2019.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

INTERLOCKING CONCRETE PAVEMENT INSTITUTE. 2022. Concrete Paver Installer Course: Student Manual. Herndon, Virginia, 2022. ISBN 9780988679597.

KOLAWOLE, John Temitope, et al. 2021. State-of-the-art review on the use of sugarcane bagasse ash in cementitious materials. Cement and Concrete Composites. 2021. Vol. 118, pp. 1 – 25. ISSN 0958-9465.

MAKUL, Natt. 2021. Principles of Cement and Concrete Composites. Cham: Springer, 2021. ISSN 2522-5618.

MARTÍNEZ, Gustavo. 2020. Ingeniería y Construcción Colombia. Tipos de pavimento. Conócelos. [En línea] 2020. https://www.ingenieriayconstruccioncolombia.com/tipos-de-pavimento/.

MILLONES CHAPOÑAN, M., MUÑOZ PÉREZ, S. P. y VILLANUEVA MEZA, C.D. 2023. La ceniza de bagazo de caña de azúcar como aditivo estabilizador en suelos arcillosos con fines de pavimentación: Una revisión literaria, 2023. Vol. 25. ISSN 0123-3033.

MINISTERIO DE SALUD. DIRECCIÓN GENERAL DE SALUD AMBIENTAL E INOCUIDAD ALIMENTARIA (DIGESA). Monitoreo puntual de la calidad del aire: Apurímac. DIGESA. [En línea] [Citado el: 30 de Julio de 2026.] https://www.digesa.minsa.gob.pe/DCOVI/mapas/DIGESA_AIR_MR_CalidadAirePuntual_APURIMAC.html.

MINISTERIO DEL AMBIENTE (MINAM). 2024. Informe Nacional sobre el Estado del Ambiente (INEA) 2024. Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA). [En línea] Ministerio del Ambiente, 2024. https://sinia.minam.gob.pe/inea/wp-content/uploads/2024/06/INEA-Resumen-Ejecutivo.pdf.

MINISTERIO DEL AMBIENTE. Zonas priorizadas de calidad del aire. Ministerio del Ambiente. [En línea] [Citado el: 15 de junio de 2026.] https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/zonas-priorizadas-de-calidad-del-aire/.

MONTGOMERY, Douglas C. 2020. Design and Analysis of Experiments. Hoboken: John Wiley & Sons, 2020. ISBN 978-1-119-49244-3.

MUCHA CHÁVEZ, Gabriela Graciela. 2025. Incidencia de las cenizas del bagazo de caña de azúcar en la resistencia a la compresión de adoquines de concreto, Huánuco - 2022. Tesis para optar el título de ingeniero civil. Huánuco: Universidad de Huánuco, 2025.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE ABANCAY. 2026. Gerencia de Acondicionamiento Territorial y Desarrollo Urbano. 2026.

NEVILLE, Adam M. 2022. Properties of Concrete. London: Pearson, 2022. ISBN 978-0273755807.

NTP 334.009:2025. 2025. Cementos. Cementos Portland. Requisitos. Lima: INACAL, 2025.

NTP 334.088:2024. 2024. Concreto. Aditivos químicos para concreto. Especificaciones. Lima: INACAL, 2024.

NTP 339.034:2025. 2025. Concreto. Determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. Método de ensayo. Lima: INACAL, 2025.

NTP 339.088:2024. 2024. Concreto. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento hidráulico. Requisitos. Lima: INACAL, 2024.

NTP 399.611:2017/CT 1:2019. 2017. Unidades de albañilería. Adoquines de concreto para pavimentos. Requisitos. Corrigenda técnica 1. Lima: INACAL, 2017.

NTP 400.011:2020. 2020. Agregados. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y concretos. Lima: INACAL, 2020.

NTP 400.012:2021. 2021. Agregados. Análisis granulométrico por tamizado. Lima: INACAL, 2021.

NTP 400.037:2021. 2021. Agregados. Especificaciones normalizadas para agregados para concreto. Lima: INACAL, 2021.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. 2024. Calidad del aire ambiente (exterior) y salud. World Health Organization. [Online] Organización Mundial de la Salud, octubre 24, 2024. https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health.

PALANISAMY, Chandrasekaran, et al. 2023. Study on the Behavior of Self-Cleaning Impregnated Photocatalyst (TiO_2) with Cement Mortar. 2023. Vol. 1, pp. 1-10. ISSN 1687-8434.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

PALOMINO LAZO, Evelin Aracelly y TORRES JULCA, Javier Alejandro. 2021. Ceniza de bagazo de caña de azúcar para mejorar las propiedades mecánicas del concreto. Tesis para optar el título de ingeniero civil. Lima: Universidad Ricardo Palma, 2021.

RATHAN R. T., Arjun Siva and V., Sunitha. 2024. Structural Design of Interlocking Concrete Block Pavements. CRC Press, 2024. p. 124. ISBN 9781040147283.

RESANO, Daniel, et al. 2022. Caracterización fisicoquímica del bagazo de caña de azúcar industrial y artesanal como material de construcción. 2022. Vol. 33, p. 12. ISSN 0718-0764.

RUELAS MOLLESACA, Oscar Ricardo y YUCRA MAMANI, Abel Mijael. 2022. Comportamiento del concreto con adición de ceniza de bagazo de caña de azúcar como sustituto parcial del cemento Portland en las mezclas de concreto normal. Tesis para optar el título de ingeniero civil. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2022.

TANG, Shuangchao, et al. 2024. Advances in TiO_2-enhanced photocatalytic building materials: applications in cement and asphalt for environmental purification. Low-Carbon Materials and Green Construction. 2024, Vol. 2, pp. 1 - 25. ISSN 2731-6319.

TELES, R. N., et al. 2025. Avaliação do efeito autolimpante promovido pela aspersão de fotocatalisadores em argamassa de revestimento. En: XV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Porto Alegre, 2025. pp. 1 - 8.

THOMAS, Blessen Skariah, et al. 2021. State-of-the-art review on the use of sugarcane bagasse ash in cementitious materials. 2021. Vol. 15, pp. 1 - 31. ISSN 2589-2347.

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC (UNAMBA). Código de Ética para la Investigación de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac. Abancay: Vicerrectorado de Investigación, 2018.

VARGAS BAUTISTA, Ledy. 2024. Influencia de la ceniza de cabuya en el concreto f'c= 280 kg/cm² para pavimento rígido, avenida Cultura, distrito de Pacucha, provincia de Andahuaylas, Apurímac – 2024. Tesis para optar el título de ingeniero civil. Lima: Universidad Cesar Vallejo.

YRIGOIN PÉREZ, Karina Liseth. Influencia de las cenizas de cáscara de yuca frente a la ceniza de bagazo de caña de azúcar en el concreto de pavimento rígido. Tesis para optar el título de ingeniero civil. Chiclayo: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, 2024.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

ANEXOS

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

Anexo A

Tabla 32 — Matriz de consistencia de la tesis "Incorporación de dióxido de titanio (TiO2) en la fabricación de pavimentos intertrabados para mejorar sus propiedades mecánicas y fotocatalíticas, Abancay, Apurímac 2025"

<table>
<tr><th>PROBLEMA</th><th>OBJETIVOS</th><th>HIPÓTESIS</th><th colspan="3">VARIABLES E INDICADORES</th><th>METODOLOGÍA</th></tr>
<tr><td>Problema General
¿Cómo influye la incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña en las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de los pavimentos intertrabados, Abancay, Apurímac, 2025?</td><td>Objetivo General
Determinar la influencia de la incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña sobre las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de los pavimentos intertrabados en Abancay, Apurímac, 2025.</td><td>Hipótesis General
La incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña influye significativamente sobre las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de los pavimentos intertrabados, Abancay, Apurímac, 2025.</td><td>DIMENSIÓN</td><td>INDICADORES</td><td>ÍNDICES</td><td rowspan="3">Tipo de investigación:
Investigación aplicada.

Nivel:
Explicativo
Diseño:
Experimental

La Población:
Pavimentos intertrabados de concreto con potencial de aplicación en las principales avenidas y vías urbanas del distrito de Abancay</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td colspan="3">VARIABLE INDEPENDIENTE: Incorporación de dióxido de titanio (TiO2) y ceniza de bagazo de caña</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td>Incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña</td><td>Grupo control (Sin incorporación de TiO_2 ni ceniza de bagazo de caña)

Incorporación de TiO_2 + ceniza de bagazo de caña (7.5 %, 10 %, 15 % y 22.5 %)</td><td>Porcentaje (%)</td></tr>
<tr><td>Problemas específicos
• ¿Cómo influye la incorporación de diferentes porcentajes de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña en la resistencia a la compresión de los pavimentos intertrabados, Abancay, Apurímac, 2025??

• ¿Cómo influye la incorporación de diferentes porcentajes</td><td>Objetivos específicos
• Determinar la influencia de la incorporación de diferentes porcentajes de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña en la resistencia a la compresión de los pavimentos intertrabados en Abancay, Apurímac, 2025.

• Determinar la influencia de la incorporación de diferentes porcentajes</td><td>Hipótesis específicas
• La incorporación de diferentes porcentajes de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña influye significativamente en la resistencia a la compresión de los pavimentos intertrabados en Abancay, Apurímac, 2025.

• La incorporación de diferentes porcentajes de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de</td><td colspan="3">VARIABLE DEPENDIENTE: propiedades mecánicas</td></tr>
</table>

<table>
<tr>
<td>de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña en la eficacia fotocatalítica de los pavimentos intertrabados, evaluada mediante la degradación de Rodamina B, en Abancay, Apurímac, 2025?

• ¿Cuál es la dosificación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña que presenta la mejor respuesta mecánica y fotocatalítica entre los tratamientos evaluados para la fabricación de pavimentos intertrabados en Abancay, Apurímac, 2025?</td>
<td>de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña en la eficacia fotocatalítica de los pavimentos intertrabados, evaluada mediante la degradación de Rodamina B, en Abancay, Apurímac, 2025.

• Determinar la dosificación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña que presenta la mejor respuesta mecánica y fotocatalítica entre los tratamientos evaluados para la fabricación de pavimentos intertrabados en Abancay, Apurímac, 2025.</td>
<td>caña influye significativamente en la eficacia fotocatalítica de los pavimentos intertrabados, evaluada mediante la degradación de Rodamina B, en Abancay, Apurímac, 2025.

• Existe una dosificación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña que presenta la mejor respuesta mecánica y fotocatalítica entre los tratamientos evaluados para la fabricación de pavimentos intertrabados en Abancay, Apurímac, 2025.</td>
<td>
<table>
<tr><td>Resistencia a la compresión</td><td>Fuerza máxima soportada</td><td>MPa,</td></tr>
<tr><td colspan="3">VARIABLE DEPENDIENTE: propiedades fotocatalíticas.</td></tr>
<tr><td>Autolimpieza (Self-cleaning)</td><td>Ensayo de degradación de Rodamina B</td><td>Porcentaje de degradación (%)</td></tr>
</table>
</td>
<td>La Muestra:

60 especímenes elaborados para la investigación (45 briquetas cilíndricas y 15 adoquines hexagonales).</td>
</tr>
</table>

Anexo B

Resultados de laboratorio

J & J CONSULTORES Y SERVICIOS	SOLICITA	BACH. ALEJANDRO ARATA PANIURA
	NOMBRE DEL PROYECTO	" INCORPORACIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO (TiO_2) Y CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA EN LA FABRICACIÓN DE PAVIMENTOS INTERTRABADOS PARA MEJORAR SUS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FOTOCATALÍTICAS, ABANCAY, APURÍMAC 2025".
	UBICACIÓN	ABANCAY – APURIMAC

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO HUMEDAD MTC E 215 / ASTM C-566

PROYECTO : " Incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña en la fabricación de pavimentos intertrabados para mejorar sus propiedades mecánicas y fotocatalíticas, Abancay, Apurimac 2025".

LUGAR : Abancay, Apurimac

SOLICITA : Bach. Alejandro Arata Paniura

AGREGADO FINO

	CONTENIDO DE HUMEDAD	MUESTRA			PROMEDIO
		T1	T2	T3	
1	Tara N°				
2	masa de la tara + masa del material húmedo (gr)	305,5	308,5	312,5	
3	masa de la tara + masa del material seco (gr)	298,90	301,50	307,00	
4	masa del agua contenida (gr) (2) - (3)	6,6	7	5,5	2,25%
5	masa de la tara (gr)	22,9	18,6	16,1	
6	masa del material seco (gr) (3) - (5)	276	282,9	290,9	
7	Contenido de humedad (%) (4) / (6)	2,39%	2,47%	1,89%	

Ing. Roobel A. Quispe Menno
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA
CIP. 171304

J & J CONSULTORES Y SERVICIOS E.I.R.L, Ruc: 20612666891: REALIZA LOS SERVICIOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y OTRAS CONSULTORIAS EN OBRAS CIVILES. COTABAMBAS S/N, BARRIO LOS ÁLAMOS, CHALLHUAHUACHO - COTABAMBAS | SUCURSAL: CALLE LOS CIRUELOS S/N, TAMBURCO - ABANCAY, APURÍMAC

Pag. 13

Figura 19 — Resultado de contenido de humedad agregado fino

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

J&J CONSULTORES Y SERVICIOS	SOLICITA	BACH. ALEJANDRO ARATA PANIURA
	NOMBRE DEL PROYECTO	" INCORPORACIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO (TiO_2) Y CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA EN LA FABRICACIÓN DE PAVIMENTOS INTERTRABADOS PARA MEJORAR SUS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FOTOCATALÍTICAS, ABANCAY, APURÍMAC 2025".
	UBICACIÓN	ABANCAY – APURIMAC

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO HUMEDAD MTC E 215 / ASTM C-566

PROYECTO : " Incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña en la fabricación de pavimentos intertrabados para mejorar sus propiedades mecánicas y fotocatalíticas, Abancay, Apurimac 2025".

LUGAR : Abancay, Apurimac

SOLICITA : Bach. Alejandro Arata Paniura

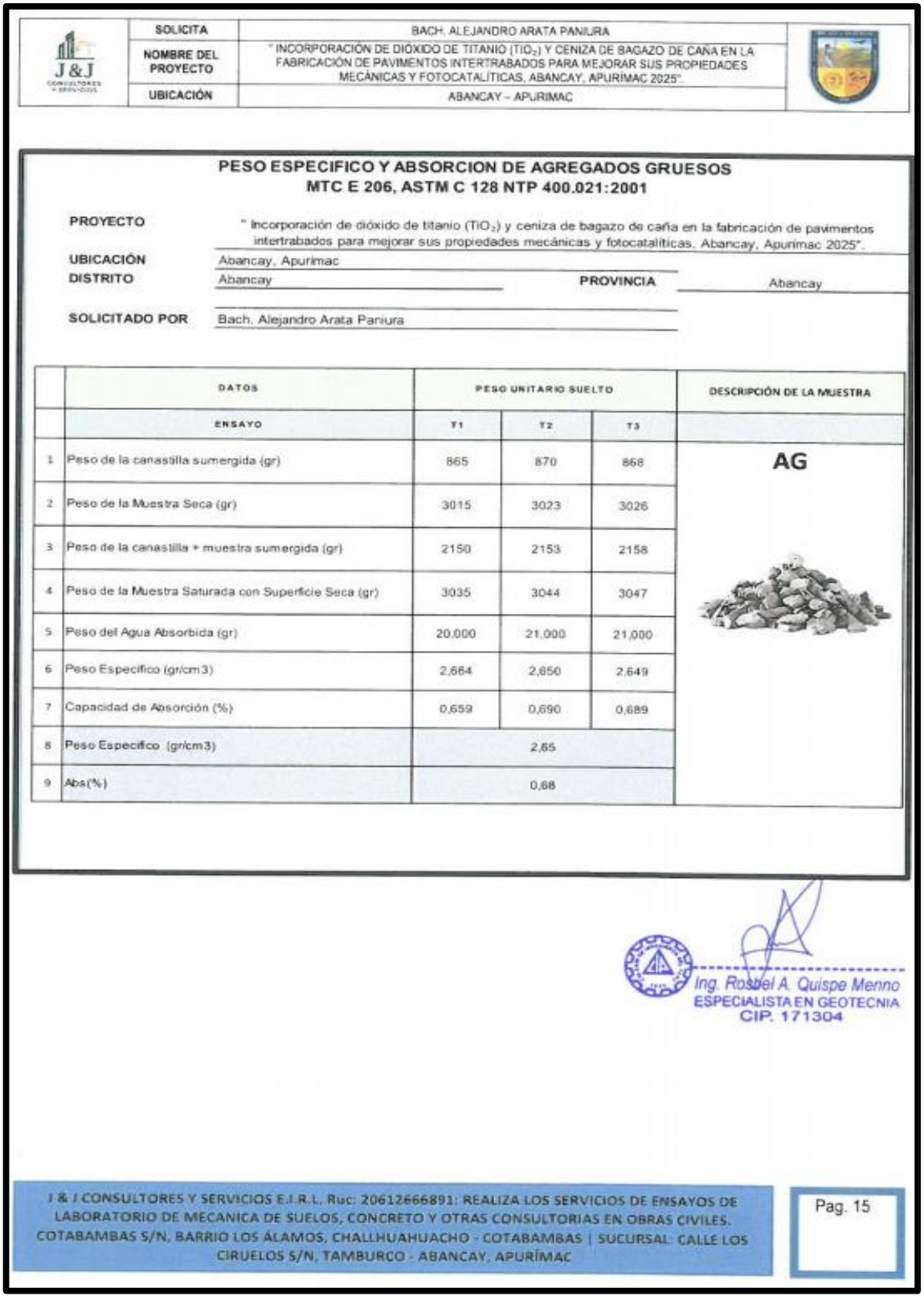
AGREGADO GRUESO

	CONTENIDO DE HUMEDAD	MUESTRA			PROMEDIO
		T1	T2	T3	
1	Tara N°				
2	masa de la tara + masa del material húmedo (gr)	405.6	407.8	407.9	
3	masa de la tara + masa del material seco (gr)	400.50	402.50	402.60	
4	masa del agua contenida (gr) (2) - (3)	5.1	5.3	5.3	1,37%
5	masa de la tara (gr)	22.9	18.6	16.1	
6	masa del material seco (gr) (3) - (5)	377.6	383.9	386.5	
7	Contenido de humedad (%) (4) / (6)	1.35%	1.38%	1.37%	

Ing. Rosbel A. Quispe Menno
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA
CIP. 171304

Figura 20 — Resultado de contenido de humedad agregado grueso

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



SOLICITA	BACH. ALEJANDRO ARATA PANIURA
NOMBRE DEL PROYECTO	" INCORPORACIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO (TiO_2) Y CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA EN LA FABRICACIÓN DE PAVIMENTOS INTERTRABADOS PARA MEJORAR SUS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FOTOCATALÍTICAS, ABANCAY, APURÍMAC 2025".
UBICACIÓN	ABANCAY – APURIMAC

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADOS GRUESOS
MTC E 206, ASTM C 128 NTP 400.021:2001

PROYECTO " Incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña en la fabricación de pavimentos intertrabados para mejorar sus propiedades mecánicas y fotocatalíticas. Abancay, Apurímac 2025".

UBICACIÓN Abancay, Apurímac

DISTRITO Abancay **PROVINCIA** Abancay

SOLICITADO POR Bach. Alejandro Arata Paniura

	DATOS	PESO UNITARIO SUELTO			DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
	ENSAYO	T1	T2	T3	
1	Peso de la canastilla sumergida (gr)	865	870	868	AG
2	Peso de la Muestra Seca (gr)	3015	3023	3026	
3	Peso de la canastilla + muestra sumergida (gr)	2150	2153	2158	
4	Peso de la Muestra Saturada con Superficie Seca (gr)	3035	3044	3047	
5	Peso del Agua Absorbida (gr)	20,000	21,000	21,000	
6	Peso Especifico (gr/cm3)	2,664	2,650	2,649	
7	Capacidad de Absorción (%)	0,659	0,690	0,689	
8	Peso Especifico (gr/cm3)	2,65			
9	Abs(%)	0,68			

Ing. Rosbel A. Quispe Menno
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA
CIP. 171304

J & J CONSULTORES Y SERVICIOS E.I.R.L. Ruc: 20612666891: REALIZA LOS SERVICIOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y OTRAS CONSULTORIAS EN OBRAS CIVILES. COTABAMBAS S/N, BARRIO LOS ÁLAMOS, CHALLHUAHUACHO - COTABAMBAS | SUCURSAL: CALLE LOS CIRUELOS S/N, TAMBURCO - ABANCAY, APURÍMAC

Pag. 15

Figura 21 — Resultado peso específico y absorción del agregado grueso

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



SOLICITA	BACH. ALEJANDRO ARATA PANIURA
NOMBRE DEL PROYECTO	" INCORPORACIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO (TiO_2) Y CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA EN LA FABRICACIÓN DE PAVIMENTOS INTERTRABADOS PARA MEJORAR SUS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FOTOCATALÍTICAS, ABANCAY, APURÍMAC 2025".
UBICACIÓN	ABANCAY – APURIMAC

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADOS FINOS
MTC E 205, ASTM C 128 NTP 400.022:2001

PROYECTO " Incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña en la fabricación de pavimentos intertrabados para mejorar sus propiedades mecánicas y fotocatalíticas, Abancay, Apurímac 2025".

UBICACIÓN Abancay, Apurímac

DISTRITO Abancay **PROVINCIA** Abancay

SOLICITADO POR Bach. Alejandro Arata Paniura

	DATOS				DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
	ENSAYO	T1	T2	T3	
1	Volumen del Picnómetro (ml)	500,00	500,00	500,00	AF
2	Peso del Picnómetro (gr)	150,00	150,00	150,00	
3	Peso de la Muestra Seca (gr)	500,00	500,00	500,00	
4	Peso del Picnómetro + Agua + Muestra (gr)	990,39	990,39	990,39	
5	Peso de la Muestra Saturada con Superficie Seca (gr)	521,35	521,35	521,35	
6	Peso del Picnómetro + Agua (gr)	650,00	650,00	650,00	
7	Peso de la Muestra Sumergida (gr)	340,39	340,39	340,39	
8	Peso del Agua Desplazada (gr)	180,96	180,96	180,96	
9	Peso del Agua Absorbida (gr)	21,35	21,35	21,35	
10	Peso Específico (gr/cm3)	2,76	2,76	2,76	
11	Capacidad de Absorción	0,04	0,04	0,04	
	Peso Especifico (gr/cm3)	2,76			
	Abs(%)	4,27%			

Ing. Rosbel A. Quispe Merino
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA
CIP. 171304

J & J CONSULTORES Y SERVICIOS E.I.R.L. Ruc: 20612666891: REALIZA LOS SERVICIOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y OTRAS CONSULTORIAS EN OBRAS CIVILES. COTABAMBAS S/N, BARRIO LOS ÁLAMOS, CHALLHUAHUACHO - COTABAMBAS | SUCURSAL: CALLE LOS CIRUELOS S/N, TAMBURCO - ABANCAY, APURÍMAC

Pag. 16

Figura 22 — Resultado del peso específico y absorción agregado fino

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

J&J CONSULTORES Y SERVICIOS	SOLICITA	BACH. ALEJANDRO ARATA PANIURA
	NOMBRE DEL PROYECTO	" INCORPORACIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO (TiO_2) Y CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA EN LA FABRICACIÓN DE PAVIMENTOS INTERTRABADOS PARA MEJORAR SUS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FOTOCATALÍTICAS, ABANCAY, APURÍMAC 2025".
	UBICACIÓN	ABANCAY – APURIMAC

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO ASTM C 33 , MTC E 204, NTP 400.012

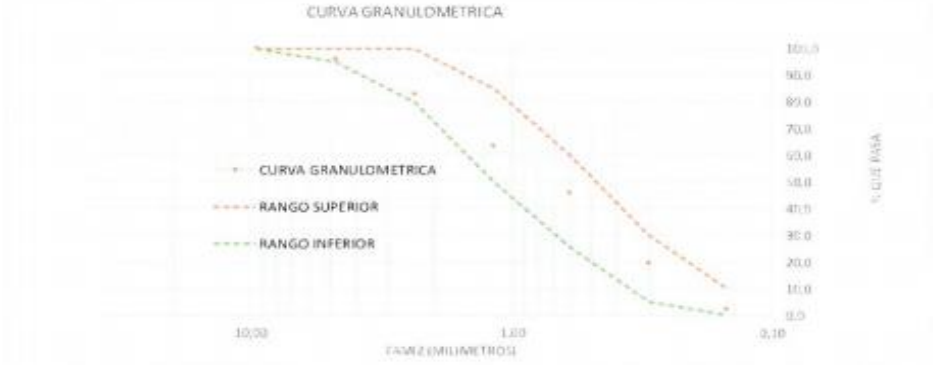
PROYECTO " Incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña en la fabricación de pavimentos intertrabados para mejorar sus propiedades mecánicas y fotocatalíticas, Abancay, Apurímac 2025".

UBICACIÓN Abancay, Apurímac

DISTRITO Abancay **PROVINCIA** Abancay

SOLICITADO POR Bach. Alejandro Arata Paniura

TAMIZ	ABERTURA (mm)	Pesos Retenidos (gr)	% Pesos Retenidos	% Retenidos Acumulados	% Q PASA	RANGO			DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
1 1/2"	37,500								AF	
1"	25,000									
3/4"	19,000									
1/2"	12,500								MF :	2,90
3/8"	9,500	0,00	0,00	0,00	100,0	100	100	CUMPLE		
N° 4	4,750	34,00	3,99	3,99	96,0	95	100	CUMPLE	PESO TOTAL	853
N° 8	2,360	110,00	12,90	16,88	83,1	80	100	CUMPLE		
N°16	1,180	169,00	19,81	36,69	63,3	50	85	CUMPLE		
N° 30	0,600	150,00	17,58	54,28	45,7	25	60	CUMPLE		
N° 50	0,300	225,00	26,38	80,66	19,3	5	30	CUMPLE		
N° 100	0,150	145,00	17,00	97,66	2,3	0	10	CUMPLE		
< N° 200	0,075	20,00	2,34	100,00	0,0					
		853,00	100,00							

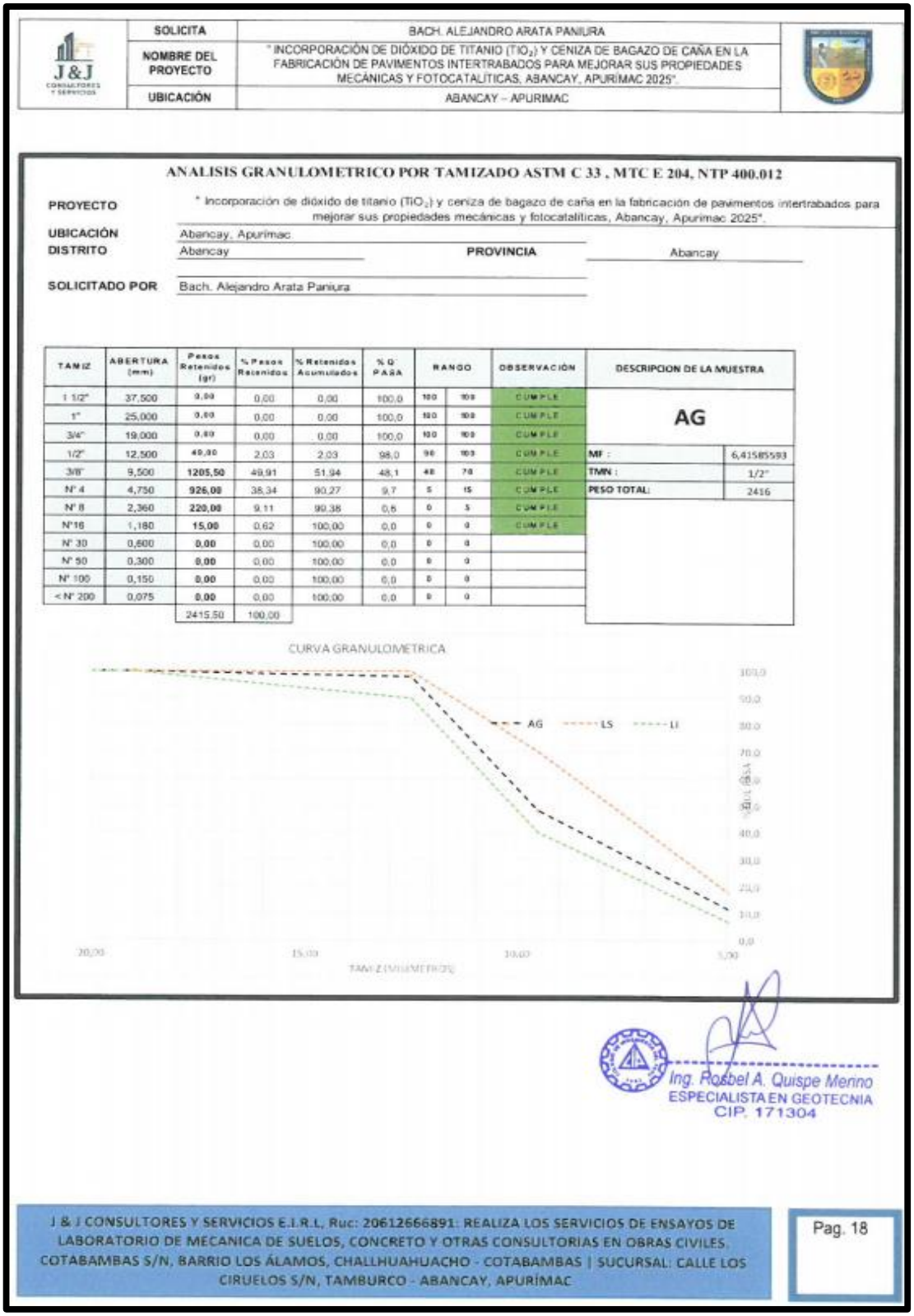


MF 2,901524

Ing. Rosbel A. Quispe Menno
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA
CIP. 171304

Figura 23 — Resultado análisis granulométrico agregado fino

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



SOLICITA	BACH. ALEJANDRO ARATA PANIURA
NOMBRE DEL PROYECTO	" INCORPORACIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO (TiO_2) Y CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA EN LA FABRICACIÓN DE PAVIMENTOS INTERTRABADOS PARA MEJORAR SUS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FOTOCATALÍTICAS, ABANCAY, APURÍMAC 2025".
UBICACIÓN	ABANCAY – APURIMAC

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO ASTM C 33 , MTC E 204, NTP 400.012

PROYECTO " Incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña en la fabricación de pavimentos intertrabados para mejorar sus propiedades mecánicas y fotocatalíticas, Abancay, Apurimac 2025".

UBICACIÓN Abancay, Apurimac

DISTRITO Abancay **PROVINCIA** Abancay

SOLICITADO POR Bach. Alejandro Arata Paniura

TAMIZ	ABERTURA (mm)	Pesos Retenidos (gr)	% Pesos Retenidos	% Retenidos Acumulados	% Q' PASA	RANGO		OBSERVACIÓN
1 1/2"	37,500	0,00	0,00	0,00	100,0	100	100	CUMPLE
1"	25,000	0,00	0,00	0,00	100,0	100	100	CUMPLE
3/4"	19,000	0,00	0,00	0,00	100,0	100	100	CUMPLE
1/2"	12,500	49,00	2,03	2,03	98,0	90	100	CUMPLE
3/8"	9,500	1205,50	49,91	51,94	48,1	40	70	CUMPLE
N° 4	4,750	926,00	38,34	90,27	9,7	5	15	CUMPLE
N° 8	2,360	220,00	9,11	99,38	0,6	0	5	CUMPLE
N°16	1,180	15,00	0,62	100,00	0,0	0	0	CUMPLE
N° 30	0,600	0,00	0,00	100,00	0,0	0	0	
N° 50	0,300	0,00	0,00	100,00	0,0	0	0	
N° 100	0,150	0,00	0,00	100,00	0,0	0	0	
< N° 200	0,075	0,00	0,00	100,00	0,0	0	0	
		2415,50	100,00					

AG

MF :	6,41585593
TMN :	1/2"
PESO TOTAL:	2416

CURVA GRANULOMETRICA

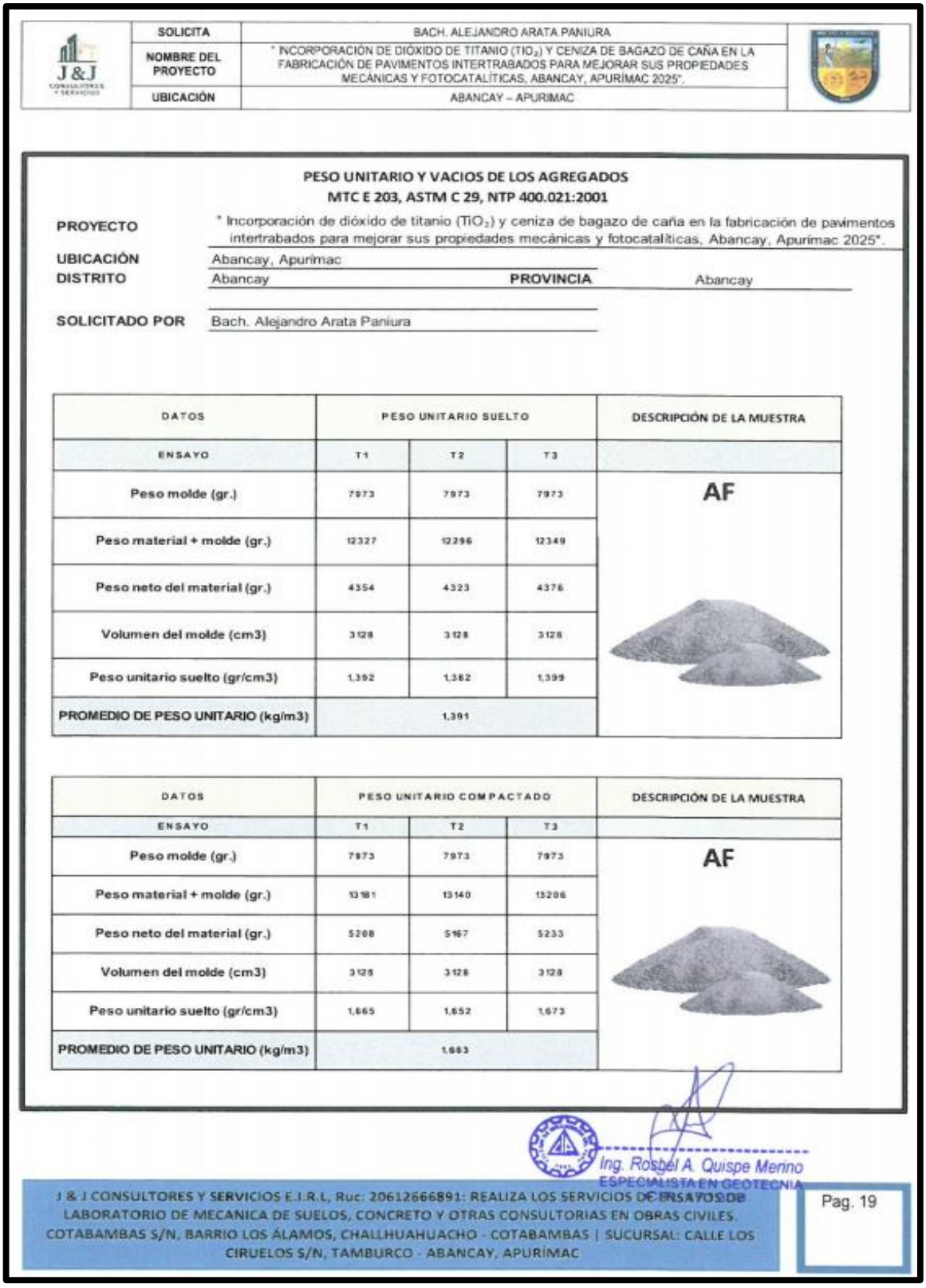
Ing. Rosbel A. Quispe Merino
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA
CIP. 171304

J & J CONSULTORES Y SERVICIOS E.I.R.L, Ruc: 20612666891: REALIZA LOS SERVICIOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y OTRAS CONSULTORIAS EN OBRAS CIVILES. COTABAMBAS S/N, BARRIO LOS ÁLAMOS, CHALLHUAHUACHO - COTABAMBAS | SUCURSAL: CALLE LOS CIRUELOS S/N, TAMBURCO - ABANCAY, APURÍMAC

Pag. 18

Figura 24 — Resultado análisis granulométrico agregado grueso

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



J&J CONSULTORES Y SERVICIOS	SOLICITA	BACH. ALEJANDRO ARATA PANIURA
	NOMBRE DEL PROYECTO	" INCORPORACIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO (TiO_2) Y CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA EN LA FABRICACIÓN DE PAVIMENTOS INTERTRABADOS PARA MEJORAR SUS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FOTOCATALÍTICAS, ABANCAY, APURÍMAC 2025".
	UBICACIÓN	ABANCAY – APURIMAC

PESO UNITARIO Y VACIOS DE LOS AGREGADOS
MTC E 203, ASTM C 29, NTP 400.021:2001

PROYECTO " Incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña en la fabricación de pavimentos intertrabados para mejorar sus propiedades mecánicas y fotocatalíticas, Abancay, Apurímac 2025".

UBICACIÓN Abancay, Apurímac

DISTRITO Abancay **PROVINCIA** Abancay

SOLICITADO POR Bach. Alejandro Arata Paniura

DATOS	PESO UNITARIO SUELTO			DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
ENSAYO	T1	T2	T3	
Peso molde (gr.)	7973	7973	7973	AF
Peso material + molde (gr.)	12327	12296	12349	
Peso neto del material (gr.)	4354	4323	4376	
Volumen del molde (cm3)	3128	3128	3128	
Peso unitario suelto (gr/cm3)	1,392	1,382	1,399	
PROMEDIO DE PESO UNITARIO (kg/m3)	1,391			

DATOS	PESO UNITARIO COMPACTADO			DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
ENSAYO	T1	T2	T3	
Peso molde (gr.)	7973	7973	7973	AF
Peso material + molde (gr.)	13181	13140	13206	
Peso neto del material (gr.)	5208	5167	5233	
Volumen del molde (cm3)	3128	3128	3128	
Peso unitario suelto (gr/cm3)	1,665	1,652	1,673	
PROMEDIO DE PESO UNITARIO (kg/m3)	1,663			

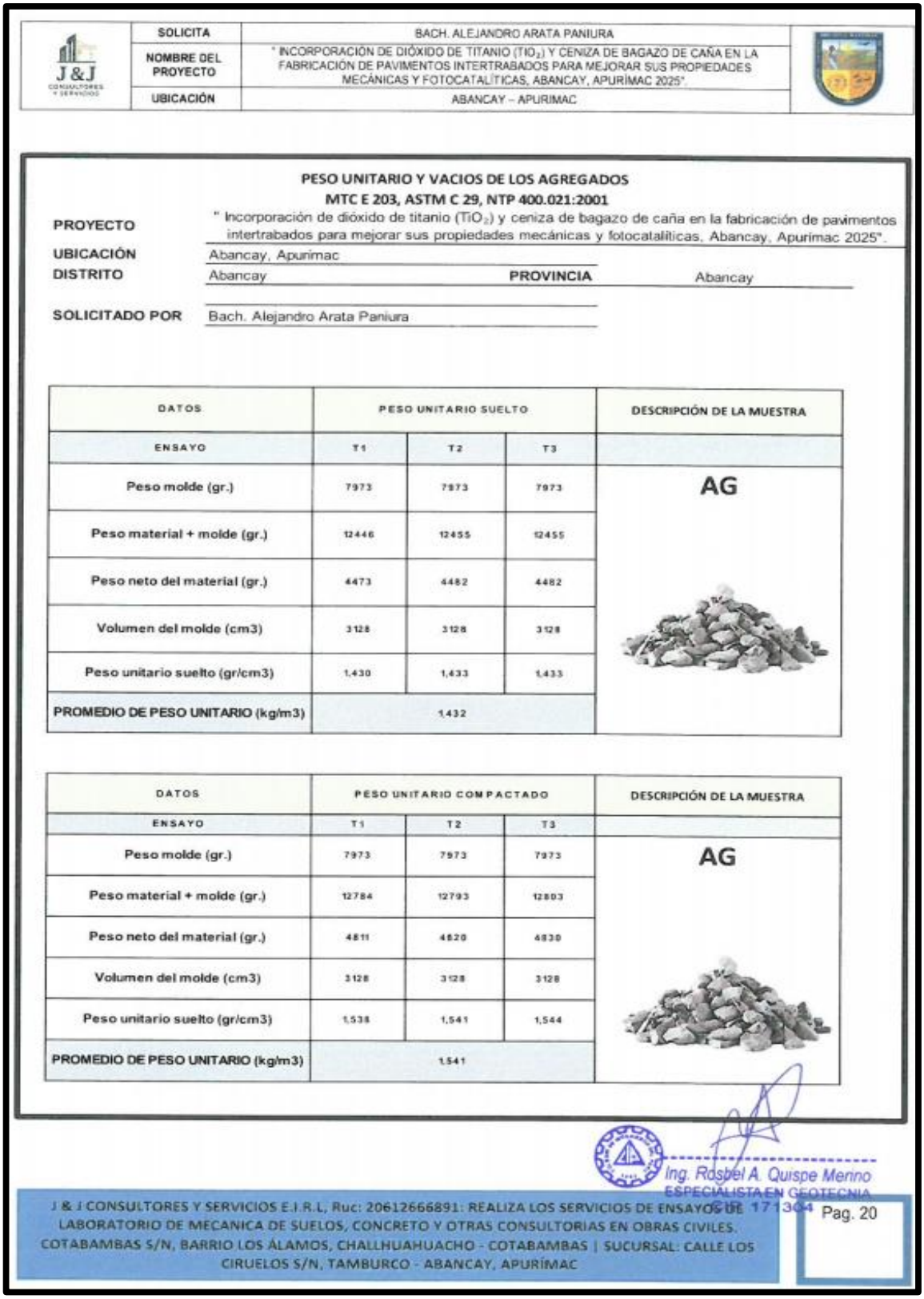
Ing. Rosbel A. Quispe Menno
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA

J & J CONSULTORES Y SERVICIOS E.I.R.L, Ruc: 20612666891: REALIZA LOS SERVICIOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y OTRAS CONSULTORIAS EN OBRAS CIVILES. COTABAMBAS S/N, BARRIO LOS ÁLAMOS, CHALLHUAHUACHO - COTABAMBAS | SUCURSAL: CALLE LOS CIRUELOS S/N, TAMBURCO - ABANCAY, APURÍMAC

Pag. 19

Figura 25 — Resultado peso unitario agregado fino

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



J&J CONSULTORES Y SERVICIOS	SOLICITA	BACH. ALEJANDRO ARATA PANIURA
	NOMBRE DEL PROYECTO	" INCORPORACIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO (TiO_2) Y CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA EN LA FABRICACIÓN DE PAVIMENTOS INTERTRABADOS PARA MEJORAR SUS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FOTOCATALÍTICAS, ABANCAY, APURÍMAC 2025"
	UBICACIÓN	ABANCAY – APURIMAC

PESO UNITARIO Y VACIOS DE LOS AGREGADOS

MTC E 203, ASTM C 29, NTP 400.021:2001

PROYECTO " Incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña en la fabricación de pavimentos intertrabados para mejorar sus propiedades mecánicas y fotocatalíticas, Abancay, Apurimac 2025".

UBICACIÓN Abancay, Apurimac

DISTRITO Abancay **PROVINCIA** Abancay

SOLICITADO POR Bach. Alejandro Arata Paniura

DATOS	PESO UNITARIO SUELTO			DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
ENSAYO	T1	T2	T3	
Peso molde (gr.)	7973	7973	7973	AG
Peso material + molde (gr.)	12446	12455	12455	
Peso neto del material (gr.)	4473	4482	4482	
Volumen del molde (cm3)	3128	3128	3128	
Peso unitario suelto (gr/cm3)	1.430	1.433	1.433	
PROMEDIO DE PESO UNITARIO (kg/m3)	1.432			

DATOS	PESO UNITARIO COMPACTADO			DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
ENSAYO	T1	T2	T3	
Peso molde (gr.)	7973	7973	7973	AG
Peso material + molde (gr.)	12784	12793	12803	
Peso neto del material (gr.)	4811	4820	4830	
Volumen del molde (cm3)	3128	3128	3128	
Peso unitario suelto (gr/cm3)	1.538	1.541	1.544	
PROMEDIO DE PESO UNITARIO (kg/m3)	1.541			

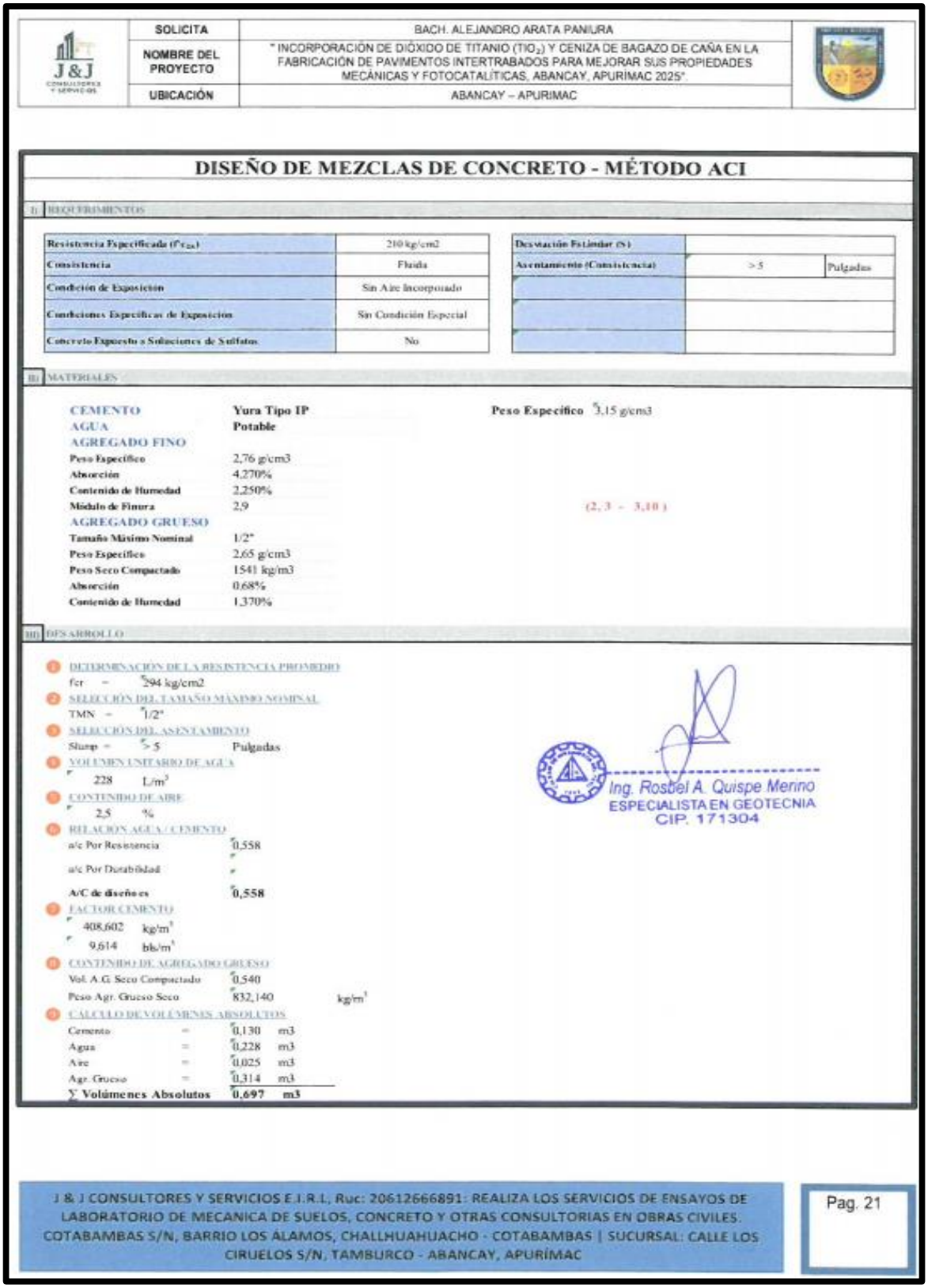
Ing. Rosbel A. Quispe Merino
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA
CIP. 171364

J & J CONSULTORES Y SERVICIOS E.I.R.L, Ruc: 20612666891: REALIZA LOS SERVICIOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y OTRAS CONSULTORIAS EN OBRAS CIVILES. COTABAMBAS S/N, BARRIO LOS ÁLAMOS, CHALLHUAHUACHO - COTABAMBAS | SUCURSAL: CALLE LOS CIRUELOS S/N, TAMBURCO - ABANCAY, APURÍMAC

Pag. 20

Figura 26 — Resultado peso unitario agregado grueso

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



SOLICITA	BACH. ALEJANDRO ARATA PANIURA
NOMBRE DEL PROYECTO	" INCORPORACIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO (TiO_2) Y CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA EN LA FABRICACIÓN DE PAVIMENTOS INTERTRABADOS PARA MEJORAR SUS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FOTOCATALÍTICAS, ABANCAY, APURÍMAC 2025".
UBICACIÓN	ABANCAY – APURIMAC

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO - MÉTODO ACI

I) REQUERIMIENTOS

Resistencia Especificada (f'_{cm})	210 kg/cm2	Desviación Estándar (S)		
Consistencia	Fluida	Asentamiento (Consistencia)	> 5	Pulgadas
Condición de Exposición	Sin Aire Incorporado			
Condiciones Especificas de Exposición	Sin Condición Especial			
Concreto Expuesto a Soluciones de Sulfatos	No			

II) MATERIALES

CEMENTO	Yura Tipo IP	Peso Especifico	3.15 g/cm3
AGUA	Potable		
AGREGADO FINO			
Peso Especifico	2,76 g/cm3		
Absorción	4.270%		
Contenido de Humedad	2.250%		
Módulo de Finura	2,9		(2, 3 - 3,10)
AGREGADO GRUESO			
Tamaño Máximo Nominal	1/2"		
Peso Especifico	2,65 g/cm3		
Peso Seco Compactado	1541 kg/m3		
Absorción	0.68%		
Contenido de Humedad	1.370%		

III) DESARROLLO

1. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO
   f'cr = 294 kg/cm2
2. SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL
   TMN = 1/2"
3. SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO
   Slump = > 5 Pulgadas
4. VOLUMEN UNITARIO DE AGUA
   228 L/m3
5. CONTENIDO DE AIRE
   2,5 %
6. RELACIÓN AGUA / CEMENTO

a/c Por Resistencia	0,558
a/c Por Durabilidad	
A/C de diseño es	**0,558**

7. FACTOR CEMENTO
   408,602 kg/m3
   9,614 bls/m3
8. CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO
   Vol. A.G. Seco Compactado 0,540
   Peso Agr. Grueso Seco 832,140 kg/m3
9. CÁLCULO DE VOLÚMENES ABSOLUTOS

Cemento	=	0,130	m3
Agua	=	0,228	m3
Aire	=	0,025	m3
Agr. Grueso	=	0,314	m3
Σ Volúmenes Absolutos		**0,697**	**m3**

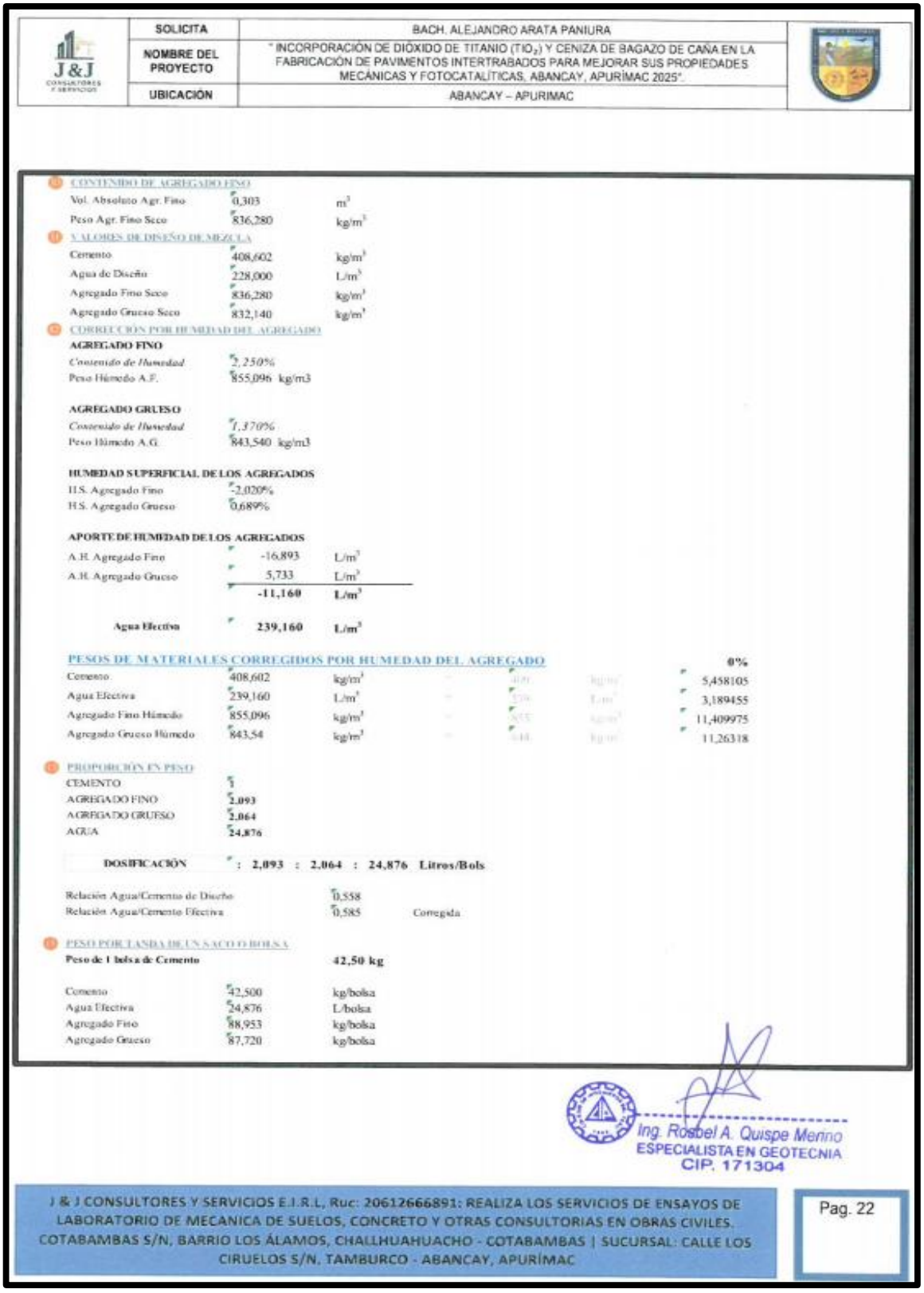
Ing. Rosbiel A. Quispe Merino
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA
CIP. 171304

J & J CONSULTORES Y SERVICIOS E.I.R.L, Ruc: 20612666891: REALIZA LOS SERVICIOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y OTRAS CONSULTORIAS EN OBRAS CIVILES. COTABAMBAS S/N, BARRIO LOS ÁLAMOS, CHALLHUAHUACHO - COTABAMBAS | SUCURSAL: CALLE LOS CIRUELOS S/N, TAMBURCO - ABANCAY, APURÍMAC

Pag. 21

Figura 27 — Resultado diseño de mezcla parte 1

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



SOLICITA	BACH. ALEJANDRO ARATA PANIURA
NOMBRE DEL PROYECTO	" INCORPORACIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO (TiO_2) Y CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA EN LA FABRICACIÓN DE PAVIMENTOS INTERTRABADOS PARA MEJORAR SUS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FOTOCATALÍTICAS, ABANCAY, APURÍMAC 2025".
UBICACIÓN	ABANCAY – APURIMAC

CONTENIDO DE AGREGADO FINO

Vol. Absoluto Agr. Fino	0,303	m^3
Peso Agr. Fino Seco	836,280	kg/m^3

VALORES DE DISEÑO DE MEZCLA

Cemento	408,602	kg/m^3
Agua de Diseño	228,000	L/m^3
Agregado Fino Seco	836,280	kg/m^3
Agregado Grueso Seco	832,140	kg/m^3

CORRECCIÓN POR HUMEDAD DEL AGREGADO

AGREGADO FINO

Contenido de Humedad	*2,250%*
Peso Húmedo A.F.	855,096 kg/m3

AGREGADO GRUESO

Contenido de Humedad	*1,370%*
Peso Húmedo A.G.	843,540 kg/m3

HUMEDAD SUPERFICIAL DE LOS AGREGADOS

H.S. Agregado Fino	-2,020%
H.S. Agregado Grueso	0,689%

APORTE DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

A.H. Agregado Fino	-16,893	L/m^3
A.H. Agregado Grueso	5,733	L/m^3
	-11,160	**L/m^3**
Agua Efectiva	**239,160**	**L/m^3**

PESOS DE MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD DEL AGREGADO — **0%**

Cemento	408,602	kg/m³			5,458105
Agua Efectiva	239,160	L/m³			3,189455
Agregado Fino Húmedo	855,096	kg/m³			11,409975
Agregado Grueso Húmedo	843,54	kg/m³			11,26318

PROPORCIÓN EN PESO

CEMENTO	1
AGREGADO FINO	2,093
AGREGADO GRUESO	2,064
AGUA	24,876

DOSIFICACIÓN : **2,093 : 2,064 : 24,876 Litros/Bols**

Relación Agua/Cemento de Diseño	0,558	
Relación Agua/Cemento Efectiva	0,585	Corregida

PESO POR TANDA DE UN SACO O BOLSA

Peso de 1 bolsa de Cemento	**42,50 kg**	
Cemento	42,500	kg/bolsa
Agua Efectiva	24,876	L/bolsa
Agregado Fino	88,953	kg/bolsa
Agregado Grueso	87,720	kg/bolsa

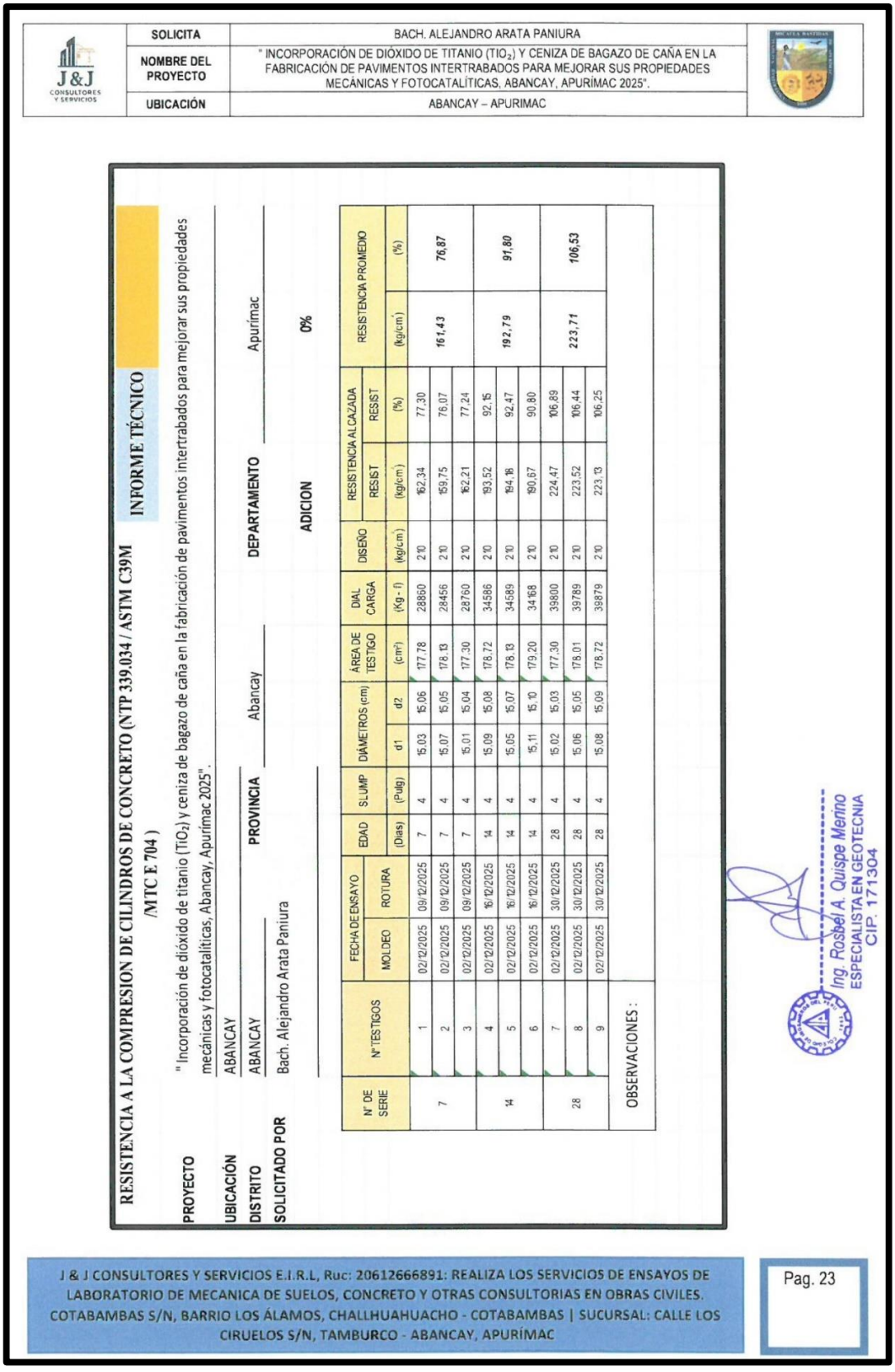
Ing. Rosbel A. Quispe Merino
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA
CIP. 171304

J & J CONSULTORES Y SERVICIOS E.I.R.L, Ruc: 20612666891: REALIZA LOS SERVICIOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y OTRAS CONSULTORIAS EN OBRAS CIVILES. COTABAMBAS S/N, BARRIO LOS ÁLAMOS, CHALLHUAHUACHO - COTABAMBAS | SUCURSAL: CALLE LOS CIRUELOS S/N, TAMBURCO - ABANCAY, APURÍMAC

Pag. 22

Figura 28 — Resultado diseño de mezcla parte 2

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



SOLICITA	BACH. ALEJANDRO ARATA PANIURA
NOMBRE DEL PROYECTO	" INCORPORACIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO (TiO_2) Y CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA EN LA FABRICACIÓN DE PAVIMENTOS INTERTRABADOS PARA MEJORAR SUS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FOTOCATALÍTICAS, ABANCAY, APURÍMAC 2025".
UBICACIÓN	ABANCAY – APURIMAC

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO (NTP 339.034 / ASTM C39M /MTC E 704) — **INFORME TÉCNICO**

PROYECTO " Incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña en la fabricación de pavimentos intertrabados para mejorar sus propiedades mecánicas y fotocatalíticas, Abancay, Apurímac 2025".

UBICACIÓN ABANCAY — **PROVINCIA** Abancay — **DEPARTAMENTO** Apurímac

DISTRITO ABANCAY

SOLICITADO POR Bach. Alejandro Arata Paniura

ADICION 0%

N° DE SERIE	N°TESTIGOS	FECHA DE ENSAYO		EDAD	SLUMP	DIÁMETROS (cm)		ÁREA DE TESTIGO	DIAL CARGA	DISEÑO	RESISTENCIA ALCAZADA		RESISTENCIA PROMEDIO	
		MOLDEO	ROTURA	(Días)	(Pulg)	d1	d2	(cm²)	(Kg - f)	(kg/cm²)	RESIST (kg/cm²)	RESIST (%)	(kg/cm²)	(%)
7	1	02/12/2025	09/12/2025	7	4	15.03	15.06	177.78	28860	210	162.34	77.30	161.43	76,87
	2	02/12/2025	09/12/2025	7	4	15.07	15.05	178.13	28456	210	159.75	76.07		
	3	02/12/2025	09/12/2025	7	4	15.01	15.04	177.30	28760	210	162.21	77.24		
14	4	02/12/2025	16/12/2025	14	4	15.09	15.08	178.72	34586	210	193.52	92.15	192.79	91,80
	5	02/12/2025	16/12/2025	14	4	15.05	15.07	178.13	34589	210	194.16	92.47		
	6	02/12/2025	16/12/2025	14	4	15.11	15.10	179.20	34168	210	190.67	90.80		
28	7	02/12/2025	30/12/2025	28	4	15.02	15.03	177.30	39800	210	224.47	106.89	223.71	106,53
	8	02/12/2025	30/12/2025	28	4	15.06	15.05	178.01	39789	210	223.52	106.44		
	9	02/12/2025	30/12/2025	28	4	15.08	15.09	178.72	39879	210	223.13	106.25		

OBSERVACIONES :

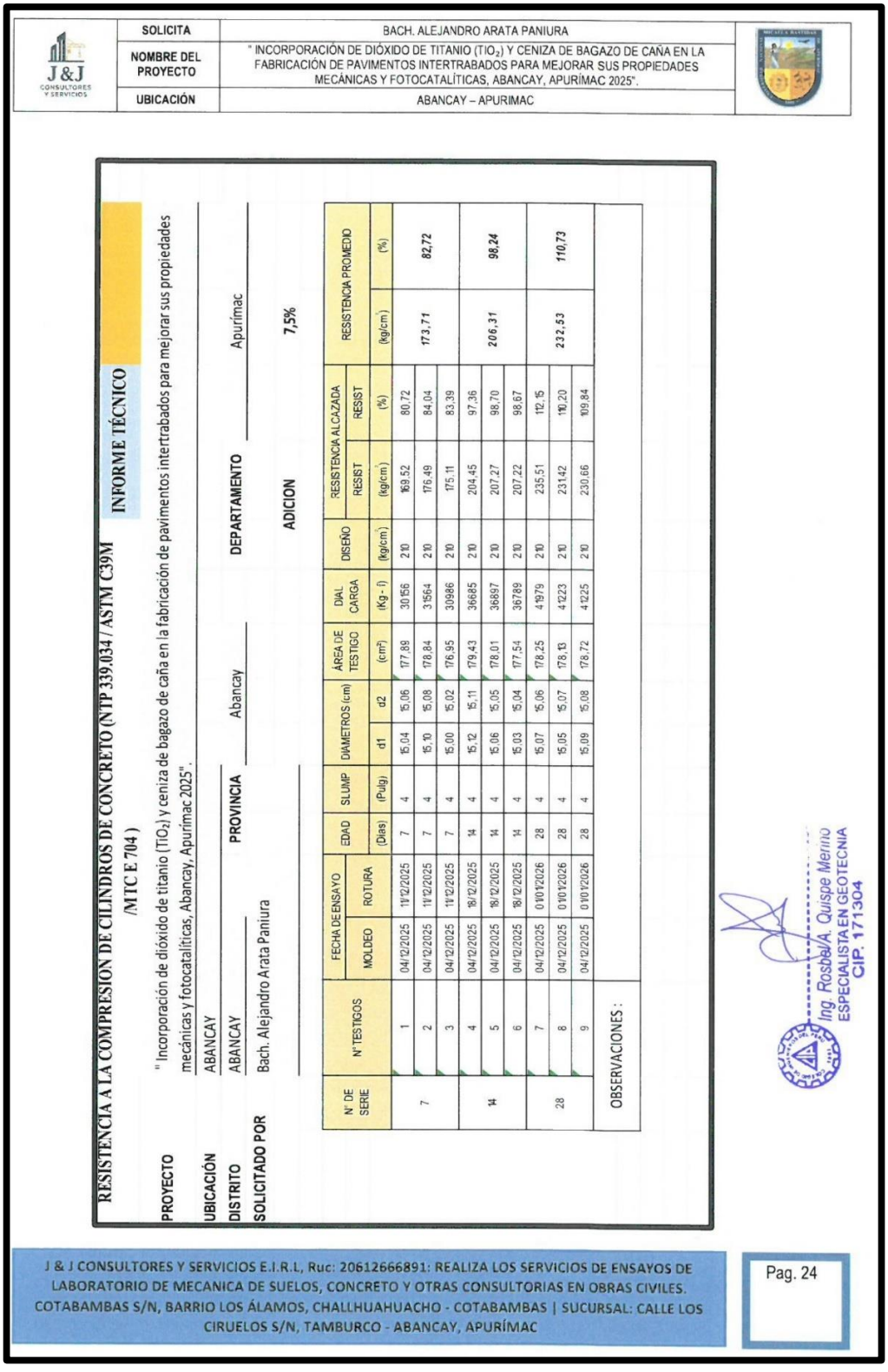
Ing. Rosbel A. Quispe Merino
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA
CIP. 171304

J & J CONSULTORES Y SERVICIOS E.I.R.L, Ruc: 20612666891: REALIZA LOS SERVICIOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y OTRAS CONSULTORIAS EN OBRAS CIVILES. COTABAMBAS S/N, BARRIO LOS ÁLAMOS, CHALLHUAHUACHO - COTABAMBAS | SUCURSAL: CALLE LOS CIRUELOS S/N, TAMBURCO - ABANCAY, APURÍMAC

Pag. 23

Figura 29 — Resultado resistencia a la compresión de la mezcla del grupo control

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



SOLICITA	BACH. ALEJANDRO ARATA PANIURA
NOMBRE DEL PROYECTO	" INCORPORACIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO (TiO_2) Y CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA EN LA FABRICACIÓN DE PAVIMENTOS INTERTRABADOS PARA MEJORAR SUS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FOTOCATALÍTICAS, ABANCAY, APURÍMAC 2025".
UBICACIÓN	ABANCAY – APURIMAC

J&J CONSULTORES Y SERVICIOS

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO (NTP 339.034 / ASTM C39M /MTC E 704) — **INFORME TÉCNICO**

PROYECTO " Incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña en la fabricación de pavimentos intertrabados para mejorar sus propiedades mecánicas y fotocatalíticas, Abancay, Apurímac 2025".

UBICACIÓN ABANCAY **PROVINCIA** Abancay **DEPARTAMENTO** Apurímac

DISTRITO ABANCAY

SOLICITADO POR Bach. Alejandro Arata Paniura

ADICION 7,5%

N° DE SERIE	N°TESTIGOS	FECHA DE ENSAYO		EDAD	SLUMP	DIAMETROS (cm)		ÁREA DE TESTIGO	DIAL CARGA	DISEÑO	RESISTENCIA ALCAZADA		RESISTENCIA PROMEDIO	
		MOLDEO	ROTURA	(Dias)	(Pulg)	d1	d2	(cm^2)	(Kg - f)	(kg/cm²)	RESIST (kg/cm²)	RESIST (%)	(kg/cm²)	(%)
7	1	04/12/2025	11/12/2025	7	4	15,04	15,06	177,89	30156	210	169,52	80,72	173,71	82,72
	2	04/12/2025	11/12/2025	7	4	15,10	15,08	178,84	31564	210	176,49	84,04		
	3	04/12/2025	11/12/2025	7	4	15,00	15,02	176,95	30986	210	175,11	83,39		
14	4	04/12/2025	18/12/2025	14	4	15,12	15,11	179,43	36685	210	204,45	97,36	206,31	98,24
	5	04/12/2025	18/12/2025	14	4	15,06	15,05	178,01	36897	210	207,27	98,70		
	6	04/12/2025	18/12/2025	14	4	15,03	15,04	177,54	36789	210	207,22	98,67		
28	7	04/12/2025	01/01/2026	28	4	15,07	15,06	178,25	41979	210	235,51	112,15	232,53	110,73
	8	04/12/2025	01/01/2026	28	4	15,05	15,07	178,13	41223	210	231,42	110,20		
	9	04/12/2025	01/01/2026	28	4	15,09	15,08	178,72	41225	210	230,66	109,84		

OBSERVACIONES :

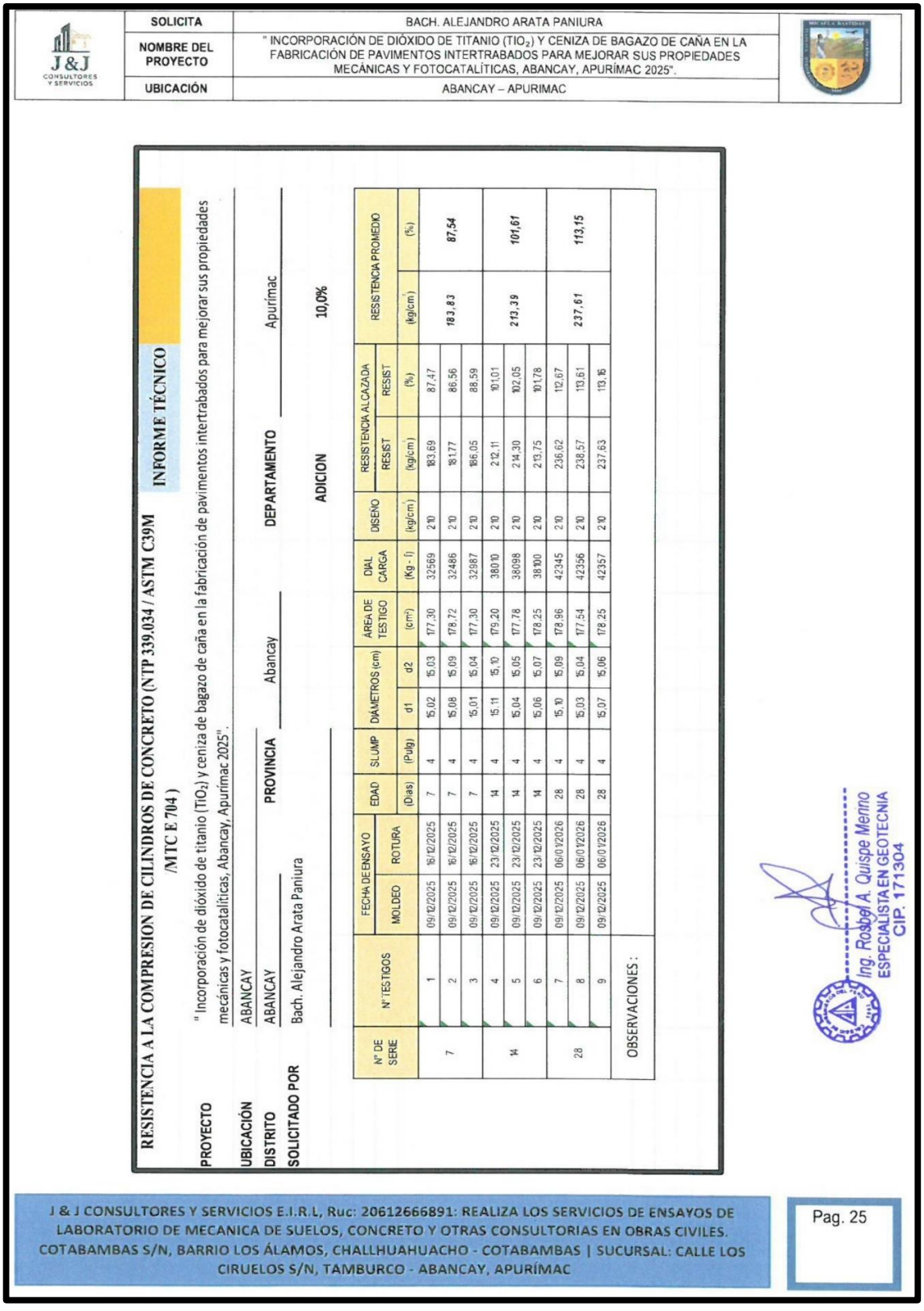
Ing. Rosbel A. Quispe Merino
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA
CIP. 171304

J & J CONSULTORES Y SERVICIOS E.I.R.L, Ruc: 20612666891: REALIZA LOS SERVICIOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y OTRAS CONSULTORIAS EN OBRAS CIVILES. COTABAMBAS S/N, BARRIO LOS ÁLAMOS, CHALLHUAHUACHO - COTABAMBAS | SUCURSAL: CALLE LOS CIRUELOS S/N, TAMBURCO - ABANCAY, APURÍMAC

Pag. 24

Figura 30 — Resultado resistencia a la compresión con una incorporación de 7.5 %

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



SOLICITA	BACH. ALEJANDRO ARATA PANIURA
NOMBRE DEL PROYECTO	" INCORPORACIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO (TiO_2) Y CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA EN LA FABRICACIÓN DE PAVIMENTOS INTERTRABADOS PARA MEJORAR SUS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FOTOCATALÍTICAS, ABANCAY, APURÍMAC 2025".
UBICACIÓN	ABANCAY – APURIMAC

J&J CONSULTORES Y SERVICIOS

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO (NTP 339.034 / ASTM C39M /MTC E 704) — **INFORME TÉCNICO**

PROYECTO " Incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña en la fabricación de pavimentos intertrabados para mejorar sus propiedades mecánicas y fotocatalíticas, Abancay, Apurímac 2025".

UBICACIÓN ABANCAY

DISTRITO ABANCAY **PROVINCIA** Abancay **DEPARTAMENTO** Apurímac

SOLICITADO POR Bach. Alejandro Arata Paniura

ADICION **10,0%**

Nº DE SERIE	Nº TESTIGOS	FECHA DE ENSAYO		EDAD	SLUMP	DIAMETROS (cm)		ÁREA DE TESTIGO	DIAL CARGA	DISEÑO	RESISTENCIA ALCAZADA		RESISTENCIA PROMEDIO	
		MOLDEO	ROTURA	(Días)	(Pulg)	d1	d2	(cm^2)	(Kg - f)	(kg/cm)	RESIST (kg/cm)	RESIST (%)	(kg/cm)	(%)
7	1	09/12/2025	16/12/2025	7	4	15.02	15.03	177.30	32569	210	183.69	87.47	183.83	87.54
	2	09/12/2025	16/12/2025	7	4	15.08	15.09	178.72	32486	210	181.77	86.56		
	3	09/12/2025	16/12/2025	7	4	15.01	15.04	177.30	32987	210	186.05	88.59		
14	4	09/12/2025	23/12/2025	14	4	15.11	15.10	179.20	38010	210	212.11	101.01	213.39	101.61
	5	09/12/2025	23/12/2025	14	4	15.04	15.05	177.78	38098	210	214.30	102.05		
	6	09/12/2025	23/12/2025	14	4	15.06	15.07	178.25	38100	210	213.75	101.78		
28	7	09/12/2025	06/01/2026	28	4	15.10	15.09	178.96	42345	210	236.62	112.67	237.61	113.15
	8	09/12/2025	06/01/2026	28	4	15.03	15.04	177.54	42356	210	238.57	113.61		
	9	09/12/2025	06/01/2026	28	4	15.07	15.06	178.25	42357	210	237.63	113.16		

OBSERVACIONES :

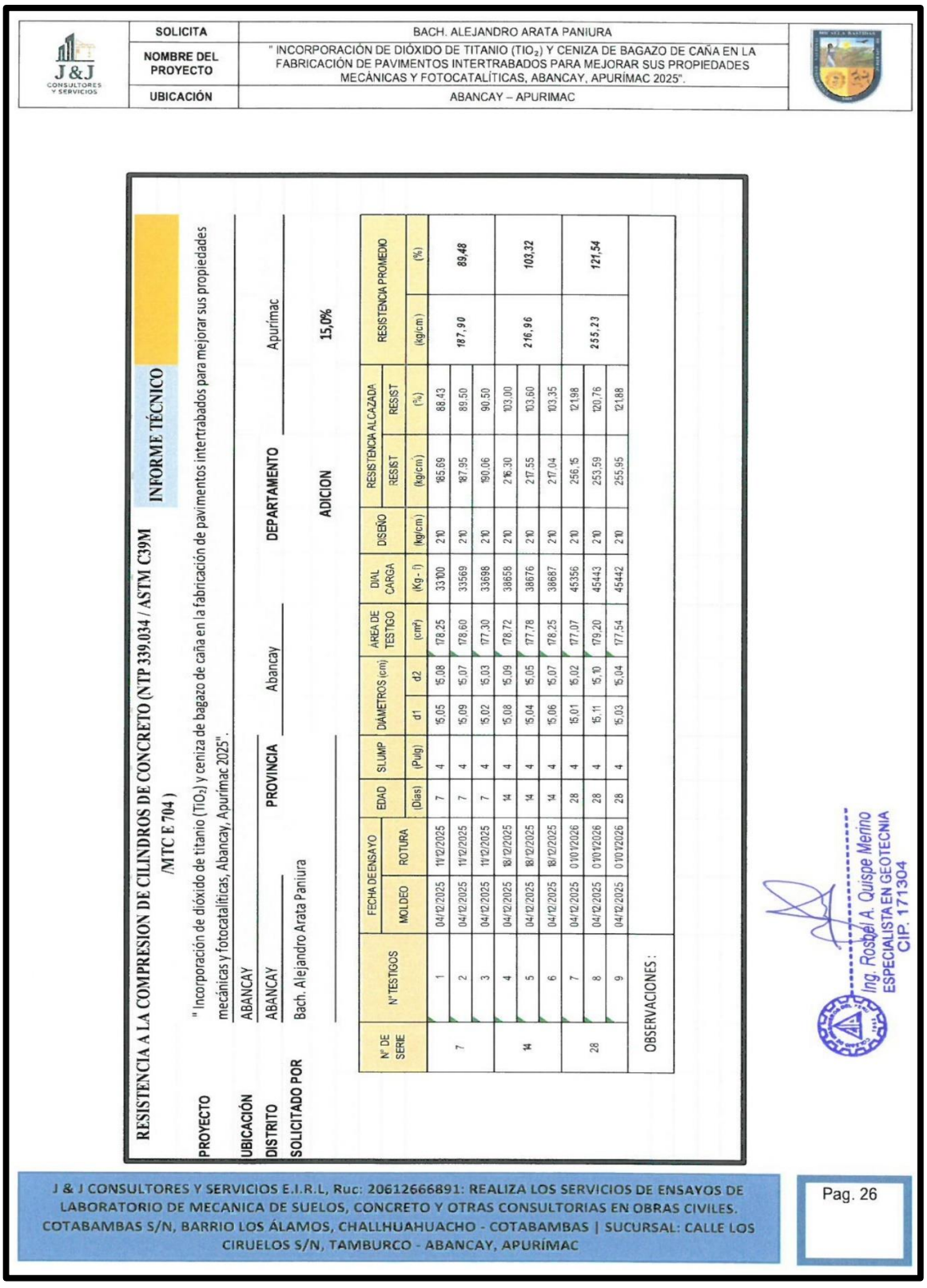
Ing. Rosbel A. Quispe Menno
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA
CIP. 171304

J & J CONSULTORES Y SERVICIOS E.I.R.L, Ruc: 20612666891: REALIZA LOS SERVICIOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y OTRAS CONSULTORIAS EN OBRAS CIVILES. COTABAMBAS S/N, BARRIO LOS ÁLAMOS, CHALLHUAHUACHO - COTABAMBAS | SUCURSAL: CALLE LOS CIRUELOS S/N, TAMBURCO - ABANCAY, APURÍMAC

Pag. 25

Figura 31 — Resultado resistencia a la compresión con una incorporación del 10 %

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



SOLICITA	BACH. ALEJANDRO ARATA PANIURA
NOMBRE DEL PROYECTO	" INCORPORACIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO (TiO_2) Y CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA EN LA FABRICACIÓN DE PAVIMENTOS INTERTRABADOS PARA MEJORAR SUS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FOTOCATALÍTICAS, ABANCAY, APURÍMAC 2025".
UBICACIÓN	ABANCAY – APURIMAC

J&J CONSULTORES Y SERVICIOS

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO (NTP 339.034 / ASTM C39M /MTC E 704) — **INFORME TÉCNICO**

PROYECTO " Incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña en la fabricación de pavimentos intertrabados para mejorar sus propiedades mecánicas y fotocatalíticas, Abancay, Apurímac 2025".

UBICACIÓN ABANCAY — **PROVINCIA** Abancay — **DEPARTAMENTO** Apurímac

DISTRITO ABANCAY

SOLICITADO POR Bach. Alejandro Arata Paniura

ADICION 15,0%

N° DE SERIE	N° TESTIGOS	FECHA DE ENSAYO MOLDEO	FECHA DE ENSAYO ROTURA	EDAD (Dias)	SLUMP (Pulg)	DIAMETROS (cm) d1	DIAMETROS (cm) d2	AREA DE TESTIGO (cm²)	DIAL CARGA (Kg - f)	DISEÑO (kg/cm)	RESISTENCIA ALCAZADA RESIST (kg/cm)	RESISTENCIA ALCAZADA RESIST (%)	RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm)	RESISTENCIA PROMEDIO (%)
7	1	04/12/2025	11/12/2025	7	4	15,05	15,08	178,25	33100	210	185,69	88,43	187,90	89,48
	2	04/12/2025	11/12/2025	7	4	15,09	15,07	178,60	33569	210	187,95	89,50		
	3	04/12/2025	11/12/2025	7	4	15,02	15,03	177,30	33698	210	190,06	90,50		
14	4	04/12/2025	18/12/2025	14	4	15,08	15,09	178,72	38658	210	216,30	103,00	216,96	103,32
	5	04/12/2025	18/12/2025	14	4	15,04	15,05	177,78	38676	210	217,55	103,60		
	6	04/12/2025	18/12/2025	14	4	15,06	15,07	178,25	38687	210	217,04	103,35		
28	7	04/12/2025	01/01/2026	28	4	15,01	15,02	177,07	45356	210	256,15	121,98	255,23	121,54
	8	04/12/2025	01/01/2026	28	4	15,11	15,10	179,20	45443	210	253,59	120,76		
	9	04/12/2025	01/01/2026	28	4	15,03	15,04	177,54	45442	210	255,95	121,88		

OBSERVACIONES :

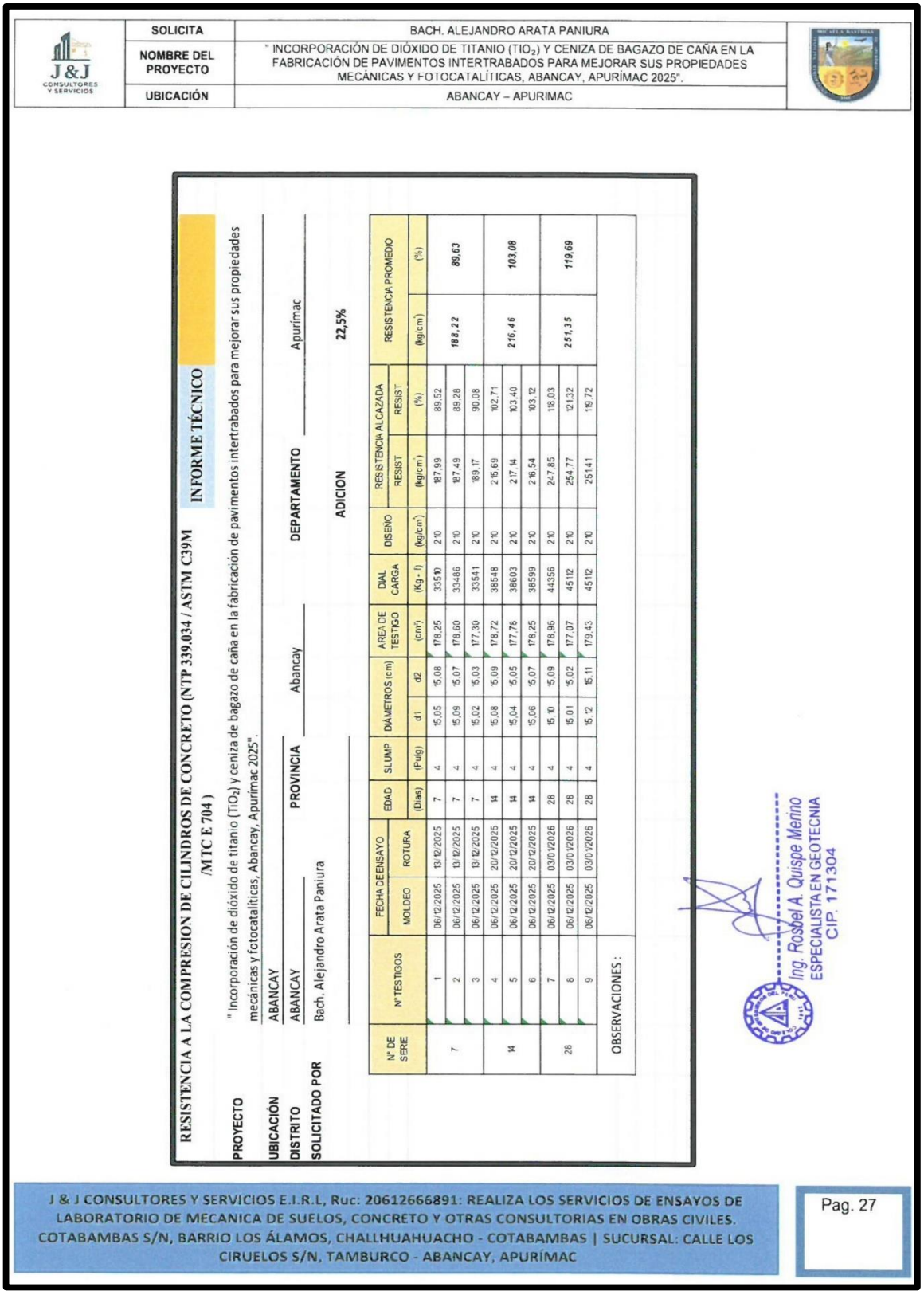
Ing. Rosbel A. Quispe Merino
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA
CIP. 171304

J & J CONSULTORES Y SERVICIOS E.I.R.L, Ruc: 20612666891: REALIZA LOS SERVICIOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y OTRAS CONSULTORIAS EN OBRAS CIVILES. COTABAMBAS S/N, BARRIO LOS ÁLAMOS, CHALLHUAHUACHO - COTABAMBAS | SUCURSAL: CALLE LOS CIRUELOS S/N, TAMBURCO - ABANCAY, APURÍMAC

Pag. 26

Figura 32 — Resultado resistencia a la compresión con una incorporación del 15 %

MICAELA BASTIDAS
Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



SOLICITA	BACH. ALEJANDRO ARATA PANIURA
NOMBRE DEL PROYECTO	" INCORPORACIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO (TiO_2) Y CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA EN LA FABRICACIÓN DE PAVIMENTOS INTERTRABADOS PARA MEJORAR SUS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FOTOCATALÍTICAS, ABANCAY, APURÍMAC 2025".
UBICACIÓN	ABANCAY – APURIMAC

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO (NTP 339.034 / ASTM C39M /MTC E 704) — **INFORME TÉCNICO**

PROYECTO " Incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña en la fabricación de pavimentos intertrabados para mejorar sus propiedades mecánicas y fotocatalíticas, Abancay, Apurímac 2025".

UBICACIÓN ABANCAY — **PROVINCIA** Abancay — **DEPARTAMENTO** Apurímac

DISTRITO ABANCAY

SOLICITADO POR Bach. Alejandro Arata Paniura — **ADICION** 22,5%

N° DE SERIE	N° TESTIGOS	FECHA DE ENSAYO		EDAD	SLUMP	DIÁMETROS (cm)		AREA DE TESTIGO	DIAL CARGA	DISEÑO	RESISTENCIA ALCAZADA		RESISTENCIA PROMEDIO	
		MOLDEO	ROTURA	(Días)	(Pulg)	d1	d2	(cm²)	(Kg - f)	(kg/cm²)	RESIST (kg/cm²)	RESIST (%)	(kg/cm²)	(%)
7	1	06/12/2025	13/12/2025	7	4	15,05	15,08	178,25	33510	210	187,99	89,52	188,22	89,63
	2	06/12/2025	13/12/2025	7	4	15,09	15,07	178,60	33486	210	187,49	89,28		
	3	06/12/2025	13/12/2025	7	4	15,02	15,03	177,30	33541	210	189,17	90,08		
14	4	06/12/2025	20/12/2025	14	4	15,08	15,09	178,72	38548	210	215,69	102,71	216,46	103,08
	5	06/12/2025	20/12/2025	14	4	15,04	15,05	177,78	38603	210	217,14	103,40		
	6	06/12/2025	20/12/2025	14	4	15,06	15,07	178,25	38599	210	216,54	103,12		
28	7	06/12/2025	03/01/2026	28	4	15,10	15,09	178,96	44356	210	247,85	118,03	251,35	119,69
	8	06/12/2025	03/01/2026	28	4	15,01	15,02	177,07	45112	210	254,77	121,32		
	9	06/12/2025	03/01/2026	28	4	15,12	15,11	179,43	45112	210	251,41	119,72		

OBSERVACIONES :

Ing. Rosbel A. Quispe Merino
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA
CIP. 171304

Figura 33 — Resultado resistencia a la compresión con una incorporación del 22.5 %

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

J&J CONSULTORES Y SERVICIOS	**SOLICITA**	BACH. ALEJANDRO ARATA PANIURA
	NOMBRE DEL PROYECTO	" INCORPORACIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO (TiO_2) Y CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA EN LA FABRICACIÓN DE PAVIMENTOS INTERTRABADOS PARA MEJORAR SUS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FOTOCATALÍTICAS, ABANCAY, APURÍMAC 2025".
	UBICACIÓN	ABANCAY – APURIMAC

RESULTADOS DEL ENSAYO FOTOCATALITICO MEDIANTE LA DEGRADACION DE LA RODAMINA B

I. DATOS GENERALES

Item	Registro
Fecha	20 de mayo del 2026
Laboratorio	J & J CONSULTORES Y SERVICIOS
Responsable del ensayo	Ing. Rosbel A. Quispe Merino
Fuente de radiación	Radiacion solar

I. IDENTIFICACION DE LA MUESTRA

Código	Mezcla	TiO_2 (%)	Ceniza de bagazo (%)	Total
Base	Patrón	0%	0%	0%
GE - 1	Grupo experimental 1	5%	2. 5 %	7.50%
GE - 2	Grupo experimental 2	5%	5%	10%
GE - 3	Grupo experimental 3	7.50%	7.50%	15%
GE - 4	Grupo experimental 4	15%	7.50%	22.50%

III. REGISTRO DEL ENSAYO

Porcentaje de degradacion de la Rodamina B

Mezcla	Espécimen	60 min (%)	120 min (%)	180 min (%)	240 min (%)	OBSERVACIÓN
Patrón	B-1	6.12	9.54	12.40	15.40	Ninguna
Patrón	B-2	6.28	9.87	13.17	16.33	Ninguna
Patrón	B-3	5.81	9.06	11.81	14.68	Ninguna
GE - 1	GE1-1	10.29	16.65	25.19	33.70	Ninguna
GE - 1	GE1-2	10.95	17.76	26.82	35.80	Ninguna
GE - 1	GE1-3	9.78	15.81	23.86	31.96	Ninguna
GE - 2	GE2-1	36.10	53.20	74.60	93.52	Ninguna
GE - 2	GE2-2	37.62	55.48	77.85	93.61	Ninguna
GE - 2	GE2-3	34.19	50.47	70.72	93.67	Ninguna
GE - 3	GE3-1	25.42	40.12	52.92	63.55	Ninguna
GE - 3	GE3-2	26.48	42.35	55.88	67.02	Ninguna
GE - 3	GE3-3	24.00	38.22	50.35	60.53	Ninguna
GE - 4	GE4-1	18.95	33.70	46.52	57.12	Ninguna
GE - 4	GE4-2	19.73	35.69	49.10	60.32	Ninguna
GE - 4	GE4-3	17.96	32.07	44.27	54.46	Ninguna

IV. CALCULO

Porcentaje de degradacion Fotocatalítica:

$$\% \text{ Degradacion} = ((Io - It)/Io) * 100$$

Donde:
- Io = Saturación inicial de color
- It = Saturación final de color

V. OBSERVACIONES

Se verificó la exposición uniforme de la muestra a la radiación solar durante el ensayo.
No se evidenciaron fisuras, desprendimientos o alteraciones superficiales en el pavimento intertrabado durante la evaluación
No se presentaron incidencias que afectaran el desarrollo del ensayo.

VI. RESPONSABLES

Responsable	Firma
Ing. Rosbel A. Quispe Merino Especialista en Geotecnia	Ing. Rosbel A. Quispe Merino ESPECIALISTA EN GEOTECNIA CIP. 171304

Figura 34 — Resultado del ensayo de degradación de rodamina B

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

Anexo C

Certificado de validación de instrumentos

Tabla 33 — Resumen de valoración de instrumentos

Baremación de datos obtenidos					
Criterios		**Validación 1**	**Validación2**	**Validación 3**	**Validación 4**
Redacción		4	4	5	5
Claridad		4	5	5	4
Objetividad		5	4	4	4
Validez técnica		5	5	4	5
Suficiencia		4	5	5	4
Pertinencia		5	4	4	4
Precisión		5	4	5	5
Organización		5	5	5	4
Coherencia		4	4	4	4
Metodología		4	5	5	5
Factibilidad		5	5	5	4
Reproductibilidad		5	4	4	4
Coeficiente de confiabilidad Alfa de Cronbach					
Validez nula	Validez muy baja	Validez baja	Validez aceptable	Validez buena	Validez muy buena
0.00 - 0.49	0.50 - 0.59	0.60 - 0.69	0.70 - 0.79	0.80 - 0.89	0.90 - 1.00

- **Resultado Alcanzado:** El análisis de confiabilidad mediante el coeficiente Alfa de Cronbach arrojó un valor de 0.9, lo cual representa un nivel de validez muy buena. En consecuencia, el instrumento de investigación queda validado para su aplicación.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

Anexo D

Validación de juicio de expertos

FORMATO DE VALIDACION DE INSTRUMENTOS

1. **DATOS GENERALES**
   - 1.1. **Título de investigación:** Incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña en la fabricación de pavimentos intertrabados para mejorar sus propiedades mecánicas y fotocatalíticas, Abancay, Apurímac – 2025
   - 1.2. **Investigador:** Bach. Alejandro Arata Paniura
   - 1.3. **Universidad:** Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac
2. **DATOS DEL EXPERTO**
   - 2.1. **Nombres y apellidos:** Mtro. Edwin Meza Tintaya
   - 2.2. **Grado académico:** Magister
   - 2.3. **Institución laboral:** Residente de obra DRA. Apurímac
3. **VALIDACION DE INSTRUMENTOS**
   - **3.1. Nombre del instrumento**
     - Formato para el diseño de mezcla del concreto mediante el método ACI 211.1.
     - Formato para el ensayo de resistencia a la compresión de las briquetas de concreto
     - Formato para el ensayo fotocatalítico mediante la degradación de la "rodamina B"
   - **3.2. Aspectos de validación**

Marque con una X la valoración que considere pertinente para cada criterio según la siguiente escala

Marque con una (X) en el recuadro correspondiente a la validación del especialista eligiendo solo por una opción por cada criterio, según lo que considere apropiado sobre el cuestionario.

1. Deficiente 2. Regular 3. Buena 4. Muy buena 5. Excelente

Componentes	Indicadores	Valoración cuantitativa	Valoración				
			1	2	3	4	5
Forma	1. Redacción	El instrumento emplea terminología técnica propia de la ingeniería civil.				X	
	2. Caridad	Las instrucciones son claras para el registro de la información experimental.				X	
	3. Objetividad	La estructura facilita el registro ordenado de los resultados experimentales.					X
Contenido	4. Validez técnica	El instrumento evalúa correctamente las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de los pavimentos intertrabados.					X
	5. Suficiencia	Contiene todos los campos necesarios para el registro de los ensayos experimentales.				X	
	6. Pertinencia	Los indicadores corresponden a las variables y objetivos de la investigación.					X
Estructura	7. Precisión	Permite registrar con exactitud los resultados obtenidos durante los ensayos.					X
	8. Organización	Presenta una secuencia lógica de aplicación y registro.					X
	9. Coherencia	Existe correspondencia entre variables, dimensiones, indicadores e instrumentos.				X	
Aplicabilidad	10. Metodología	El instrumento es adecuado para el diseño experimental desarrollado.				X	
	11. Factibilidad	Puede aplicarse utilizando los equipos y procedimientos establecidos para la investigación.					X
	12. Reproductibilidad	Permite obtener resultados consistentes cuando es aplicado bajo las mismas condiciones experimentales					X
CONTEO TOTAL			A	B	C	D	E
						20	35

RESUMEN DE VALIDACIÓN

- **Coeficiente de validez** $\frac{A+B+C+D+E}{60} =$ 0.91
- **Calificación global:** _____

Intervalos	resultados
0.00 – 0.49	Validez nula
0.50 – 0.59	Validez muy baja
0.60 – 0.69	Validez baja
0.70 – 0.79	Validez aceptable
0.80 – 0.89	validez buena
0.90 – 1.00	Validez muy buena

4. **OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

Procede su Aplicación (X) Debe corregirse ( )

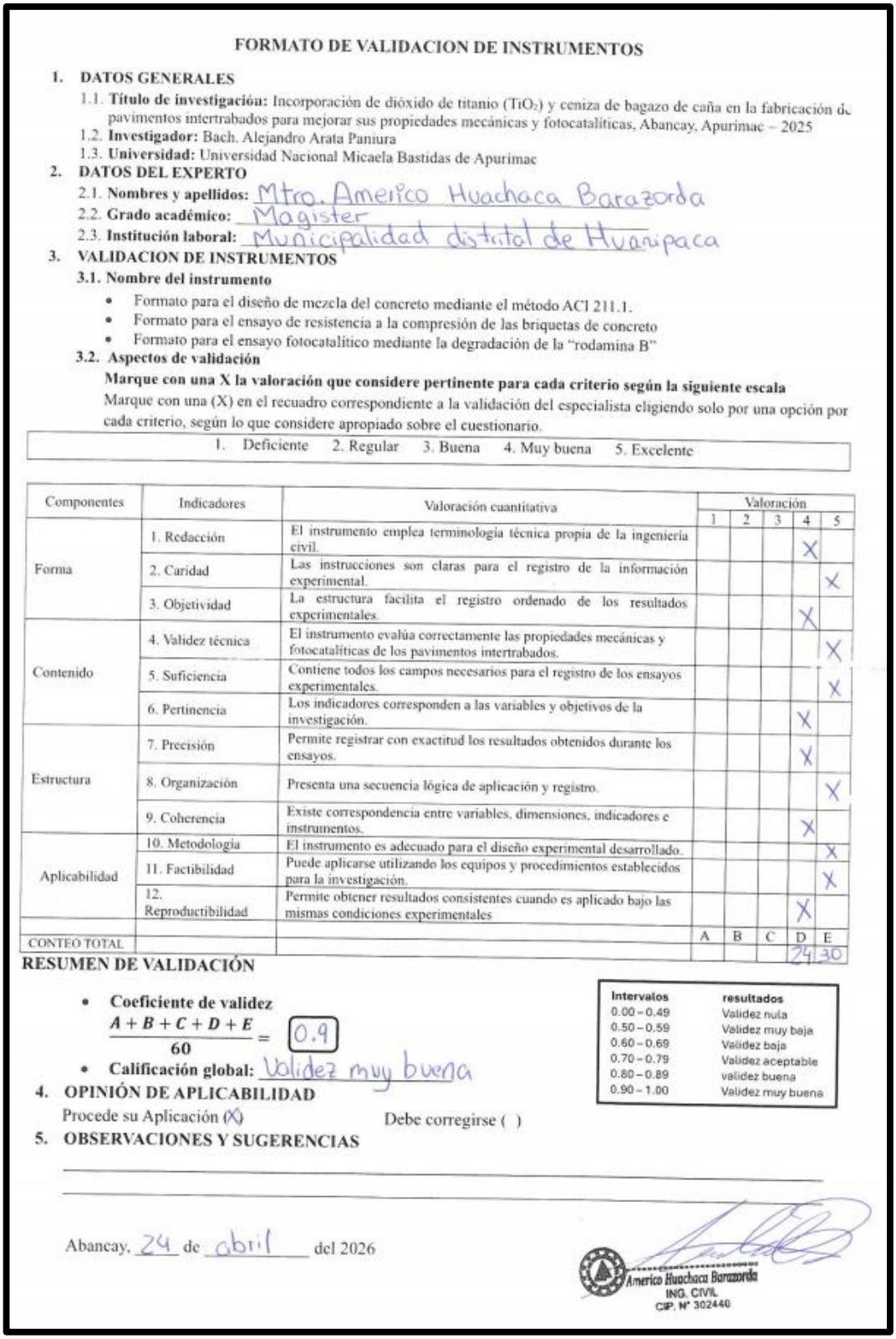
5. **OBSERVACIONES Y SUGERENCIAS**

Abancay, 24 de Abril del 2026

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
EDWIN MEZA TINTAYA
INGENIERO CIVIL
CIP: 171827

Figura 35 — Valoración del experto N° 1

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



FORMATO DE VALIDACION DE INSTRUMENTOS

1. **DATOS GENERALES**
   - 1.1. **Título de investigación:** Incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña en la fabricación de pavimentos intertrabados para mejorar sus propiedades mecánicas y fotocatalíticas, Abancay, Apurimac – 2025
   - 1.2. **Investigador:** Bach. Alejandro Arata Paniura
   - 1.3. **Universidad:** Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurimac
2. **DATOS DEL EXPERTO**
   - 2.1. **Nombres y apellidos:** Mtro. Americo Huachaca Barazorda
   - 2.2. **Grado académico:** Magister
   - 2.3. **Institución laboral:** Municipalidad distrital de Huanipaca
3. **VALIDACION DE INSTRUMENTOS**
   - **3.1. Nombre del instrumento**
     - Formato para el diseño de mezcla del concreto mediante el método ACI 211.1.
     - Formato para el ensayo de resistencia a la compresión de las briquetas de concreto
     - Formato para el ensayo fotocatalitico mediante la degradación de la "rodamina B"
   - **3.2. Aspectos de validación**

Marque con una X la valoración que considere pertinente para cada criterio según la siguiente escala

Marque con una (X) en el recuadro correspondiente a la validación del especialista eligiendo solo por una opción por cada criterio, según lo que considere apropiado sobre el cuestionario.

1. Deficiente 2. Regular 3. Buena 4. Muy buena 5. Excelente

Componentes	Indicadores	Valoración cuantitativa	Valoración				
			1	2	3	4	5
Forma	1. Redacción	El instrumento emplea terminología técnica propia de la ingeniería civil.				X	
	2. Caridad	Las instrucciones son claras para el registro de la información experimental.					X
	3. Objetividad	La estructura facilita el registro ordenado de los resultados experimentales.				X	
Contenido	4. Validez técnica	El instrumento evalúa correctamente las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de los pavimentos intertrabados.					X
	5. Suficiencia	Contiene todos los campos necesarios para el registro de los ensayos experimentales.					X
	6. Pertinencia	Los indicadores corresponden a las variables y objetivos de la investigación.				X	
Estructura	7. Precisión	Permite registrar con exactitud los resultados obtenidos durante los ensayos.				X	
	8. Organización	Presenta una secuencia lógica de aplicación y registro.					X
	9. Coherencia	Existe correspondencia entre variables, dimensiones, indicadores e instrumentos.				X	
Aplicabilidad	10. Metodología	El instrumento es adecuado para el diseño experimental desarrollado.					X
	11. Factibilidad	Puede aplicarse utilizando los equipos y procedimientos establecidos para la investigación.					X
	12. Reproductibilidad	Permite obtener resultados consistentes cuando es aplicado bajo las mismas condiciones experimentales				X	
			A	B	C	D	E
CONTEO TOTAL						24	30

RESUMEN DE VALIDACIÓN

- **Coeficiente de validez**

$$\frac{A+B+C+D+E}{60} = 0.9$$

- **Calificación global:** Validez muy buena

Intervalos	resultados
0.00 – 0.49	Validez nula
0.50 – 0.59	Validez muy baja
0.60 – 0.69	Validez baja
0.70 – 0.79	Validez aceptable
0.80 – 0.89	validez buena
0.90 – 1.00	Validez muy buena

4. **OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

Procede su Aplicación (X) Debe corregirse ( )

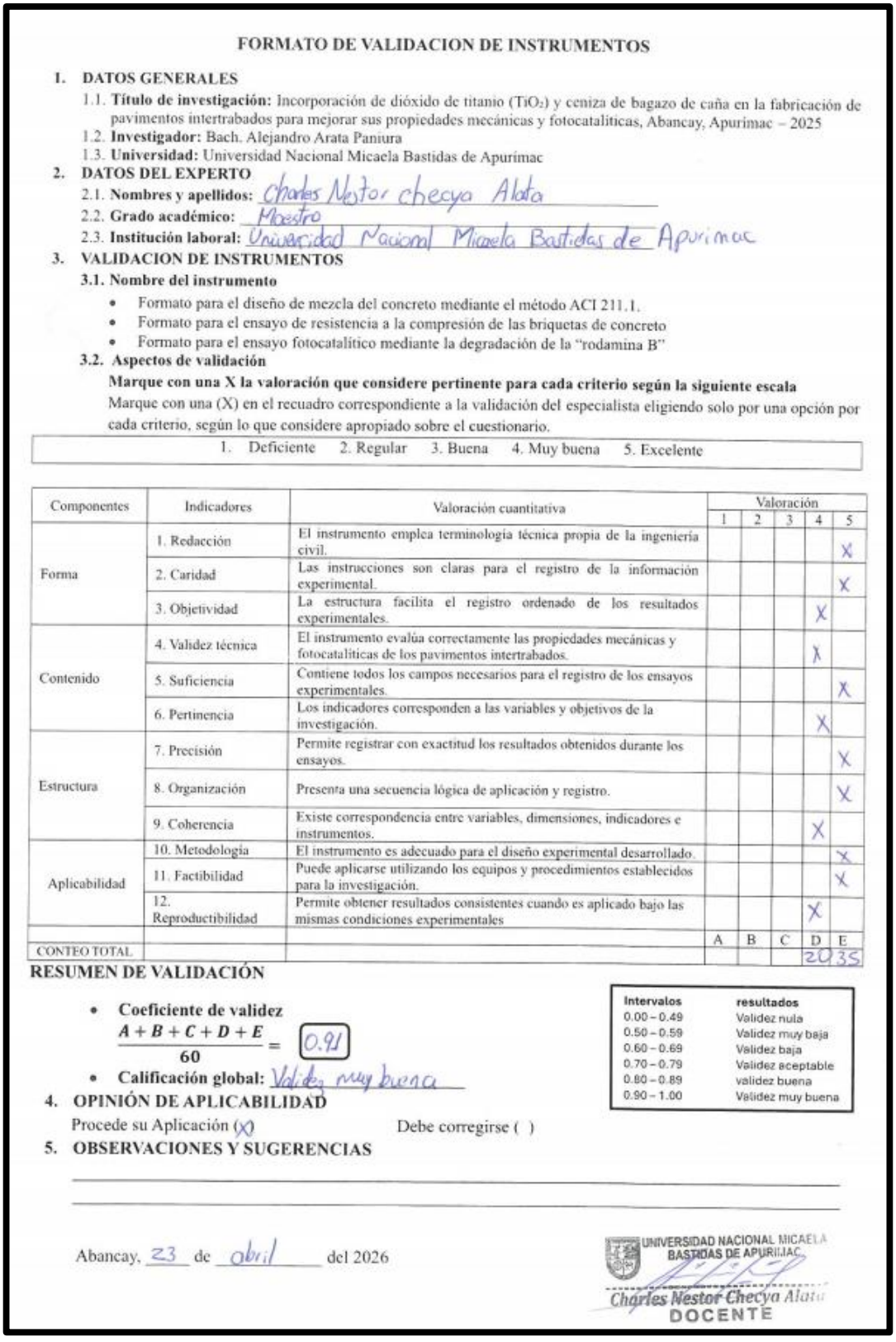
5. **OBSERVACIONES Y SUGERENCIAS**

Abancay, 24 de abril del 2026

Americo Huachaca Barazorda
ING. CIVIL
CIP. N° 302440

Figura 36 — Valoración del experto N° 2

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



FORMATO DE VALIDACION DE INSTRUMENTOS

1. **DATOS GENERALES**
   - 1.1. **Título de investigación:** Incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña en la fabricación de pavimentos intertrabados para mejorar sus propiedades mecánicas y fotocataliticas, Abancay, Apurimac – 2025
   - 1.2. **Investigador:** Bach. Alejandro Arata Paniura
   - 1.3. **Universidad:** Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurimac
2. **DATOS DEL EXPERTO**
   - 2.1. **Nombres y apellidos:** Charles Nestor Checya Alata
   - 2.2. **Grado académico:** Maestro
   - 2.3. **Institución laboral:** Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurimac
3. **VALIDACION DE INSTRUMENTOS**
   - 3.1. **Nombre del instrumento**
     - Formato para el diseño de mezcla del concreto mediante el método ACI 211.1.
     - Formato para el ensayo de resistencia a la compresión de las briquetas de concreto
     - Formato para el ensayo fotocatalítico mediante la degradación de la "rodamina B"
   - 3.2. **Aspectos de validación**

Marque con una X la valoración que considere pertinente para cada criterio según la siguiente escala

Marque con una (X) en el recuadro correspondiente a la validación del especialista eligiendo solo por una opción por cada criterio, según lo que considere apropiado sobre el cuestionario.

1. Deficiente 2. Regular 3. Buena 4. Muy buena 5. Excelente

Componentes	Indicadores	Valoración cuantitativa	Valoración				
			1	2	3	4	5
Forma	1. Redacción	El instrumento emplea terminología técnica propia de la ingeniería civil.					X
	2. Caridad	Las instrucciones son claras para el registro de la información experimental.					X
	3. Objetividad	La estructura facilita el registro ordenado de los resultados experimentales.				X	
Contenido	4. Validez técnica	El instrumento evalúa correctamente las propiedades mecánicas y fotocataliticas de los pavimentos intertrabados.				X	
	5. Suficiencia	Contiene todos los campos necesarios para el registro de los ensayos experimentales.					X
	6. Pertinencia	Los indicadores corresponden a las variables y objetivos de la investigación.				X	
Estructura	7. Precisión	Permite registrar con exactitud los resultados obtenidos durante los ensayos.					X
	8. Organización	Presenta una secuencia lógica de aplicación y registro.					X
	9. Coherencia	Existe correspondencia entre variables, dimensiones, indicadores e instrumentos.				X	
Aplicabilidad	10. Metodología	El instrumento es adecuado para el diseño experimental desarrollado.					X
	11. Factibilidad	Puede aplicarse utilizando los equipos y procedimientos establecidos para la investigación.					X
	12. Reproductibilidad	Permite obtener resultados consistentes cuando es aplicado bajo las mismas condiciones experimentales				X	
			A	B	C	D	E
CONTEO TOTAL						20	35

RESUMEN DE VALIDACIÓN

- **Coeficiente de validez**

$$\frac{A+B+C+D+E}{60} = 0.91$$

- **Calificación global:** Validez muy buena

Intervalos	resultados
0.00 – 0.49	Validez nula
0.50 – 0.59	Validez muy baja
0.60 – 0.69	Validez baja
0.70 – 0.79	Validez aceptable
0.80 – 0.89	validez buena
0.90 – 1.00	Validez muy buena

4. **OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

Procede su Aplicación (X) Debe corregirse ( )

5. **OBSERVACIONES Y SUGERENCIAS**

Abancay, 23 de abril del 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURIMAC
Charles Nestor Checya Alata
DOCENTE

Figura 37 — Valoración del experto N° 3

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

FORMATO DE VALIDACION DE INSTRUMENTOS

1. **DATOS GENERALES**
   - 1.1. **Título de investigación:** Incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña en la fabricación de pavimentos intertrabados para mejorar sus propiedades mecánicas y fotocatalíticas, Abancay, Apurímac – 2025
   - 1.2. **Investigador:** Bach. Alejandro Arata Paniura
   - 1.3. **Universidad:** Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac
2. **DATOS DEL EXPERTO**
   - 2.1. **Nombres y apellidos:** Edwar Ilasaca Cahuata
   - 2.2. **Grado académico:** Ing. Estadístico
   - 2.3. **Institución laboral:** Director Posgrado – UNAMBA
3. **VALIDACION DE INSTRUMENTOS**
   - 3.1. **Nombre del instrumento**
     - Formato para el diseño de mezcla del concreto mediante el método ACI 211.1.
     - Formato para el ensayo de resistencia a la compresión de las briquetas de concreto
     - Formato para el ensayo fotocatalítico mediante la degradación de la "rodamina B"
   - 3.2. **Aspectos de validación**

Marque con una X la valoración que considere pertinente para cada criterio según la siguiente escala

Marque con una (X) en el recuadro correspondiente a la validación del especialista eligiendo solo por una opción por cada criterio, según lo que considere apropiado sobre el cuestionario.

1. Deficiente 2. Regular 3. Buena 4. Muy buena 5. Excelente

Componentes	Indicadores	Valoración cuantitativa	Valoración				
			1	2	3	4	5
Forma	1. Redacción	El instrumento emplea terminología técnica propia de la ingeniería civil.					X
	2. Caridad	Las instrucciones son claras para el registro de la información experimental.				X	
	3. Objetividad	La estructura facilita el registro ordenado de los resultados experimentales.				X	
Contenido	4. Validez técnica	El instrumento evalúa correctamente las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de los pavimentos intertrabados.					X
	5. Suficiencia	Contiene todos los campos necesarios para el registro de los ensayos experimentales.				X	
	6. Pertinencia	Los indicadores corresponden a las variables y objetivos de la investigación.				X	
Estructura	7. Precisión	Permite registrar con exactitud los resultados obtenidos durante los ensayos.					X
	8. Organización	Presenta una secuencia lógica de aplicación y registro				X	
	9. Coherencia	Existe correspondencia entre variables, dimensiones, indicadores e instrumentos.				X	
Aplicabilidad	10. Metodología	El instrumento es adecuado para el diseño experimental desarrollado.					X
	11. Factibilidad	Puede aplicarse utilizando los equipos y procedimientos establecidos para la investigación.				X	
	12. Reproductibilidad	Permite obtener resultados consistentes cuando es aplicado bajo las mismas condiciones experimentales				X	
CONTEO TOTAL			A	B	C	D	E
						32	20

RESUMEN DE VALIDACIÓN

- **Coeficiente de validez**

$$\frac{A+B+C+D+E}{60} = 0.86$$

- **Calificación global:** Validez buena

Intervalos	resultados
0.00 – 0.49	Validez nula
0.50 – 0.59	Validez muy baja
0.60 – 0.69	Validez baja
0.70 – 0.79	Validez aceptable
0.80 – 0.89	validez buena
0.90 – 1.00	Validez muy buena

4. **OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

Procede su Aplicación (X) Debe corregirse ( )

5. **OBSERVACIONES Y SUGERENCIAS**

Abancay, 23 de abril del 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURIMAC

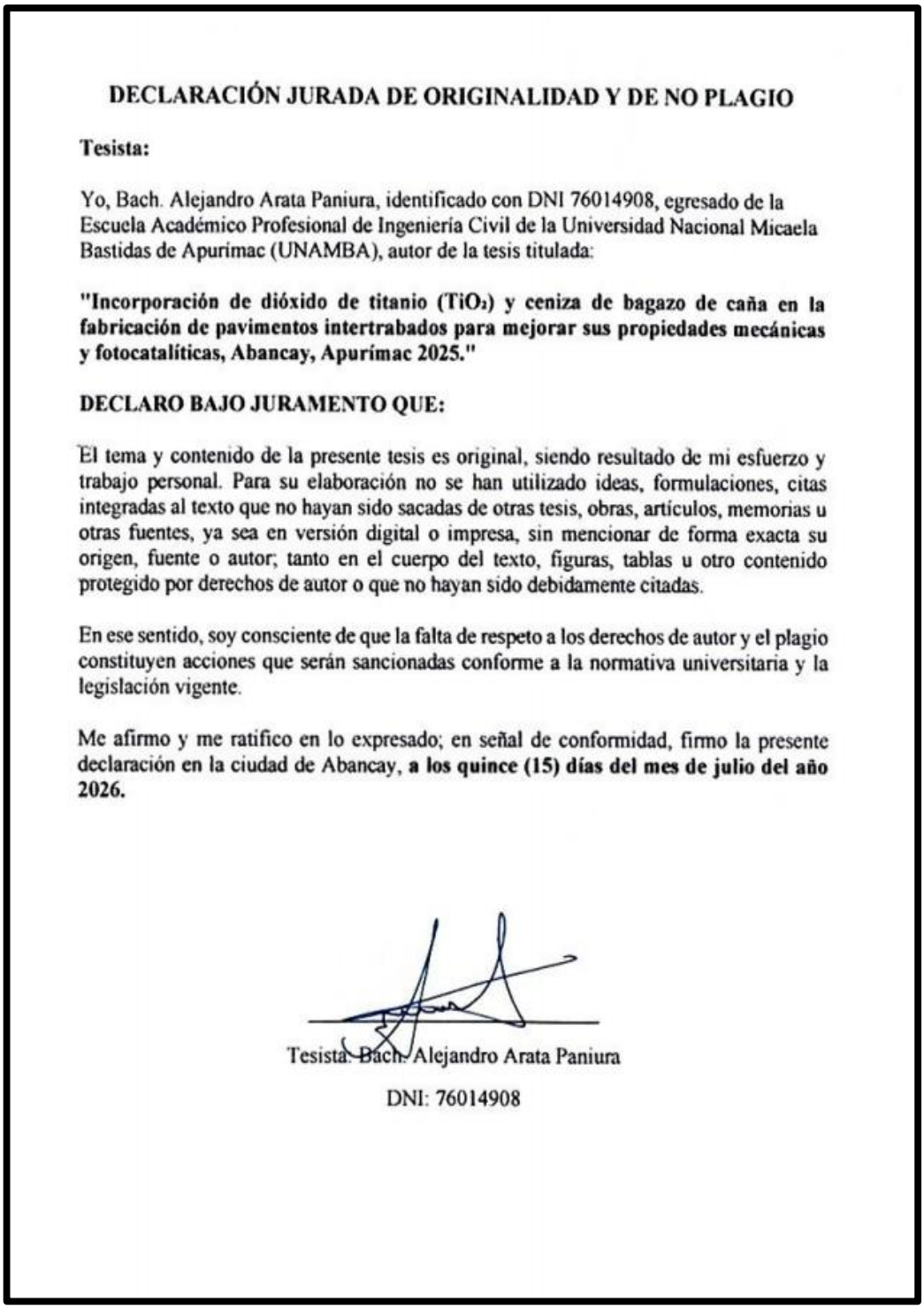
Dr. Edwar Ilasaca Cahuata
DOCENTE

Figura 38 — Valoración del experto N° 4

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

Anexo E

Declaración jurada de originalidad y no plagio



DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD Y DE NO PLAGIO

Tesista:

Yo, Bach. Alejandro Arata Paniura, identificado con DNI 76014908, egresado de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac (UNAMBA), autor de la tesis titulada:

"Incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) y ceniza de bagazo de caña en la fabricación de pavimentos intertrabados para mejorar sus propiedades mecánicas y fotocatalíticas, Abancay, Apurímac 2025."

DECLARO BAJO JURAMENTO QUE:

El tema y contenido de la presente tesis es original, siendo resultado de mi esfuerzo y trabajo personal. Para su elaboración no se han utilizado ideas, formulaciones, citas integradas al texto que no hayan sido sacadas de otras tesis, obras, artículos, memorias u otras fuentes, ya sea en versión digital o impresa, sin mencionar de forma exacta su origen, fuente o autor; tanto en el cuerpo del texto, figuras, tablas u otro contenido protegido por derechos de autor o que no hayan sido debidamente citadas.

En ese sentido, soy consciente de que la falta de respeto a los derechos de autor y el plagio constituyen acciones que serán sancionadas conforme a la normativa universitaria y la legislación vigente.

Me afirmo y me ratifico en lo expresado; en señal de conformidad, firmo la presente declaración en la ciudad de Abancay, **a los quince (15) días del mes de julio del año 2026.**

Tesista: Bach. Alejandro Arata Paniura

DNI: 76014908

Figura 39 — Declaración jurada de originalidad y de no plagio

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

Anexo F

Panel fotográfico



Figura 40 — Dosificación de materiales con TiO_2 y CBC



Figura 41 — Preparación de la mezcla con TiO_2 y CBC

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



Figura 42 — Moldeo de briquetas con TiO_2 y CBC



Figura 43 — Ensayo de resistencia a la compresión de las briquetas de concreto

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

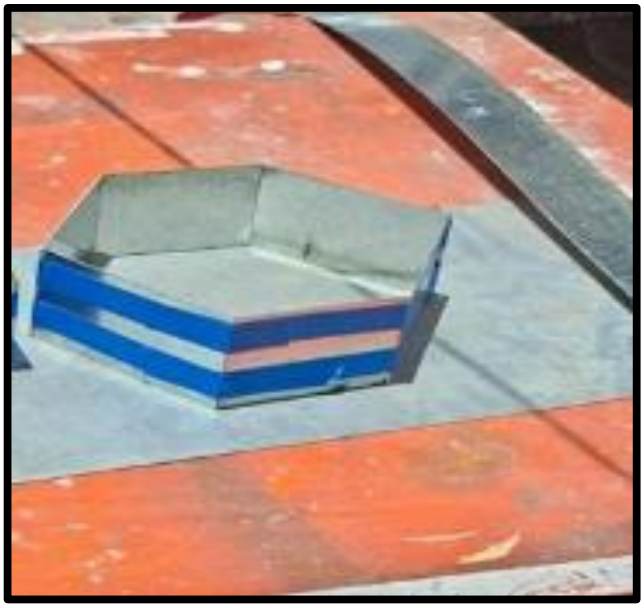


Figura 44 — Elaboración de moldes para adoquines hexagonales de concreto con dimensiones de 150 × 129.9 × 80 mm (L × A × E)



Figura 45 — Moldeo de adoquines hexagonales

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



Figura 46 — Vista panorámica de los adoquines hexagonales



Figura 47 — Preparación del ensayo de degradación fotocatalítica (RHB)

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



Figura 48 — Pesado de la solución de Rodamina B



Figura 49 — Preparación de la solución de Rodamina B para el ensayo de degradación.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



Figura 50 — Registro fotográfico de adoquines impregnados con rodamina B

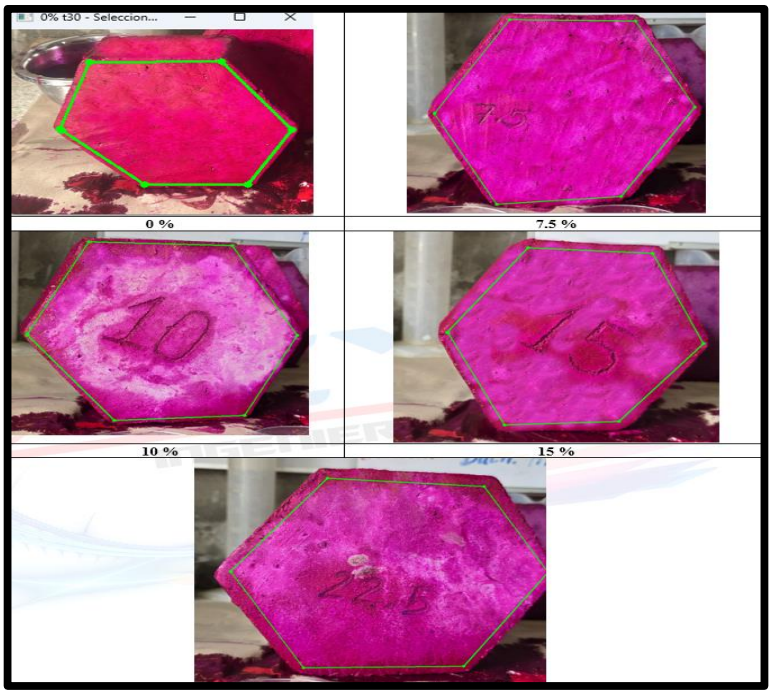
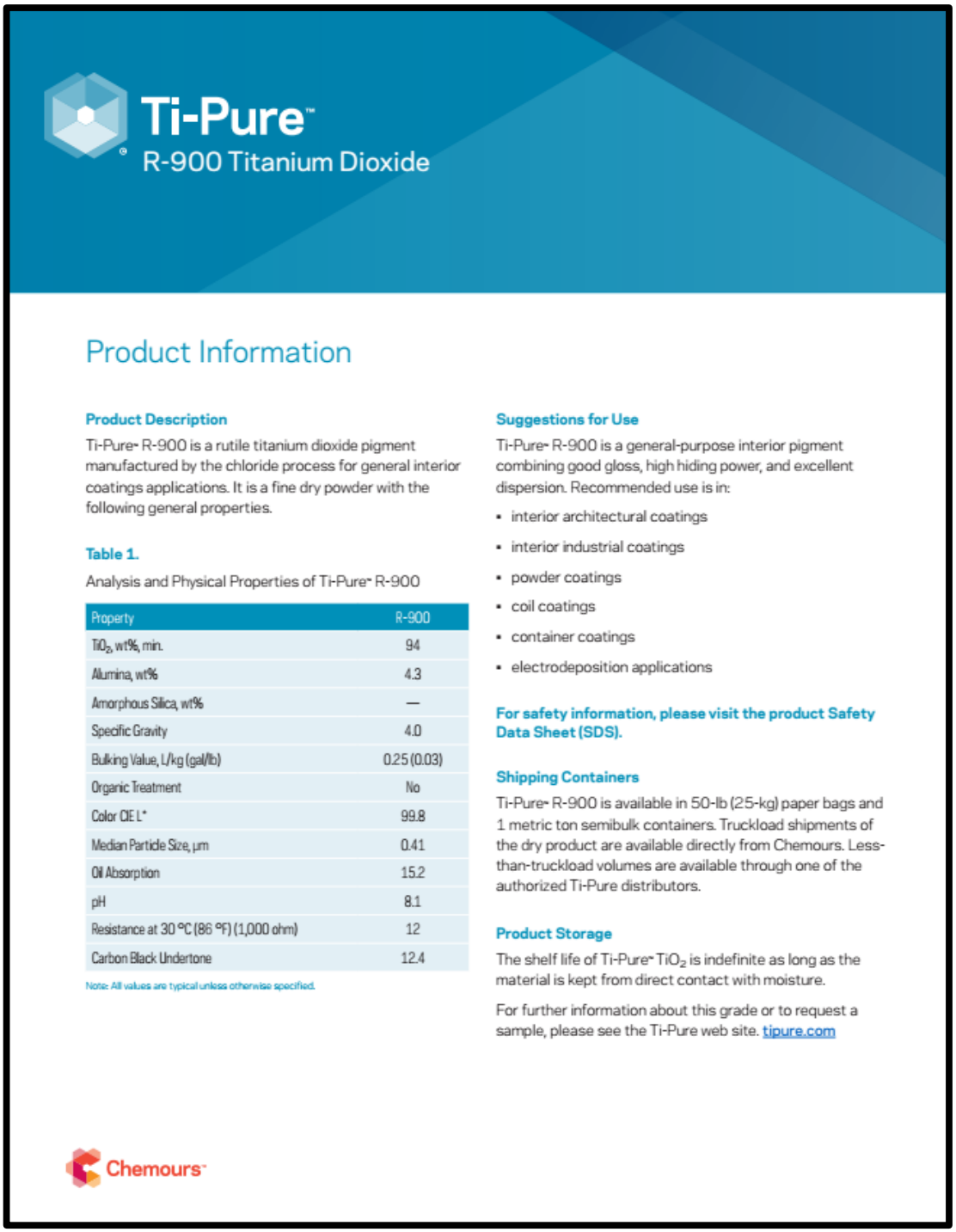


Figura 51 — Delimitación de la región de interés (ROI) para el análisis digital

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

Anexo G

Ficha técnica del dióxido de titanio TiO_2



Ti-Pure™
R-900 Titanium Dioxide

Product Information

Product Description

Ti-Pure™ R-900 is a rutile titanium dioxide pigment manufactured by the chloride process for general interior coatings applications. It is a fine dry powder with the following general properties.

Table 1.

Analysis and Physical Properties of Ti-Pure™ R-900

Property	R-900
TiO_2, wt%, min.	94
Alumina, wt%	4.3
Amorphous Silica, wt%	—
Specific Gravity	4.0
Bulking Value, L/kg (gal/lb)	0.25 (0.03)
Organic Treatment	No
Color CIE L*	99.8
Median Particle Size, µm	0.41
Oil Absorption	15.2
pH	8.1
Resistance at 30 °C (86 °F) (1,000 ohm)	12
Carbon Black Undertone	12.4

Note: All values are typical unless otherwise specified.

Suggestions for Use

Ti-Pure™ R-900 is a general-purpose interior pigment combining good gloss, high hiding power, and excellent dispersion. Recommended use is in:

- interior architectural coatings
- interior industrial coatings
- powder coatings
- coil coatings
- container coatings
- electrodeposition applications

For safety information, please visit the product Safety Data Sheet (SDS).

Shipping Containers

Ti-Pure™ R-900 is available in 50-lb (25-kg) paper bags and 1 metric ton semibulk containers. Truckload shipments of the dry product are available directly from Chemours. Less-than-truckload volumes are available through one of the authorized Ti-Pure distributors.

Product Storage

The shelf life of Ti-Pure™ TiO_2 is indefinite as long as the material is kept from direct contact with moisture.

For further information about this grade or to request a sample, please see the Ti-Pure web site. tipure.com

Chemours™

Figura 52 — Ficha técnica del dióxido de titanio (TiO_2)

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

Anexo H

Certificado de calibración de los equipos de laboratorio



METROLOGIA & TÉCNICAS S.A.C.

Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LTT - 254 - 2026

Área de Metrología
Laboratorio de Temperatura

Página 1 de 6

1. **Orden de trabajo** — **OT 0443-26**
2. **Solicitante** — **J&J CONSULTORES Y SERVICIOS E.I.R.L.**
3. **Dirección** — Cal. Cotabambas nro. s/n, Barrio Los Álamos, Challhuahuacho - Cotabambas - Sucursal-Calle los ciruelos nro. s/n, Tamburco - Abancay,APURÍMAC
4. **Equipo** — **HORNO**

Alcance Máximo	De 50 °C a 300 °C
Marca	AYA INSTRUMENTS
Modelo	STHX-1D
Número de Serie	250502 (*)
Procedencia	CHINA
Identificación	NO INDICA
Ubicación	**NO INDICA**

Descripción	Controlador / Selector	Instrumento de medición
Alcance	50 °C a 300 °C	50 °C a 300 °C
División de escala / Resolución	0,1 °C	0,1 °C
Tipo	CONTROLADOR	TERMÓMETRO DIGITAL

5. **Fecha de Calibración** — **2026-06-09**

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.

METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

Fecha de Emisión
2026-06-12

Responsable del Laboratorio
Firmado digitalmente por Sebastian F. Tello Manama
Fecha: 2026.06.12 09:22:24 -05'00'

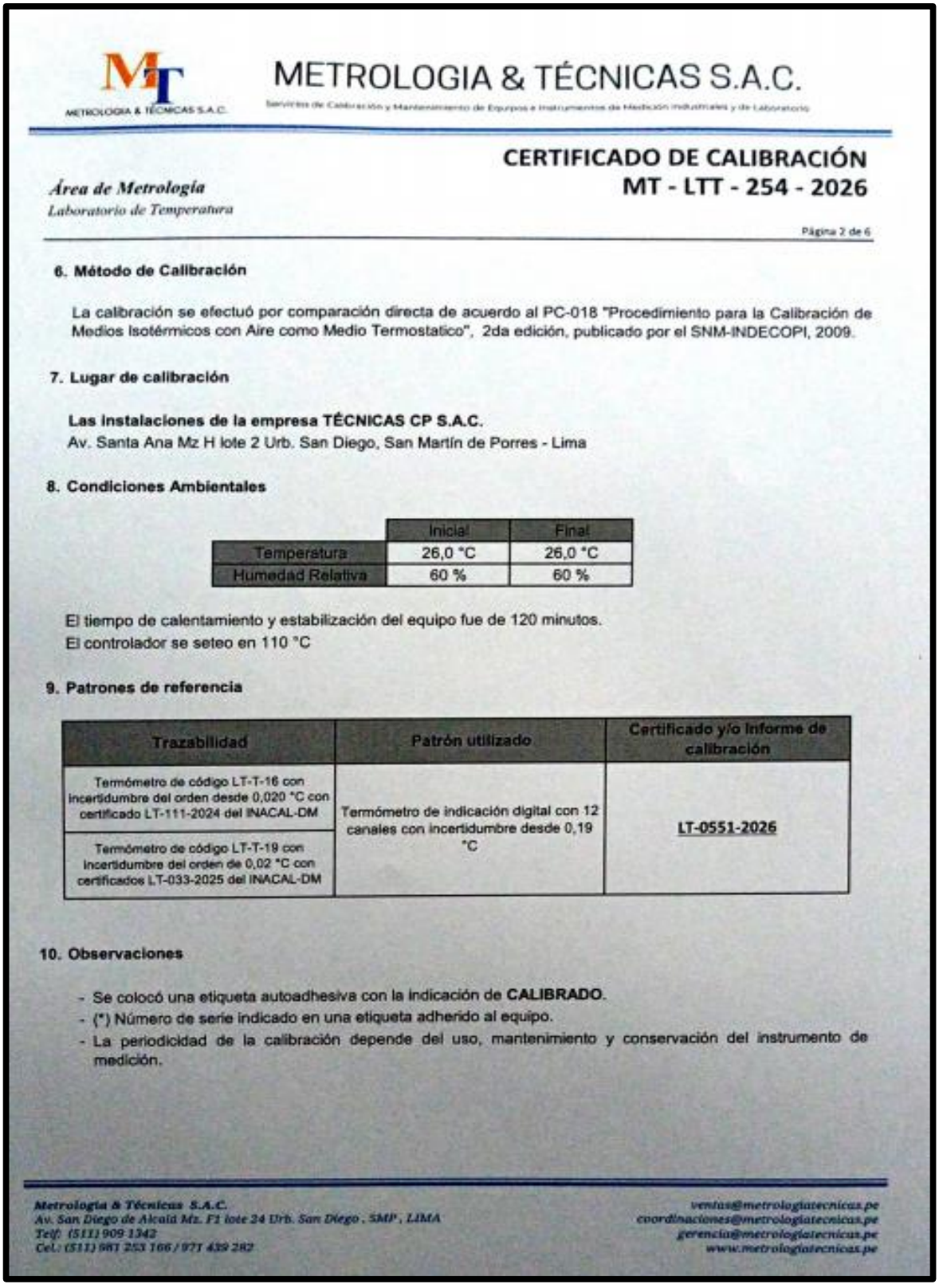
Sello
METROLOGIA & TECNICAS S.A.C. LABORATORIO PERÚ

Metrologia & Técnicas S.A.C.
Av. San Diego de Alcala Mz. F1 lote 24 Urb. San Diego , SMP , LIMA
Telf. (511) 909 1342
Cel.: (511) 981 253 166 / 971 439 282

ventas@metrologiatecnicas.pe
coordinaciones@metrologiatecnicas.pe
gerencia@metrologiatecnicas.pe
www.metrologiatecnicas.pe

Figura 53 — Certificado de calibración de horno - parte 1

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



METROLOGIA & TÉCNICAS S.A.C.

Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio

Área de Metrología
Laboratorio de Temperatura

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LTT - 254 - 2026

Página 2 de 6

6. Método de Calibración

La calibración se efectuó por comparación directa de acuerdo al PC-018 "Procedimiento para la Calibración de Medios Isotérmicos con Aire como Medio Termostatico", 2da edición, publicado por el SNM-INDECOPI, 2009.

7. Lugar de calibración

Las instalaciones de la empresa TÉCNICAS CP S.A.C.
Av. Santa Ana Mz H lote 2 Urb. San Diego, San Martín de Porres - Lima

8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	26,0 °C	26,0 °C
Humedad Relativa	60 %	60 %

El tiempo de calentamiento y estabilización del equipo fue de 120 minutos.
El controlador se seteo en 110 °C

9. Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado y/o Informe de calibración
Termómetro de código LT-T-16 con incertidumbre del orden desde 0,020 °C con certificado LT-111-2024 del INACAL-DM	Termómetro de indicación digital con 12 canales con incertidumbre desde 0,19 °C	LT-0551-2026
Termómetro de código LT-T-19 con incertidumbre del orden de 0,02 °C con certificados LT-033-2025 del INACAL-DM		

10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de **CALIBRADO**.
- (*) Número de serie indicado en una etiqueta adherido al equipo.
- La periodicidad de la calibración depende del uso, mantenimiento y conservación del instrumento de medición.

Metrología & Técnicas S.A.C.
Av. San Diego de Alcalá Mz. F1 lote 24 Urb. San Diego , SMP , LIMA
Telf: (511) 909 1342
Cel.: (511) 981 253 166 / 971 439 282

ventas@metrologiatecnicas.pe
coordinaciones@metrologiatecnicas.pe
gerencia@metrologiatecnicas.pe
www.metrologiatecnicas.pe

Figura 54 — Certificado de calibración de horno - parte 2

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



CALITEST S.A.C.

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN CON TRAZABILIDAD AL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
N° V10353

Expediente : N° 3020-2026
Fecha de Emisión : 2026-02-04

Página 1 de 3

1. **SOLICITANTE**
J&J CONSULTORES Y SERVICIOS EIRL

DIRECCIÓN
CAL. COTABAMBAS N.° S/N, BARRIO LOS ÁLAMOS, CHALLHUAHUACHO - COTABAMBAS - SUCURSAL - CALLE LOS CIRUELOS N.° S/N, TAMBURCO - ABANCAY, APURÍMAC.

2. **INSTRUMENTO DE MEDICIÓN**

BALANZA

Marca	: Exeltor	Unidad	: Gramos
N° de serie	: 103500003	Capacidad Máxima (g)	: 30000
Modelo	: PE5135.3	Divis. De Escala (d)	: 1
Clase	: III	Divis. De Verficación (e)	: 1
Tipo	: Electrónica	Plataforma	: Rectangular
Procedencia	: No indica		
Identificación	: No indica		

3. **FECHA, LUGAR Y UBICACIÓN DE CALIBRACIÓN**

Fecha : 2026-02-02
Lugar : Laboratorio de CALITEST S.A.C.
Ubicación : Instalaciones de CALITEST S.A.C.

4. **PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN**
La Calibración se realizó por comparación directa utilizando el procedimiento PC-001 "Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase III y IIII" de INACAL, 1ra Edición, Mayo 2019.

5. **CONDICIONES AMBIENTALES**

	Mínima	Máxima
Temperatura (°C)	22.2	22.8
Humedad Relativa (%)	58	58

6. **TRAZABILIDAD**
Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Trazabilidad	Patrón	Certificado de Calibración
PESATEC PERU S.A.C.	TERMOHIGRÓMETRO	0160-TPES-C-2025
PESATEC PERU S.A.C.	Pesa 1g a 1 kg (Exactitud M2)	0826-MPES-C-2025
PESATEC PERU S.A.C.	Pesa 5 kg (Exactitud M2)	0827-MPES-C-2025
PESATEC PERU S.A.C.	Pesa 10 kg (Exactitud M2)	0828-MPES-C-2025
PESATEC PERU S.A.C.	Pesa 20 kg (Exactitud M2)	0829-MPES-C-2025

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura k=2. La incertidumbre fue determinada según la "Guia para la Expresión de la incertidumbre en la medición. Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados sólo están relacionados con los ítems calibrados y son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

CALITEST S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados. Los resultados de este certificado de calibración no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Sello

Laboratorio de Metrología

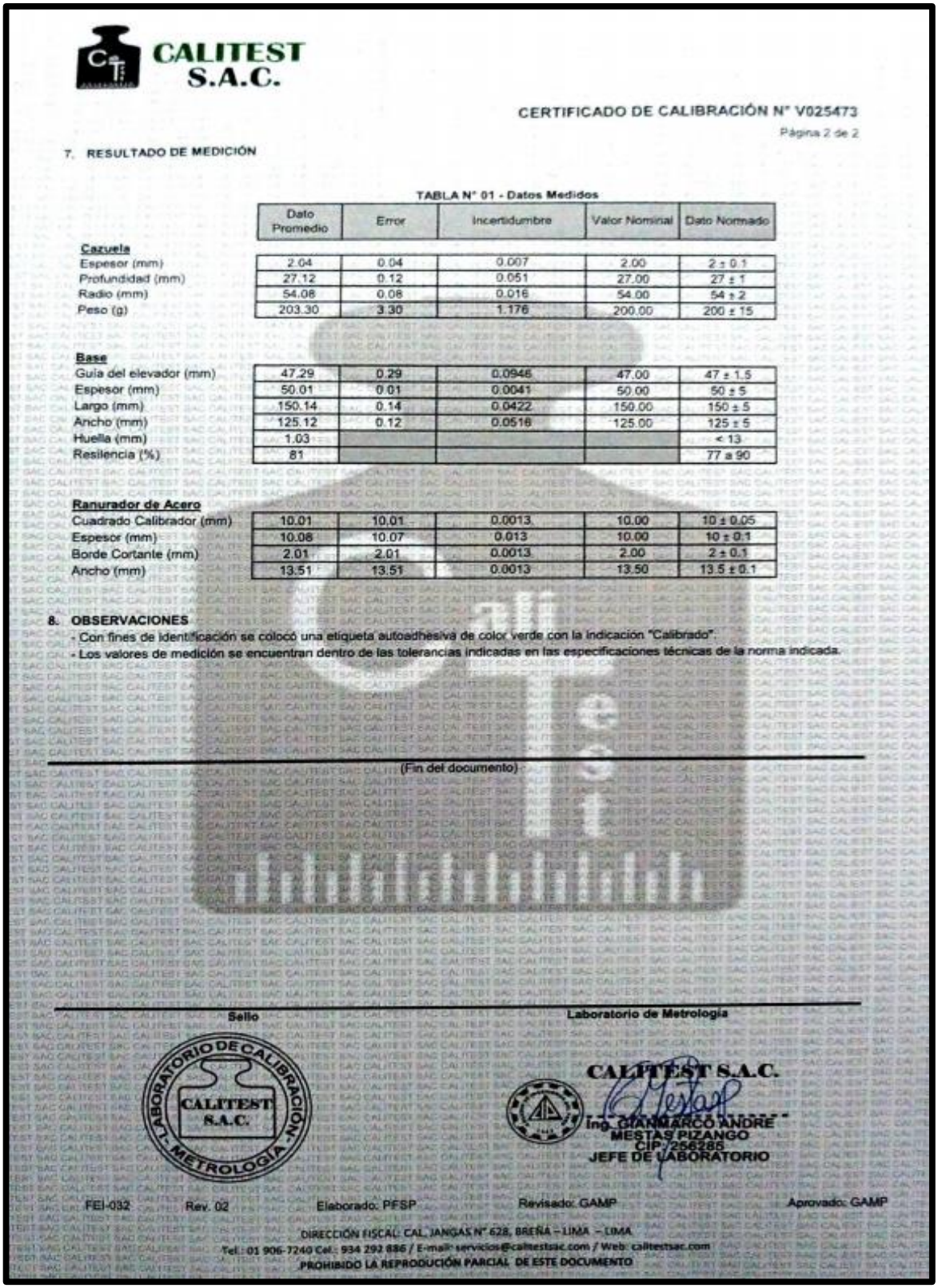
CALITEST S.A.C.
Ing. GIANMARCO ANDRE MESTAS PIZANGO
CIP 256285
JEFE DE LABORATORIO

FEI-010 Rev. 02 Elaborado: PFSP Revisado: GAMP Aprovado: GAMP

DIRECCIÓN FISCAL: CAL. JANGAS N° 628, BREÑA – LIMA – LIMA
Tel.: 562 8972 Cel.: 934292886 / E-mail: servicios@calitestsac.com, certificados@calitestsac.com / Web: calitestsac.com
PROHIBIDO LA REPRODUCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO

Figura 55 — Certificado de calibración de balanza - parte 1

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



CALITEST S.A.C.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° V025473

Página 2 de 2

7. RESULTADO DE MEDICIÓN

TABLA N° 01 - Datos Medidos

	Dato Promedio	Error	Incertidumbre	Valor Nominal	Dato Nominado
Cazuela					
Espesor (mm)	2.04	0.04	0.007	2.00	2 ± 0.1
Profundidad (mm)	27.12	0.12	0.051	27.00	27 ± 1
Radio (mm)	54.08	0.08	0.016	54.00	54 ± 2
Peso (g)	203.30	3.30	1.176	200.00	200 ± 15
Base					
Guía del elevador (mm)	47.29	0.29	0.0946	47.00	47 ± 1.5
Espesor (mm)	50.01	0.01	0.0041	50.00	50 ± 5
Largo (mm)	150.14	0.14	0.0422	150.00	150 ± 5
Ancho (mm)	125.12	0.12	0.0516	125.00	125 ± 5
Huella (mm)	1.03				< 13
Resilencia (%)	81				77 a 90
Ranurador de Acero					
Cuadrado Calibrador (mm)	10.01	10.01	0.0013	10.00	10 ± 0.05
Espesor (mm)	10.08	10.07	0.013	10.00	10 ± 0.1
Borde Cortante (mm)	2.01	2.01	0.0013	2.00	2 ± 0.1
Ancho (mm)	13.51	13.51	0.0013	13.50	13.5 ± 0.1

8. OBSERVACIONES

- Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva de color verde con la indicación "Calibrado".
- Los valores de medición se encuentran dentro de las tolerancias indicadas en las especificaciones técnicas de la norma indicada.

(Fin del documento)

Sello

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN - METROLOGÍA
CALITEST S.A.C.

Laboratorio de Metrología

CALITEST S.A.C.
Ing. GIANMARCO ANDRE MESTAS PIZANGO
CIP: 256285
JEFE DE LABORATORIO

FEI-032 Rev. 02 Elaborado: PFSP Revisado: GAMP Aprovado: GAMP

DIRECCIÓN FISCAL: CAL. JANGAS N° 628, BREÑA – LIMA – LIMA
Tel.: 01 906-7240 Cel.: 934 292 886 / E-mail: servicios@calitestsac.com / Web: calitestsac.com
PROHIBIDO LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO

Figura 56 — Certificado de calibración de balanza - parte 2

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



CALITEST S.A.C.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
N° V0359294

Expediente : N° 3455-2026
Fecha de Emisión : 2026-07-07

Página 1 de 2

1. SOLICITANTE
J&J CONSULTORES Y SERVICIOS EIRL

Dirección
CAL. COTABAMBAS N.° S/N, BARRIO LOS ÁLAMOS, CHALLHUAHUACHO - COTABAMBAS - SUCURSAL - CALLE LOS CIRUELOS N.° S/N, TAMBURCO - ABANCAY, APURÍMAC.

2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

TAMIZ N° 200

Marca	: PALIO
Modelo	: NO INDICA
Nro. Serie	: 035900294
Bastidor Estándar	: SI, Redondo de 8 pulg. de Diámetro
Estructura	: ACERO INOXIDABLE
Acabado	: PULIDO
Procedencia	: PERÚ
Identificación	: NO INDICA

3. FECHA, LUGAR Y UBICACIÓN DE CALIBRACIÓN

Fecha	: 2026-07-06
Lugar	: Laboratorio de CALITEST S.A.C.
Ubicación	: Instalación de CALITEST S.A.C.

4. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN
La Calibración se realizó por comparación directa utilizando el procedimiento PIC-001 "Procedimiento Interno para la Calibración de Medidores de Tamices", tomando como referencia la norma ASTM E-11.

5. CONDICIONES AMBIENTALES

	Inicial	Final
Temperaturas (°C)	20.2	21.6
Humedad Relativa (%)	71.6	71.8

6. TRAZABILIDAD
Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Trazabilidad	Patrón	Certificado de Calibración
PESATEC PERU S.A.C.	TERMOHIGRÓMETRO	0160-TPES-C-2025
METROSYSTEMS S.R.L.	PIE DE REY (VERNIER)	MS-0315-2026
INACAL	RETÍCULA (MICROSCOPIO)	LLA-395-2025

El equipo de medición especificado en este documento ha sido calibrado, probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la dirección de Metrología del INACAL y/u otros.

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura k=2. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición. Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados sólo están relacionados con los ítems calibrados y son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

CALITEST S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados. Los resultados de este certificado de calibración no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Sello

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN - METROLOGÍA
CALITEST S.A.C.

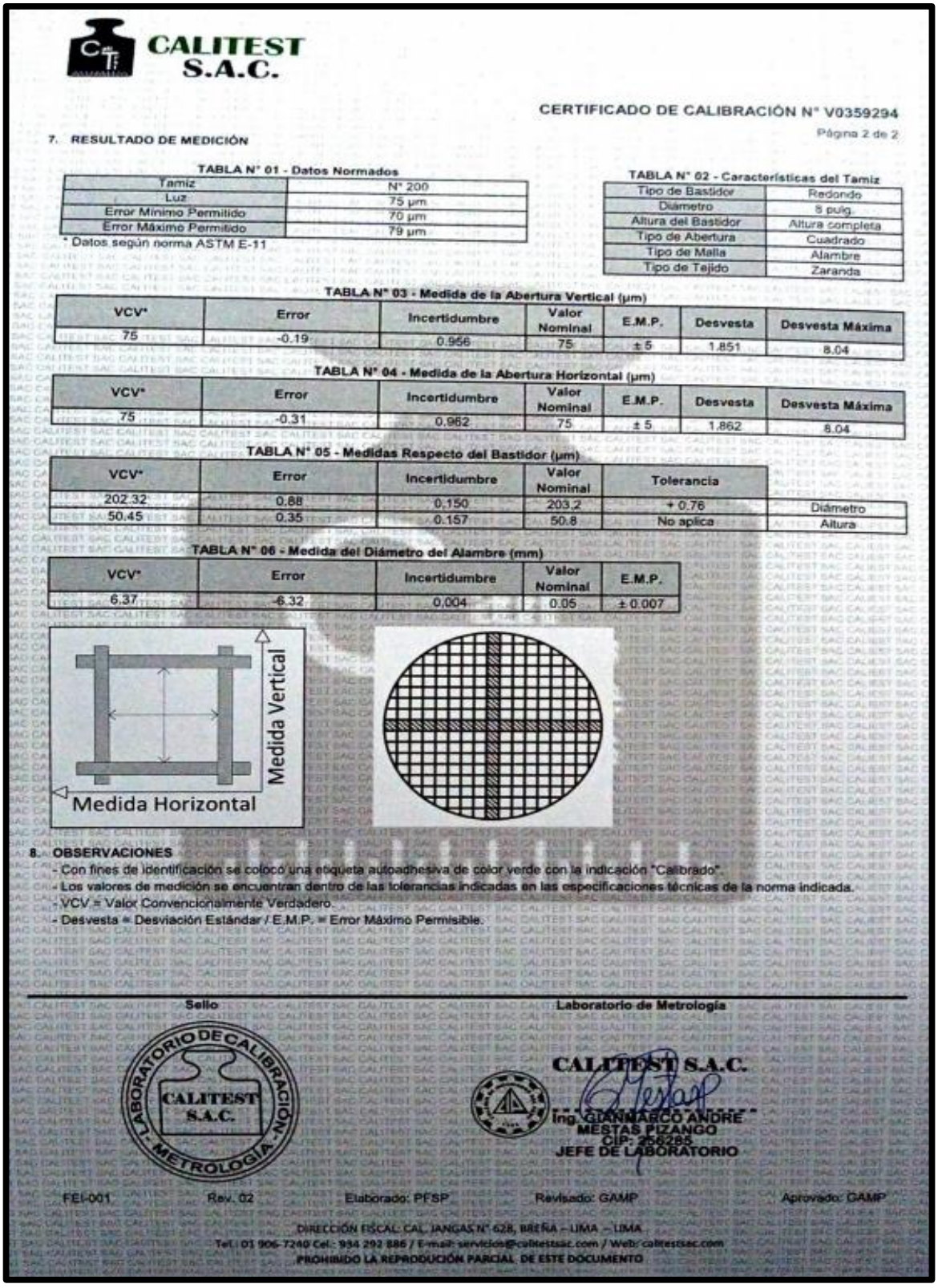
Laboratorio de Metrología
CALITEST S.A.C.
Ing. GIANMARCO ANDRE MESTAS PIZANGO
CIP. 256785
JEFE DE LABORATORIO

FEI-001 Rev. 02 Elaborado: PFSP Revisado: GAMP Aprobado: GAMP

DIRECCIÓN FISCAL: CAL. JANGAS N° 628, BREÑA – LIMA – LIMA
Tel.: 01 506-7240 Cel.: 934 293 886 / E-mail: servicios@calitestsac.com / Web: calitestsac.com
PROHIBIDO LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO

Figura 57 — Certificado de calibración de tamiz N° 200 – parte 1

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



CALITEST S.A.C.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° V0359294

Página 2 de 2

7. RESULTADO DE MEDICIÓN

TABLA N° 01 - Datos Normados

Tamiz	N° 200
Luz	75 µm
Error Mínimo Permitido	70 µm
Error Máximo Permitido	79 µm

* Datos según norma ASTM E-11

TABLA N° 02 - Características del Tamiz

Tipo de Bastidor	Redondo
Diámetro	8 pulg.
Altura del Bastidor	Altura completa
Tipo de Abertura	Cuadrado
Tipo de Malla	Alambre
Tipo de Tejido	Zaranda

TABLA N° 03 - Medida de la Abertura Vertical (µm)

VCV*	Error	Incertidumbre	Valor Nominal	E.M.P.	Desvesta	Desvesta Máxima
75	-0.19	0.956	75	± 5	1.851	8.04

TABLA N° 04 - Medida de la Abertura Horizontal (µm)

VCV*	Error	Incertidumbre	Valor Nominal	E.M.P.	Desvesta	Desvesta Máxima
75	-0.31	0.962	75	± 5	1.862	8.04

TABLA N° 05 - Medidas Respecto del Bastidor (µm)

VCV*	Error	Incertidumbre	Valor Nominal	Tolerancia	
202.32	0.68	0.150	203.2	+ 0.76	Diámetro
50.45	0.35	0.157	50.8	No aplica	Altura

TABLA N° 06 - Medida del Diámetro del Alambre (mm)

VCV*	Error	Incertidumbre	Valor Nominal	E.M.P.
6.37	-6.32	0.004	0.05	± 0.007

8. OBSERVACIONES

- Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva de color verde con la indicación "Calibrado".
- Los valores de medición se encuentran dentro de las tolerancias indicadas en las especificaciones técnicas de la norma indicada.
- VCV = Valor Convencionalmente Verdadero.
- Desvesta = Desviación Estándar / E.M.P. = Error Máximo Permisible.

Sello

Laboratorio de Metrología

CALITEST S.A.C.

Ing. GIANMARCO ANDRE MESTAS PIZANGO
CIP: 256285
JEFE DE LABORATORIO

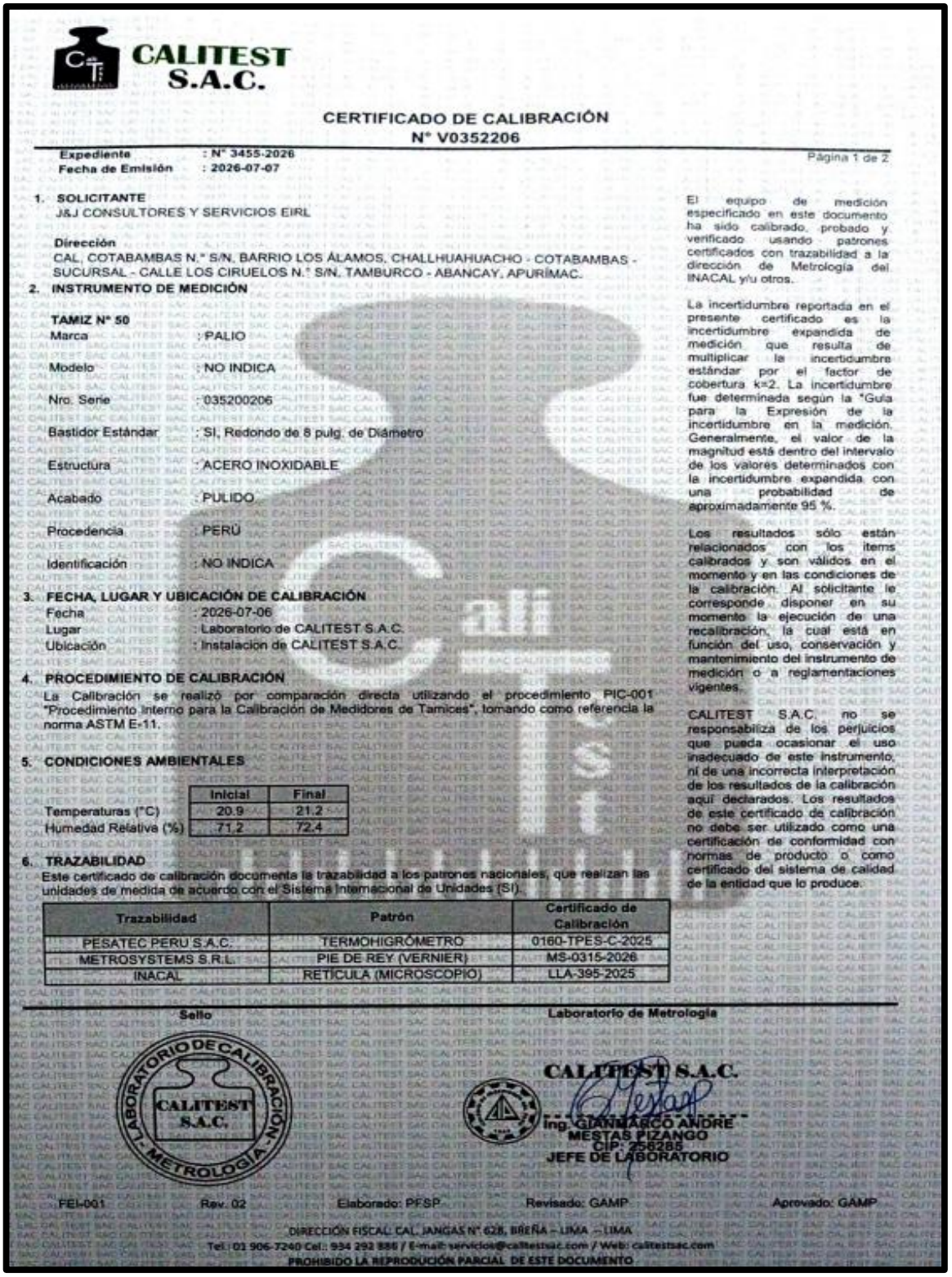
FEL-001 Rev. 02 Elaborado: PFSP Revisado: GAMP Aprobado: GAMP

DIRECCIÓN FISCAL: CAL. JANGAS N° 628, BREÑA – LIMA – LIMA
Tel.: 01 906-7240 Cel.: 934 292 886 / E-mail: servicios@calitestsac.com / Web: calitestsac.com

PROHIBIDO LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO

Figura 58 — Certificado de calibración de tamiz N° 200 – parte 2

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



CALITEST S.A.C.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
N° V0352206

Expediente : N° 3455-2026
Fecha de Emisión : 2026-07-07

Página 1 de 2

1. SOLICITANTE
J&J CONSULTORES Y SERVICIOS EIRL

Dirección
CAL. COTABAMBAS N.° S/N. BARRIO LOS ÁLAMOS, CHALLHUAHUACHO - COTABAMBAS - SUCURSAL - CALLE LOS CIRUELOS N.° S/N. TAMBURCO - ABANCAY, APURÍMAC.

2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

TAMIZ N° 50

Marca	: PALIO
Modelo	: NO INDICA
Nro. Serie	: 035200206
Bastidor Estándar	: SI, Redondo de 8 pulg. de Diámetro
Estructura	: ACERO INOXIDABLE
Acabado	: PULIDO
Procedencia	: PERÚ
Identificación	: NO INDICA

3. FECHA, LUGAR Y UBICACIÓN DE CALIBRACIÓN

Fecha	: 2026-07-06
Lugar	: Laboratorio de CALITEST S.A.C.
Ubicación	: Instalación de CALITEST S.A.C.

4. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN
La Calibración se realizó por comparación directa utilizando el procedimiento PIC-001 "Procedimiento interno para la Calibración de Medidores de Tamices", tomando como referencia la norma ASTM E-11.

5. CONDICIONES AMBIENTALES

	Inicial	Final
Temperaturas (°C)	20.9	21.2
Humedad Relativa (%)	71.2	72.4

6. TRAZABILIDAD
Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Trazabilidad	Patrón	Certificado de Calibración
PESATEC PERU S.A.C.	TERMOHIGRÓMETRO	0160-TPES-C-2025
METROSYSTEMS S.R.L.	PIE DE REY (VERNIER)	MS-0315-2026
INACAL	RETÍCULA (MICROSCOPIO)	LLA-395-2025

El equipo de medición especificado en este documento ha sido calibrado, probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la dirección de Metrología del INACAL y/u otros.

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura k=2. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición. Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados sólo están relacionados con los ítems calibrados y son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

CALITEST S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados. Los resultados de este certificado de calibración no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Sello

Laboratorio de Metrología

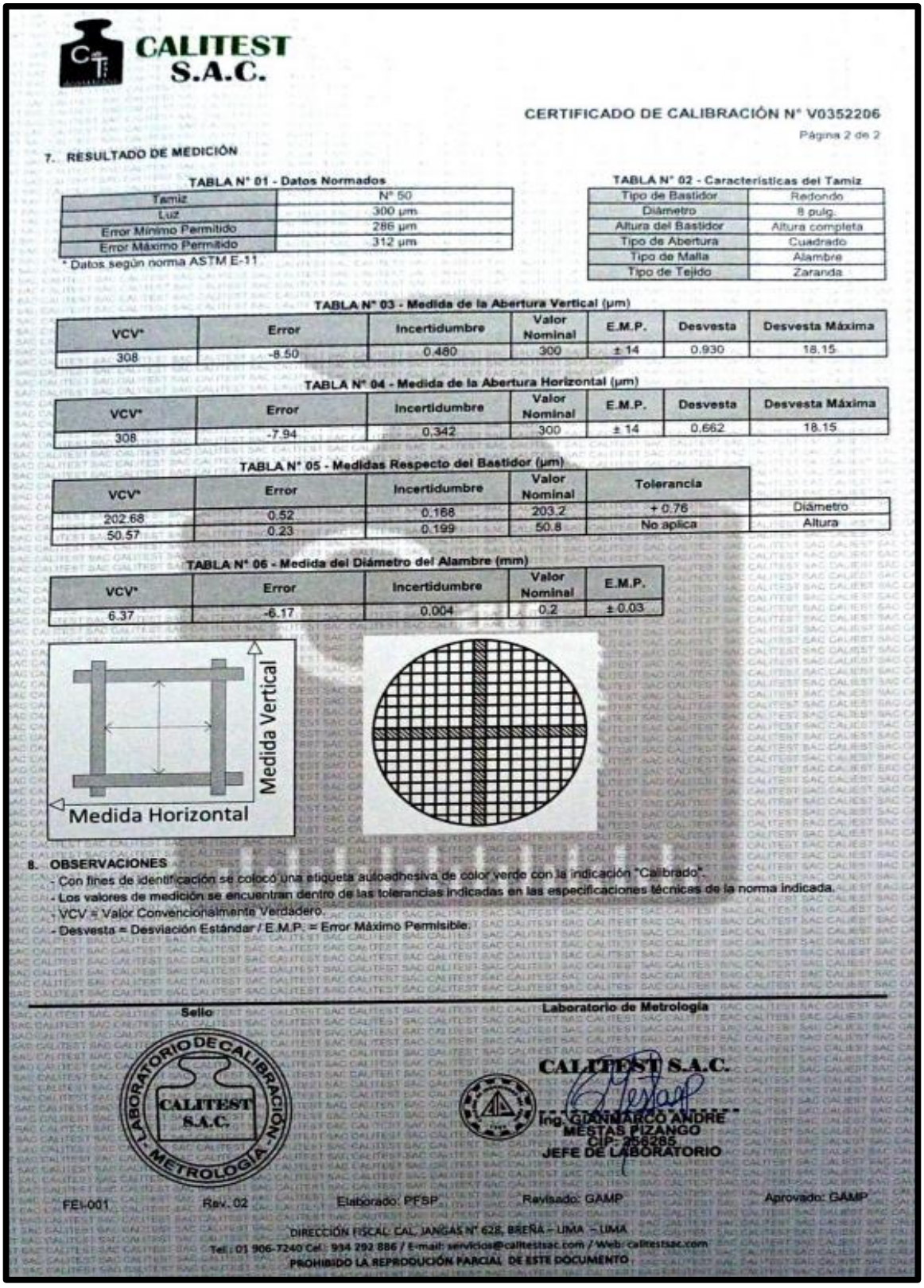
CALITEST S.A.C.
Ing. GIANMARCO ANDRE MESTAS PIZANGO
CIP: 256285
JEFE DE LABORATORIO

FEI-001 Rev. 02 Elaborado: PFSP Revisado: GAMP Aprobado: GAMP

DIRECCIÓN FISCAL: CAL. JANGAS N° 628, BREÑA – LIMA – LIMA
Tel.: 01 906-7240 Cel.: 934 292 888 / E-mail: servicios@calitestsac.com / Web: calitestsac.com
PROHIBIDO LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO

Figura 59 — Certificado de calibración de tamiz N° 50 parte 1

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



CALITEST S.A.C.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° V0352206

Página 2 de 2

7. RESULTADO DE MEDICIÓN

TABLA N° 01 - Datos Normados

Tamiz	N° 50
Luz	300 µm
Error Mínimo Permitido	286 µm
Error Máximo Permitido	312 µm

* Datos según norma ASTM E-11

TABLA N° 02 - Características del Tamiz

Tipo de Bastidor	Redondo
Diámetro	8 pulg.
Altura del Bastidor	Altura completa
Tipo de Abertura	Cuadrado
Tipo de Malla	Alambre
Tipo de Tejido	Zaranda

TABLA N° 03 - Medida de la Abertura Vertical (µm)

VCV*	Error	Incertidumbre	Valor Nominal	E.M.P.	Desvesta	Desvesta Máxima
308	-8.50	0.480	300	± 14	0.930	18.15

TABLA N° 04 - Medida de la Abertura Horizontal (µm)

VCV*	Error	Incertidumbre	Valor Nominal	E.M.P.	Desvesta	Desvesta Máxima
308	-7.94	0.342	300	± 14	0.662	18.15

TABLA N° 05 - Medidas Respecto del Bastidor (µm)

VCV*	Error	Incertidumbre	Valor Nominal	Tolerancia	
202.68	0.52	0.188	203.2	+ 0.76	Diámetro
50.57	0.23	0.199	50.8	No aplica	Altura

TABLA N° 06 - Medida del Diámetro del Alambre (mm)

VCV*	Error	Incertidumbre	Valor Nominal	E.M.P.
6.37	-6.17	0.004	0.2	± 0.03

8. OBSERVACIONES

- Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva de color verde con la indicación "Calibrado".
- Los valores de medición se encuentran dentro de las tolerancias indicadas en las especificaciones técnicas de la norma indicada.
- VCV = Valor Convencionalmente Verdadero.
- Desvesta = Desviación Estándar / E.M.P. = Error Máximo Permisible.

Sello

Laboratorio de Metrología

CALITEST S.A.C.

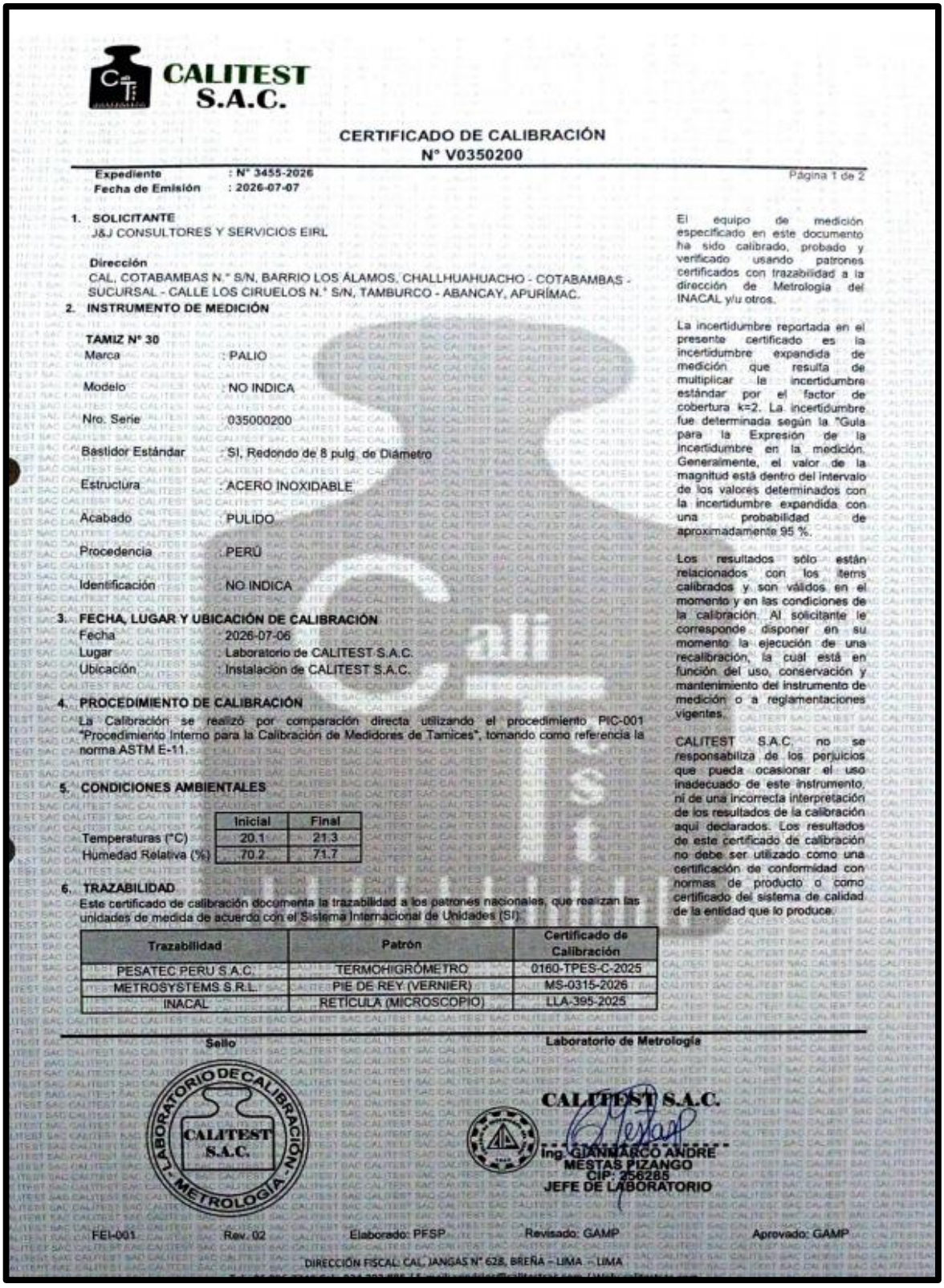
Ing. GIANMARCO ANDRE MESTAS PIZANGO
CIP: 256285
JEFE DE LABORATORIO

FEI-001 Rev. 02 Elaborado: PFSP Revisado: GAMP Aprovado: GAMP

DIRECCIÓN FISCAL: CAL. JANGAS N° 628, BREÑA – LIMA – LIMA
Tel.: 01 906-7240 Cel.: 934 292 886 / E-mail: servicios@calitestsac.com / Web: calitestsac.com
PROHIBIDO LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO

Figura 60 — Certificado de calibración de tamiz N° 50 parte 2

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



CALITEST S.A.C.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
N° V0350200

Expediente : N° 3455-2026
Fecha de Emisión : 2026-07-07

Página 1 de 2

1. **SOLICITANTE**
J&J CONSULTORES Y SERVICIOS EIRL

Dirección
CAL. COTABAMBAS N.° S/N, BARRIO LOS ÁLAMOS, CHALLHUAHUACHO - COTABAMBAS - SUCURSAL - CALLE LOS CIRUELOS N.° S/N, TAMBURCO - ABANCAY, APURÍMAC.

2. **INSTRUMENTO DE MEDICIÓN**

TAMIZ N° 30

Marca	: PALIO
Modelo	: NO INDICA
Nro. Serie	: 035000200
Bastidor Estándar	: SI, Redondo de 8 pulg. de Diámetro
Estructura	: ACERO INOXIDABLE
Acabado	: PULIDO
Procedencia	: PERÚ
Identificación	: NO INDICA

3. **FECHA, LUGAR Y UBICACIÓN DE CALIBRACIÓN**

Fecha	: 2026-07-06
Lugar	: Laboratorio de CALITEST S.A.C.
Ubicación	: Instalación de CALITEST S.A.C.

4. **PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN**
La Calibración se realizó por comparación directa utilizando el procedimiento PIC-001 "Procedimiento Interno para la Calibración de Medidores de Tamices", tomando como referencia la norma ASTM E-11.

5. **CONDICIONES AMBIENTALES**

	Inicial	Final
Temperaturas (°C)	20.1	21.3
Humedad Relativa (%)	70.2	71.7

6. **TRAZABILIDAD**
Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Trazabilidad	Patrón	Certificado de Calibración
PESATEC PERU S.A.C.	TERMOHIGRÓMETRO	0160-TPES-C-2025
METROSYSTEMS S.R.L.	PIE DE REY (VERNIER)	MS-0315-2026
INACAL	RETÍCULA (MICROSCOPIO)	LLA-395-2025

El equipo de medición especificado en este documento ha sido calibrado, probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la dirección de Metrología del INACAL y/u otros.

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura k=2. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la Incertidumbre en la Medición. Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados sólo están relacionados con los ítems calibrados y son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

CALITEST S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados. Los resultados de este certificado de calibración no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Sello

Laboratorio de Metrología

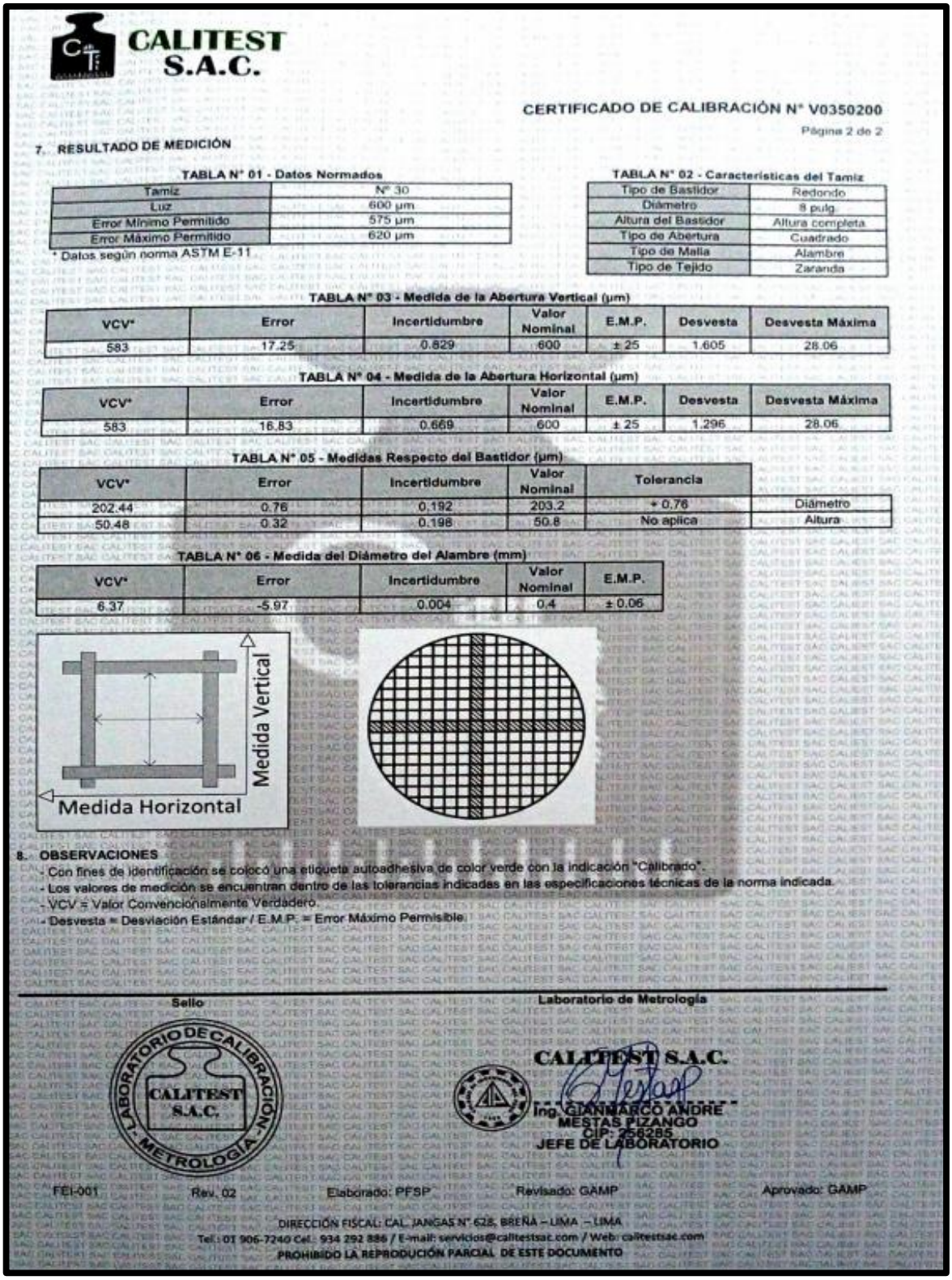
CALITEST S.A.C.
Ing. GIANNARCO ANDRE MESTAS PIZANGO
CIP: 256285
JEFE DE LABORATORIO

FEI-001 Rev. 02 Elaborado: PFSP Revisado: GAMP Aprobado: GAMP

DIRECCIÓN FISCAL: CAL. JANGAS N° 628, BREÑA – LIMA – LIMA

Figura 61 — Certificado de calibración de tamiz N° 30 parte 1

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



CALITEST S.A.C.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° V0350200

Página 2 de 2

7. RESULTADO DE MEDICIÓN

TABLA N° 01 - Datos Normados

Tamiz	N° 30
Luz	600 µm
Error Mínimo Permitido	575 µm
Error Máximo Permitido	620 µm

* Datos según norma ASTM E-11

TABLA N° 02 - Características del Tamiz

Tipo de Bastidor	Redondo
Diámetro	8 pulg.
Altura del Bastidor	Altura completa
Tipo de Abertura	Cuadrado
Tipo de Malla	Alambre
Tipo de Tejido	Zaranda

TABLA N° 03 - Medida de la Abertura Vertical (µm)

VCV*	Error	Incertidumbre	Valor Nominal	E.M.P.	Desvesta	Desvesta Máxima
583	17.25	0.829	600	± 25	1.605	28.06

TABLA N° 04 - Medida de la Abertura Horizontal (µm)

VCV*	Error	Incertidumbre	Valor Nominal	E.M.P.	Desvesta	Desvesta Máxima
583	16.83	0.669	600	± 25	1.296	28.06

TABLA N° 05 - Medidas Respecto del Bastidor (µm)

VCV*	Error	Incertidumbre	Valor Nominal	Tolerancia	
202.44	0.76	0.192	203.2	+ 0.76	Diámetro
50.48	0.32	0.198	50.8	No aplica	Altura

TABLA N° 06 - Medida del Diámetro del Alambre (mm)

VCV*	Error	Incertidumbre	Valor Nominal	E.M.P.
6.37	-5.97	0.004	0.4	± 0.06

8. OBSERVACIONES

- Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva de color verde con la indicación "Calibrado".
- Los valores de medición se encuentran dentro de las tolerancias indicadas en las especificaciones técnicas de la norma indicada.
- VCV = Valor Convencionalmente Verdadero.
- Desvesta = Desviación Estándar / E.M.P. = Error Máximo Permisible

Sello

Laboratorio de Metrología

CALITEST S.A.C.

Ing. GIANMARCO ANDRE MESTAS PIZANGO
CIP: 256285
JEFE DE LABORATORIO

FEI-001 Rev. 02 Elaborado: PFSP Revisado: GAMP Aprovado: GAMP

DIRECCIÓN FISCAL: CAL. JANGAS N° 628, BRENA – LIMA – LIMA
Tel.: 01 906-7240 Cel.: 934 292 886 / E-mail: servicios@calitestsac.com / Web: calitestsac.com

PROHIBIDO LA REPRODUCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO

Figura 62 — Certificado de calibración de tamiz N° 30 parte 2

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



CALITEST S.A.C.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
N° V0347171

Página 1 de 2

Expediente : N° 3455-2026
Fecha de Emisión : 2026-07-07

1. SOLICITANTE
J&J CONSULTORES Y SERVICIOS EIRL

Dirección
CAL. COTABAMBAS N.° S/N, BARRIO LOS ÁLAMOS, CHALLHUAHUACHO - COTABAMBAS - SUCURSAL - CALLE LOS CIRUELOS N.° S/N, TAMBURCO - ABANCAY, APURÍMAC.

2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

TAMIZ N° 16
Marca : PALIO
Modelo : NO INDICA
Nro. Serie : 034700171
Bastidor Estándar : SI, Redondo de 8 pulg. de Diámetro
Estructura : ACERO INOXIDABLE
Acabado : PULIDO
Procedencia : PERÚ
Identificación : NO INDICA

3. FECHA, LUGAR Y UBICACIÓN DE CALIBRACIÓN
Fecha : 2026-07-06
Lugar : Laboratorio de CALITEST S.A.C.
Ubicación : Instalación de CALITEST S.A.C.

4. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN
La Calibración se realizó por comparación directa utilizando el procedimiento PIC-001 "Procedimiento Interno para la Calibración de Medidores de Tamices", tomando como referencia la norma ASTM E-11.

5. CONDICIONES AMBIENTALES

	Inicial	Final
Temperatura (°C)	20.1	21.4
Humedad Relativa (%)	72.9	72.7

6. TRAZABILIDAD
Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Trazabilidad	Patrón	Certificado de Calibración
PESATEC PERU S.A.C.	TERMOHIGRÓMETRO	0160-TPES-C-2025
METROSYSTEMS S.R.L.	PIE DE REY (VERNIER)	MS-0315-2026
INACAL	RETÍCULA (MICROSCOPIO)	LLA-395-2025

El equipo de medición especificado en este documento ha sido calibrado, probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la dirección de Metrología del INACAL y/u otros.

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura k=2. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición. Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados sólo están relacionados con los ítems calibrados y son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

CALITEST S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados. Los resultados de este certificado de calibración no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Sello

Laboratorio de Metrología

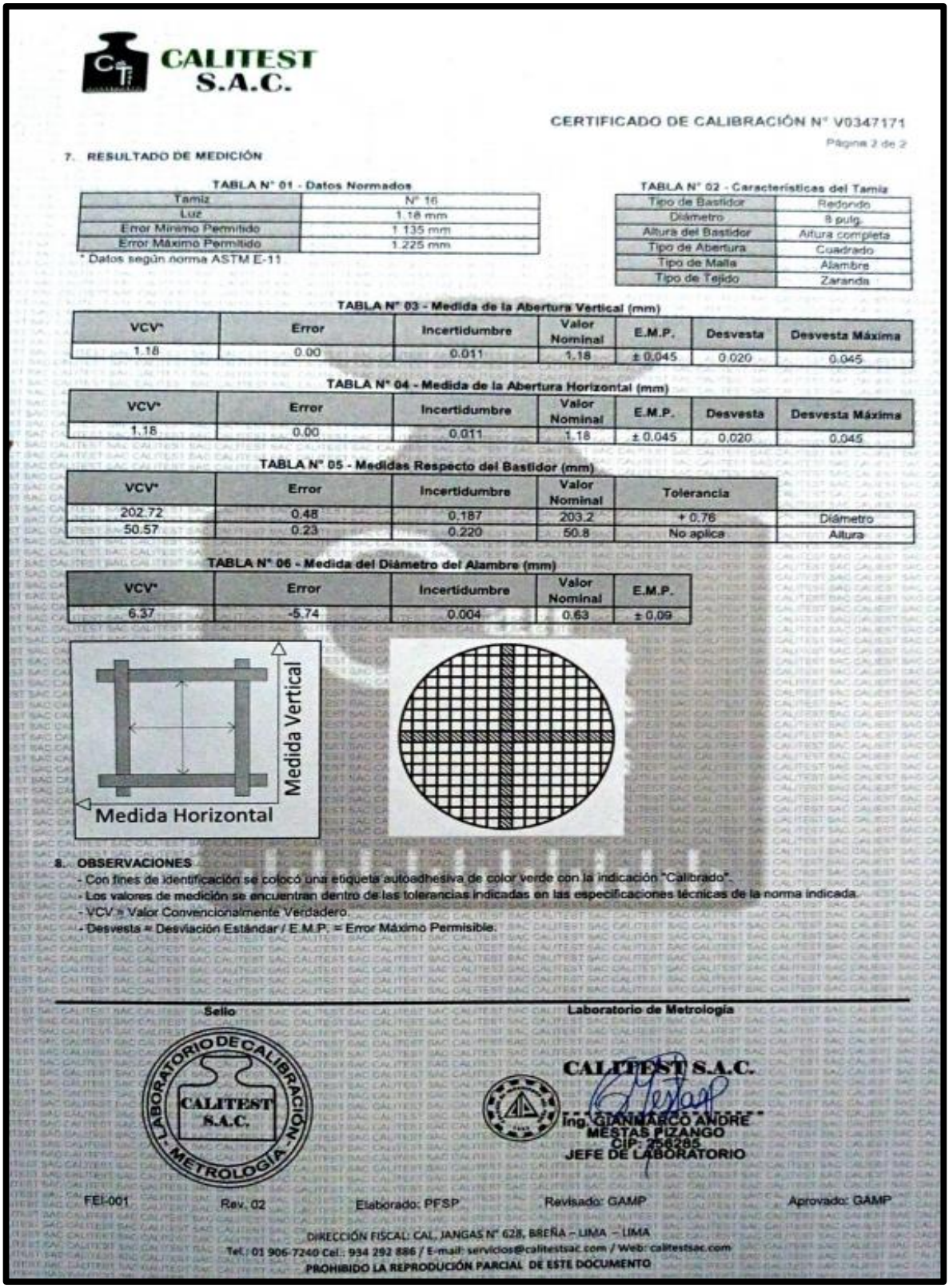
CALITEST S.A.C.
Ing. GIANMARCO ANDRE MESTAS PIZANGO
CIP. 256285
JEFE DE LABORATORIO

FEI-001 Rev. 02 Elaborado: PFSP Revisado: GAMP Aprobado: GAMP

DIRECCIÓN FISCAL: CAL. JANGAS N° 628, BREÑA – LIMA – LIMA
Tel.: 01 906-7240 Cel.: 934 292 886 / E-mail: servicios@calitestsac.com / Web: calitestsac.com
PROHIBIDO LA REPRODUCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO

Figura 63 — Certificado de calibración de tamiz de N° 16 – parte 1

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



CALITEST S.A.C.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° V0347171

Página 2 de 2

7. RESULTADO DE MEDICIÓN

TABLA N° 01 - Datos Normados

Tamiz	N° 16
Luz	1.18 mm
Error Mínimo Permitido	1.135 mm
Error Máximo Permitido	1.225 mm

* Datos según norma ASTM E-11

TABLA N° 02 - Características del Tamiz

Tipo de Bastidor	Redondo
Diámetro	8 pulg.
Altura del Bastidor	Altura completa
Tipo de Abertura	Cuadrado
Tipo de Malla	Alambre
Tipo de Tejido	Zaranda

TABLA N° 03 - Medida de la Abertura Vertical (mm)

VCV*	Error	Incertidumbre	Valor Nominal	E.M.P.	Desvesta	Desvesta Máxima
1.18	0.00	0.011	1.18	± 0.045	0.020	0.045

TABLA N° 04 - Medida de la Abertura Horizontal (mm)

VCV*	Error	Incertidumbre	Valor Nominal	E.M.P.	Desvesta	Desvesta Máxima
1.18	0.00	0.011	1.18	± 0.045	0.020	0.045

TABLA N° 05 - Medidas Respecto del Bastidor (mm)

VCV*	Error	Incertidumbre	Valor Nominal	Tolerancia	
202.72	0.48	0.187	203.2	+ 0.76	Diámetro
50.57	0.23	0.220	50.8	No aplica	Altura

TABLA N° 06 - Medida del Diámetro del Alambre (mm)

VCV*	Error	Incertidumbre	Valor Nominal	E.M.P.
6.37	-5.74	0.004	0.63	± 0.09

8. OBSERVACIONES

- Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva de color verde con la indicación "Calibrado".
- Los valores de medición se encuentran dentro de las tolerancias indicadas en las especificaciones técnicas de la norma indicada.
- VCV = Valor Convencionalmente Verdadero.
- Desvesta = Desviación Estándar / E.M.P. = Error Máximo Permisible.

Sello

Laboratorio de Metrología

CALITEST S.A.C.

Ing. GIANMARCO ANDRE MESTAS PIZANGO
CIP: 256265
JEFE DE LABORATORIO

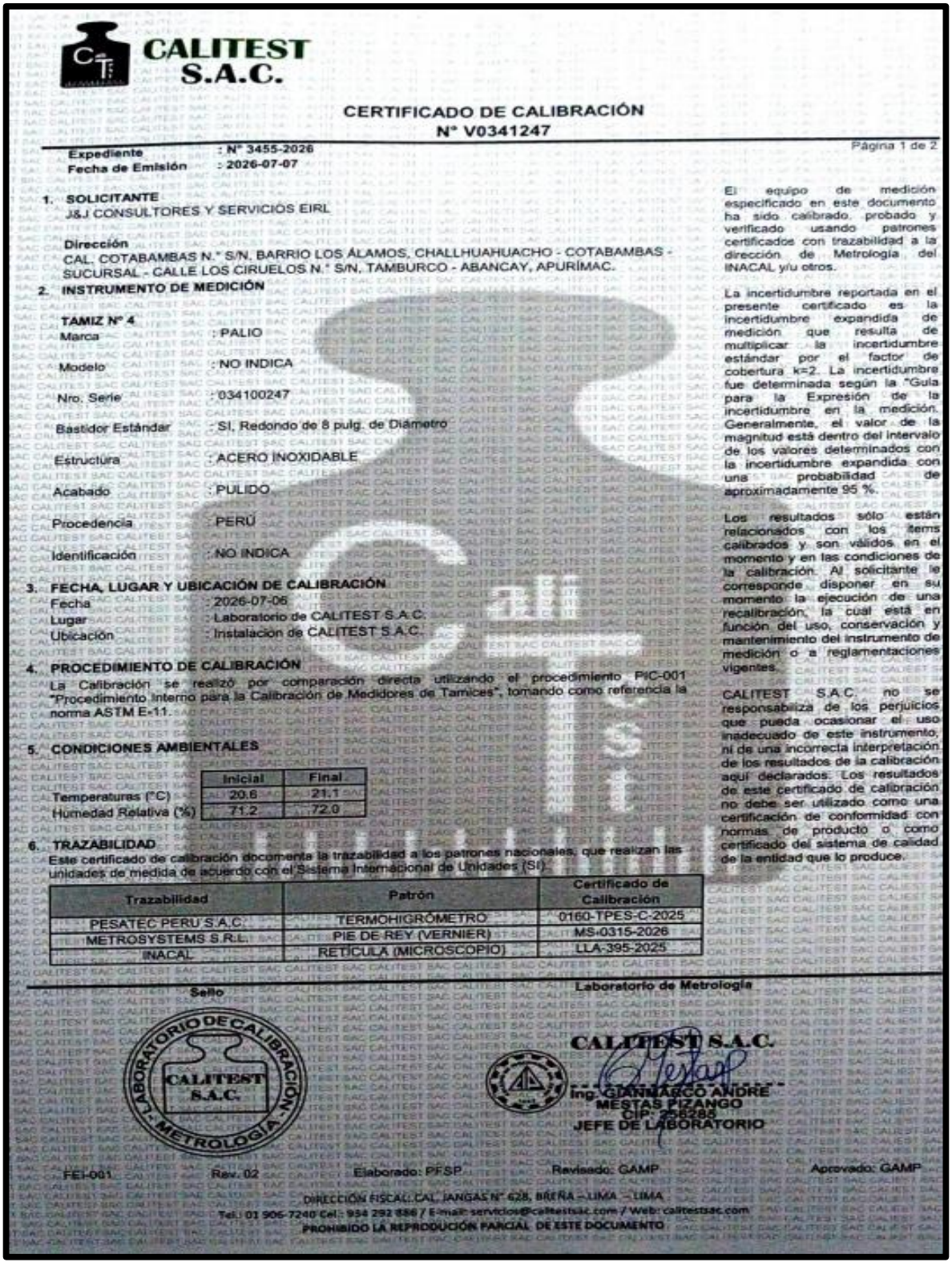
FEI-001 Rev. 02 Elaborado: PFSP Revisado: GAMP Aprovado: GAMP

DIRECCIÓN FISCAL: CAL. JANGAS N° 628, BREÑA – LIMA – LIMA
Tel.: 01 906-7240 Cel.: 934 292 886 / E-mail: servicios@calitestsac.com / Web: calitestsac.com

PROHIBIDO LA REPRODUCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO

Figura 64 — Certificado de calibración de tamiz de N° 16 – parte 2

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



CALITEST S.A.C.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
N° V0341247

Página 1 de 2

Expediente : N° 3455-2026
Fecha de Emisión : 2026-07-07

1. SOLICITANTE
J&J CONSULTORES Y SERVICIOS EIRL

Dirección
CAL. COTABAMBAS N.° S/N, BARRIO LOS ÁLAMOS, CHALLHUAHUACHO - COTABAMBAS - SUCURSAL - CALLE LOS CIRUELOS N.° S/N, TAMBURCO - ABANCAY, APURÍMAC.

2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

TAMIZ N° 4

Marca	: PALIO
Modelo	: NO INDICA
Nro. Serie	: 034100247
Bastidor Estándar	: SI, Redondo de 8 pulg. de Diámetro
Estructura	: ACERO INOXIDABLE
Acabado	: PULIDO
Procedencia	: PERÚ
Identificación	: NO INDICA

3. FECHA, LUGAR Y UBICACIÓN DE CALIBRACIÓN

Fecha	: 2026-07-06
Lugar	: Laboratorio de CALITEST S.A.C.
Ubicación	: Instalación de CALITEST S.A.C.

4. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN
La Calibración se realizó por comparación directa utilizando el procedimiento PIC-001 "Procedimiento Interno para la Calibración de Medidores de Tamices", tomando como referencia la norma ASTM E-11.

5. CONDICIONES AMBIENTALES

	Inicial	Final
Temperaturas (°C)	20.6	21.1
Humedad Relativa (%)	71.2	72.0

6. TRAZABILIDAD
Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Trazabilidad	Patrón	Certificado de Calibración
PESATEC PERU S.A.C.	TERMOHIGRÓMETRO	0160-TPES-C-2025
METROSYSTEMS S.R.L.	PIE DE REY (VERNIER)	MS-0315-2026
INACAL	RETÍCULA (MICROSCOPIO)	LLA-395-2025

El equipo de medición especificado en este documento ha sido calibrado, probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la dirección de Metrología del INACAL y/u otros.

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura k=2. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición. Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados sólo están relacionados con los ítems calibrados y son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

CALITEST S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados. Los resultados de este certificado de calibración no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Sello

Laboratorio de Metrología

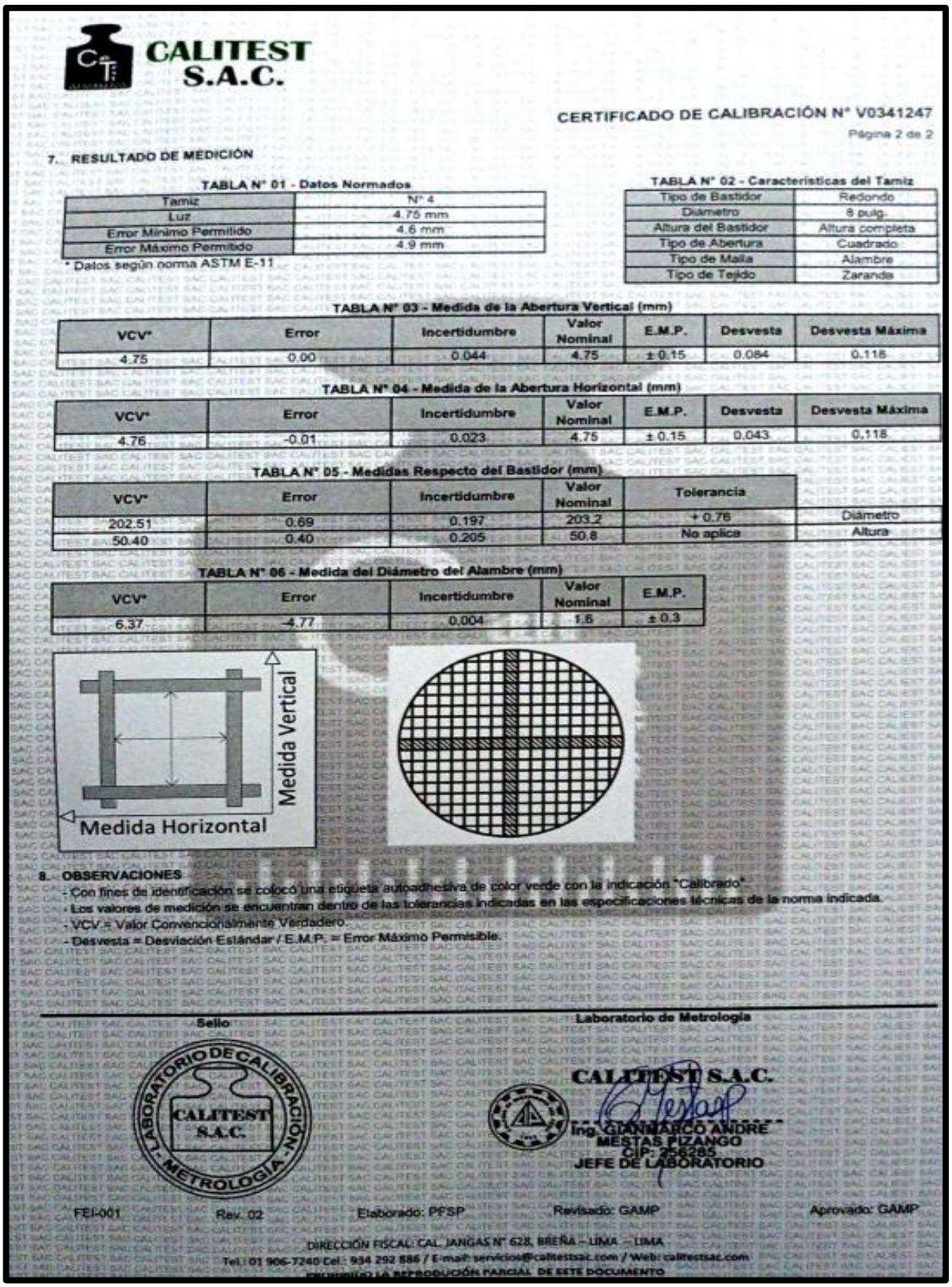
CALITEST S.A.C.
Ing. GIANMARCO ANDRE MESTAS PIZANGO
CIP: 256285
JEFE DE LABORATORIO

FEI-001 Rev. 02 Elaborado: PFSP Revisado: GAMP Aprobado: GAMP

DIRECCIÓN FISCAL: CAL. JANGAS N° 628, BREÑA – LIMA – LIMA
Tel.: 01 906-7240 Cel.: 934 292 886 / E-mail: servicios@calitestsac.com / Web: calitestsac.com
PROHIBIDO LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO

Figura 65 — Certificado de calibración de tamiz de N° 04 – parte 1

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



CALITEST S.A.C.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° V0341247

Página 2 de 2

7. RESULTADO DE MEDICIÓN

TABLA N° 01 - Datos Normados

Tamiz	N° 4
Luz	4.75 mm
Error Mínimo Permitido	4.6 mm
Error Máximo Permitido	4.9 mm

* Datos según norma ASTM E-11

TABLA N° 02 - Características del Tamiz

Tipo de Bastidor	Redondo
Diámetro	8 pulg.
Altura del Bastidor	Altura completa
Tipo de Abertura	Cuadrado
Tipo de Malla	Alambre
Tipo de Tejido	Zaranda

TABLA N° 03 - Medida de la Abertura Vertical (mm)

VCV*	Error	Incertidumbre	Valor Nominal	E.M.P.	Desvesta	Desvesta Máxima
4.75	0.00	0.044	4.75	± 0.15	0.084	0.118

TABLA N° 04 - Medida de la Abertura Horizontal (mm)

VCV*	Error	Incertidumbre	Valor Nominal	E.M.P.	Desvesta	Desvesta Máxima
4.76	-0.01	0.023	4.75	± 0.15	0.043	0.118

TABLA N° 05 - Medidas Respecto del Bastidor (mm)

VCV*	Error	Incertidumbre	Valor Nominal	Tolerancia	
202.51	0.69	0.197	203.2	+ 0.76	Diámetro
50.40	0.40	0.205	50.8	No aplica	Altura

TABLA N° 06 - Medida del Diámetro del Alambre (mm)

VCV*	Error	Incertidumbre	Valor Nominal	E.M.P.
6.37	-4.77	0.004	1.6	± 0.3

8. OBSERVACIONES

- Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva de color verde con la indicación "Calibrado".
- Los valores de medición se encuentran dentro de las tolerancias indicadas en las especificaciones técnicas de la norma indicada.
- VCV = Valor Convencionalmente Verdadero.
- Desvesta = Desviación Estándar / E.M.P. = Error Máximo Permisible.

Sello

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN - METROLOGÍA - CALITEST S.A.C.

Laboratorio de Metrología

CALITEST S.A.C.

Ing. GIANMARCO ANDRE MESTAS PIZANGO
CIP: 256285
JEFE DE LABORATORIO

FEI-001 Rev. 02 Elaborado: PFSP Revisado: GAMP Aprobado: GAMP

DIRECCIÓN FISCAL: CAL. JANGAS N° 628, BREÑA – LIMA – LIMA
Tel.: 01 906-7240 Cel.: 934 292 886 / E-mail: servicios@calitestsac.com / Web: calitestsac.com
PROHIBIDO LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO

Figura 66 — Certificado de calibración de tamiz de N° 04 – parte 2

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú