TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE LA BACTERIA BACILLUS SUBTILIS EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y LA AUTORREPARACIÓN DE UN CONCRETO CONVENCIONAL EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL – PUNO, 2025

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. ADALUZ MEYLIN GUTIERREZ COAQUIRA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

JULIACA – PERÚ

2026

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE LA BACTERIA BACILLUS SUBTILIS EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y LA AUTORREPARACIÓN DE UN CONCRETO CONVENCIONAL EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL – PUNO, 2025

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. ADALUZ MEYLIN GUTIERREZ COAQUIRA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE : _____
Dr. RONALD MADERA TERÁN

PRIMER MIEMBRO : _____
Dr. ARNALDO YANA TORRES

SEGUNDO MIEMBRO : _____
Dr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA

ASESOR DE TESIS : _____
M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN : TECNOLOGÍA DE MATERIALES – P17

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor

http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 0355-2026-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 10 de junio del 2026

VISTO: El expediente **N° 2026-CU-004018** presentado por el (la) Bachiller: **ADALUZ MEYLIN GUTIERREZ COAQUIRA** estudiante de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN.**

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bach. **ADALUZ MEYLIN GUTIERREZ COAQUIRA,** quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulada: **EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE LA BACTERIA BACILLUS SUBTILIS EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y LA AUTORREPARACIÓN DE UN CONCRETO CONVENCIONAL EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL - PUNO, 2025**, la misma que pertenece a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE MATERIALES** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil.**

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en concordancia con el dictamen de similitud.

De conformidad al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 24, Art. 28 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- **APROBAR**, la **NOMINACIÓN DE JURADOS** integrado por los siguientes docentes:

- **Presidente** : Dr. RONALD MADERA TERÁN
- **1er Miembro** : Dr. ARNALDO YANA TORRES
- **2do Miembro** : Dr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA

ARTICULO SEGUNDO. – **RECONOCER** como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA.**

ARTICULO TERCERO. – **APROBAR,** la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de él (la) bachiller: **ADALUZ MEYLIN GUTIERREZ COAQUIRA;** del informe final de la investigación (tesis) titulada: **EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE LA BACTERIA BACILLUS SUBTILIS EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y LA AUTORREPARACIÓN DE UN CONCRETO CONVENCIONAL EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL - PUNO, 2025** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil.** de acuerdo al siguiente detalle:

- **FECHA** : Viernes 26 de junio del 2026
- **HORA** : 11:00 hr
- **LUGAR** : Aula 406 - FICP

ARTÍCULO CUARTO.- **DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

Dr. Ronald Madera Terán
DECANO (e)
CIP: 66975

Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 0193-2026-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 20 de abril del 2026

VISTO: El expediente **N° 2026-CU-000627** por el señor (a): **ADALUZ MEYLIN GUTIERREZ COAQUIRA** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el PROVEIDO – **N° 0072-2026**-UI-FICP-UANCV/J, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACION (BORRADOR DE TESIS)** formato **N° 033-2026** del integrante del comité de investigación **EPIC** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **ADALUZ MEYLIN GUTIERREZ COAQUIRA,** ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulada: **EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE LA BACTERIA BACILLUS SUBTILIS EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y LA AUTORREPARACIÓN DE UN CONCRETO CONVENCIONAL EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL - PUNO, 2025**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil.**

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Dr. Leonel Suasaca Pelinco** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 033-2026 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE LA BACTERIA BACILLUS SUBTILIS EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y LA AUTORREPARACIÓN DE UN CONCRETO CONVENCIONAL EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL - PUNO, 2025**, Correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE MATERIALES.**

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducentes a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y estando a la opinión favorable del comité de investigación respecto al informe final de la investigación (borrador de tesis).

Estando, con la opinión favorable del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- **APROBAR**, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN,** presentado por el señor (a): **ADALUZ MEYLIN GUTIERREZ COAQUIRA,** para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulada: **EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE LA BACTERIA BACILLUS SUBTILIS EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y LA AUTORREPARACIÓN DE UN CONCRETO CONVENCIONAL EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL - PUNO, 2025** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE MATERIALES,** en virtud a los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a la), **M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA.**

ARTÍCULO TERCERO.- **DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

Dr. Ronald Madera Terán
DECANO (e)
CIP: 66975

Dr. Fritz Willy Momani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo 2026
interesado (a)

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 1400-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 27 de octubre del 2025

VISTO: El expediente **N° 2025-CU-9620**, presentado por el señor (a) **ADALUZ MEYLIN GUTIERREZ COAQUIRA** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el PROVEIDO – **N° 963-2025**-UI-FICP-UANCV/J, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato **N° 147- 2025** del integrante del comité de investigación **EPIC** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **ADALUZ MEYLIN GUTIERREZ COAQUIRA** ha presentado su propuesta de investigación Titulada: **EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE LA BACTERIA BACILLUS SUBTILIS EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y LA AUTORREPARACIÓN DE UN CONCRETO CONVENCIONAL EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL - PUNO, 2025**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil.**

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Dr. Arnaldo Yana Torres** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 147- 2025- aprobando la propuesta de investigación titulada: **EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE LA BACTERIA BACILLUS SUBTILIS EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y LA AUTORREPARACIÓN DE UN CONCRETO CONVENCIONAL EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL - PUNO, 2025.**

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en mérito al Art. 25 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- **APROBAR**, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el señor (a): **ADALUZ MEYLIN GUTIERREZ COAQUIRA,** para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulada: **EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE LA BACTERIA BACILLUS SUBTILIS EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y LA AUTORREPARACIÓN DE UN CONCRETO CONVENCIONAL EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL - PUNO, 2025** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE MATERIALES.**

La misma que deberá proceder con la ejecución de la propuesta de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente **M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA.**

ARTÍCULO TERCERO.- **DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CS. PURAS
Dr. OSCAR V. VIAMONTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32730

DIRECTOR
Dr. Frida Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo 2025
Interesado (a)

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
Central Telefónica: (051) 321142 - Juliaca - Puno - Perú - Pag. Web: www.uancv.edu.pe
http://repositorio.uancv.edu.pe/

EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE LA BACTERIA BACILLUS SUBTILIS EN LAS PROPIEDADES MEC AUTORREPARACIÓN DE UN CONCRETO CONVENCIONAL EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL – PUN

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%	16%	6%	11%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUD

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez	Trabajo del estudiante
2	hdl.handle.net	Fuente de Internet
3	Submitted to Universidad Cesar Vallejo	Trabajo del estudiante
4	repositorio.unc.edu.pe	Fuente de Internet
5	Submitted to Universidad Andina del Cusco	Trabajo del estudiante
6	Submitted to Universidad Tecnologica del Peru	Trabajo del estudiante
7	repositorio.upt.edu.pe	Fuente de Internet
8	Submitted to uncedu	Trabajo del estudiante
9	repositorio.uancv.edu.pe	Fuente de Internet
10	www.bdigital.unal.edu.co	Fuente de Internet
11	Submitted to Universidad Tecnologica de los Andes	Trabajo del estudiante
12	Submitted to Universidad Católica de Santa María	Trabajo del estudiante
13	Submitted to Universidad Nacional de Cajamarca	Trabajo del estudiante
14	dspace.uazuay.edu.ec	Fuente de Internet
	Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego 2025	

Metadatos Complementarios

Título de la Tesis	
EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE LA BACTERIA BACILLUS SUBTILIS EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y LA AUTORREPARACIÓN DE UN CONCRETO CONVENCIONAL EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL – PUNO, 2025	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	ADALUZ MEYLIN GUTIERREZ COAQUIRA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	71719742
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0004-1789-241X
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	01323821
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-4595-7589
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	RONALD MADERA TERÁN
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02429150
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	ARNALDO YANA TORRES
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	41414676
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	FRITZ WILLY MAMANI APAZA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02306659

Datos de investigación	
Línea de investigación	Tecnología de Materiales - P17
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	**País**: Perú **Departamento**: Puno **Provincia**: San Román **Distrito:** San Miguel **Coordenadas**: **Latitud**: -15.4708713 **Longitud**: -70.1259260 **URL Maps:**  https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1biyc-jTqHCXMkWf1_kitnuGjQ3M8TTY&usp=sharing
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Octubre 2025 – Junio 2026
URL de disciplinas OCDE https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html- Librería	**Ingeniería Civil** https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01 **Ingeniería de materiales** https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.05.00



TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo ADALUZ MEYLIN GUTIERREZ COAQUIRA, identificado con DNI Nro. 71719742, en mi condición de egresado de:

☒ **Escuela Profesional**
☐ **Programa de Segunda Especialidad,**
☐ **Programa de Maestría o Doctorado**

INGENIERÍA CIVIL,

informo que he elaborado el/la ☒ **Tesis** o ☐ **Trabajo de Investigación,** ☐ **Trabajo Académico** denominada:

EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE LA BACTERIA BACILLUS SUBTILIS EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y LA AUTORREPARACIÓN DE UN CONCRETO CONVENCIONAL EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL – PUNO, 2025

Asesorado por: M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como suyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 30 de JUNIO del 2026

Firma del Asesor (obligatoria)	Firma del Estudiante (obligatoria)	Huella

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

DEDICATORIA

Dedico esta tesis, en primer lugar, a Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada etapa de este camino. A mi madre, Eliana Coaquira Rojas, por su amor incondicional, sacrificio y apoyo permanente; su ejemplo de esfuerzo y perseverancia ha sido una inspiración constante en mi vida. A mi hermano, Ángel Bruce, por su compañía, sus palabras de aliento y la confianza brindada durante este proceso.

A mi hija, Juliette Maryam, mi mayor inspiración y la razón que me impulsa cada día a ser una mejor persona y seguir alcanzando mis metas. A mi familia, por su cariño, comprensión y respaldo en los momentos más importantes de esta etapa académica. Dedico también este logro a mí misma, por no rendirme ante las dificultades, levantarme después de cada obstáculo y demostrarme que la constancia y la perseverancia permiten alcanzar aquello que parecía difícil. Que esta tesis represente el inicio de una nueva etapa de crecimiento académico, profesional y personal.

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a Dios por darme la vida, la salud, la fortaleza y la sabiduría necesarias para culminar esta investigación. Expreso mi reconocimiento a la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, quienes, mediante su enseñanza, experiencia y compromiso académico, contribuyeron significativamente a mi formación profesional.

Mi sincero agradecimiento al M. Sc. Jesús Esteban Castillo Machaca, asesor de esta tesis, por su orientación, paciencia y valiosas recomendaciones durante el desarrollo del presente trabajo. A mi familia, por su amor, comprensión, confianza y apoyo constante, pilares fundamentales para alcanzar esta meta académica. Extiendo también mi gratitud a todas las personas que, con su colaboración, consejo o acompañamiento, aportaron de una u otra manera a la realización de esta investigación.

CONTENIDO GENERAL

DEDICATORIA.....i
AGRADECIMIENTO.....ii
CONTENIDO GENERAL.....iii
CONTENIDO DE TABLAS.....vi
CONTENIDO DE FIGURAS.....viii
RESUMEN.....x
ABSTRACT.....xi
INTRODUCCIÓN.....xii

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Exposición de la realidad problemática.....14
1.1.1. A nivel internacional.....14
1.1.2. A nivel nacional.....17
1.1.3. A nivel Local – Regional.....18
1.2. Planteamiento del problema.....20
1.2.1. Problema general.....21
1.2.2. Problemas específicos.....21
1.3. Justificación de la investigación.....21
1.3.1. Justificación teórica.....21
1.3.2. Justificación metodológica.....22
1.3.3. Justificación práctica y social.....22
1.3.4. Justificación ambiental.....23
1.4. Objetivos.....23
1.4.1. Objetivo General.....23
1.4.2. Objetivos específicos.....23
1.5. Hipótesis.....24
1.5.1. Hipótesis general.....24
1.5.2. Hipótesis específicas.....24
1.6. Variables.....25
1.6.1. Variable independiente.....25
1.6.2. Variable dependiente.....25

1.6.3. Operacionalización de variables 27

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1. Antecedentes de la investigación 28
2.1.1. Antecedentes internacionales 28
2.1.2. Antecedentes internacionales en otro idioma 32
2.1.3. Antecedentes nacionales 34
2.1.4. Antecedentes locales 37
2.2. Teórico referencial 40
2.2.1. Concreto: concepto y composición 40
2.2.2. Propiedades mecánicas del concreto 43
2.2.3. Factores que afectan la resistencia del concreto 45
2.2.4. Fisuración en el concreto 52
2.2.5. Microbiología aplicada al concreto 56
2.2.6. Bacillus subtilis 58
2.2.7. Concreto bacteriano (Self-Healing Concrete) 59
2.2.8. Mecanismo de bioprecipitación de carbonato de calcio (MICP) 63
2.2.9. Autorreparación del concreto 65
2.2.10. Influencia de la concentración bacteriana en las propiedades del concreto 66
2.3. Bases teóricas 67

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Enfoque de investigación 71
3.1.1. Tipo de investigación 72
3.1.2. Nivel de investigación 73
3.1.3. Diseño de investigación 74
3.1.4. Método de investigación 75
3.1.5. Ámbito de investigación 77
3.2. Población, muestra y unidad de análisis 77
3.2.1. Población 77
3.2.2. Unidad de análisis 78
3.2.3. Muestra 78

3.2.4. Análisis del muestreo 79
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos 82
3.3.1. Técnicas de recolección de datos 82
3.3.2. Instrumentos de recolección de datos 84
3.4. Procedimientos de los ensayos 85
3.4.1. Ubicación espacial temporal de la cantera 85
3.4.2. Extracción del agregado de la cantera 87
3.4.3. Ensayo de granulometría de los agregados 88
3.4.4. Ensayo de contenido de humedad 98
3.4.5. Peso específico y absorción 102
3.4.6. Peso unitario de los agregados 110
3.4.7. Dosificación de la mezcla de concreto 116
3.4.8. Preparación e incorporación de Bacillus subtilis al concreto 125
3.4.9. Evaluación de la resistencia a compresión 130
3.4.10. Fisuración por carga controlada 135

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Caracterización de los agregados 140
4.1.1. Agregado fino 140
4.1.2. Agregado grueso 141
4.2. Diseño de mezclas 143
4.3. Resultados del concreto en estado fresco 156
4.4. F'c del concreto 158
4.5. Evaluación de la capacidad de autorreparación 162
4.6. Discusión de resultados 164
CONCLUSIONES 169
RECOMENDACIONES 171
BIBLIOGRAFÍA 172
ANEXOS 175

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables 27

Tabla 2 Componentes del concreto y su función 42

Tabla 3 Total de muestras 79

Tabla 4 Propiedades físicas del agregado fino 140

Tabla 5 Propiedades físicas del agregado grueso 142

Tabla 6 Resistencia requerida 144

Tabla 7 Eleccion del asentamiento 144

Tabla 8 Relación agua/cemento 145

Tabla 9 Volumen unitario de agua 146

Tabla 10 Contenido de cemento 146

Tabla 11 Aire atrapado 147

Tabla 12 Determinación del agregado grueso 147

Tabla 13 Cantidad de agregado grueso 148

Tabla 14 Cálculo del agregado fino por valor absoluto 149

Tabla 15 Corrección de peso por humedad 150

Tabla 16 Corrección del agua efectiva 151

Tabla 17 Dosificación por bolsa de cemento de 42.5 kg 152

Tabla 18 Dosificación unitaria para cada probeta 152

Tabla 19 Cálculo de la suspensión 10^6 UFC/mL 153

Tabla 20 Cálculo de la suspensión 10^4 UFC/mL 153

Tabla 21 Cálculo de la suspensión 10^8 UFC/mL 154

Tabla 22 Cálculo de solución bacteriana por grupo de 3 155

Tabla 23 Resultados del ensayo de asentamiento 156

Tabla 24 F'c a 7 días 158

Tabla 25 F'c a 14 días 159

Tabla 26 F'c a 28 días 160

Tabla 27 Ancho de fisura y % de autorreparación (28 días)..... 162

Tabla 28 Discusión de resultados de la presente investigación 167

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1 Concreto normal 41

Figura 2 Resistencia a la compresión del concreto 43

Figura 3 Tipo y forma de probetas cilíndricas 44

Figura 4 Relación A/C 46

Figura 5 Calidad granulométrica. 47

Figura 6 Compactación del concreto 48

Figura 7 Edades del concreto 49

Figura 8 El curado del concreto 51

Figura 9 Bacteria Basillus subtillis 58

Figura 10 Self-Healing Concrete 60

Figura 11 Ubicación de la cantera Isla 86

Figura 12 Extracción de la cantera Isla 88

Figura 13 Tamizado de los agregados 91

Figura 14 Pesado del material retenido 91

Figura 15 Tamizado del agregado grueso 94

Figura 16 Pesado del material retenido del material grueso 95

Figura 17 Equipo para el análisis granulométrico de los agregados 97

Figura 18 Secado al horno para el ensayo de contenido de humedad 100

Figura 19 Pesado de la muestra seca después de la extracción del horno .. 101

Figura 20 Pesado del picnómetro con muestra y agua 107

Figura 21 Elementos de ensayo para peso específico y absorción de los agregados AF y AG 109

Figura 22 Recipiente de medida para el cálculo de los pesos unitarios 111

Figura 23 Determinación del peso unitario suelto 112

Figura 24 Determinación del peso unitario compactado 113

Figura 25 Molde para ensayo de peso unitario 115

Figura 26 Ensayo de "slump" ó asentamiento del concreto 117

Figura 27 Incorporación de los agregados para la elaboración de las probetas 121

Figura 28 Incorporación de la bacteria Bacillus subtillis en el agua del concreto 122

Figura 29 Elaboración de la mezcla de prueba 123

Figura 30 Proceso de llenado a los moldes..... 124

Figura 31 Producto comercial Fungisei 1L 126

Figura 32 Ficha técnica del producto..... 127

Figura 33 Incorporación de la bacteria a la mezcla de concreto 128

Figura 34 Aplicación de la carga con la máquina del ensayo a compresión. 133

Figura 35 Registro de las cargas máximas..... 134

Figura 36 Resultados del ensayo de asentamiento..... 157

Figura 37 Resumen de las resistencias alcanzadas 161

Figura 38 Ancho de fisura y % de autorreparación (28 días) 163

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar el efecto de la incorporación de Bacillus subtilis en la resistencia mecánica y la autorreparación del concreto convencional en el distrito de San Miguel – Puno, 2025. La población estuvo compuesta por concreto hecho en laboratorio, que incluía agua, agregado fino, agregado grueso y cemento Portland. La muestra incluyó cuatro dosificaciones: una mezcla patrón sin bacterias y tres mezclas con Bacillus subtilis a concentraciones de 10^4, 10^6 y 10^8 UFC/mL. La investigación se realizó con un diseño experimental, a nivel explicativo y de enfoque cuantitativo. Los datos se obtuvieron mediante ensayos de caracterización de agregados, asentamiento, resistencia a la compresión y medición del ancho de fisuras para evaluar la autorreparación. Los resultados mostraron que la incorporación de Bacillus subtilis mejoró la resistencia a la compresión respecto al concreto patrón, alcanzando el mayor valor a los 28 días con 27.9 MPa en la concentración de 10^6 UFC/mL, equivalente a un incremento aproximado de 9.41 %. Asimismo, se evidenció una mayor capacidad de autorreparación, alcanzando hasta 73 % de cierre de fisuras con la concentración de 10^8 UFC/mL. Se concluye que la incorporación de Bacillus subtilis mejora la resistencia mecánica y favorece la autorreparación del concreto convencional mediante procesos de bioprecipitación de carbonato de calcio.

Palabras clave: concreto, Bacillus subtilis, resistencia mecánica, resistencia a la compresión, autorreparación.

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the effect of incorporating Bacillus subtilis on the mechanical strength and self-healing of conventional concrete in the district of San Miguel – Puno, 2025. The population consisted of concrete mixtures prepared in the laboratory using Portland cement, fine aggregate, coarse aggregate, and water; the sample included four mix designs: one control mixture without bacteria and three mixtures with concentrations of 10^4, 10^6, and 10^8 CFU/mL of Bacillus subtilis. The study followed a quantitative approach, with an explanatory level and an experimental design. Data were collected through aggregate characterization tests, slump test, compressive strength test, and crack width measurement to evaluate self-healing. The results showed that the incorporation of Bacillus subtilis improved compressive strength compared to the control concrete, reaching the highest value at 28 days with 27.9 MPa at a concentration of 10^6 CFU/mL, equivalent to an approximate increase of 9.41%. Likewise, a greater self-healing capacity was observed, reaching up to 73% crack closure at a concentration of 10^8 CFU/mL. It is concluded that the incorporation of Bacillus subtilis improves the mechanical strength and promotes the self-healing of conventional concrete through calcium carbonate bioprecipitation processes.

Keywords: concrete, Bacillus subtilis, mechanical strength, compressive strength, self-healing..

INTRODUCCIÓN

El concreto es uno de los materiales de construcción más utilizados debido a su resistencia, durabilidad y versatilidad. Sin embargo, presenta una limitación importante relacionada con la aparición de fisuras, las cuales pueden originarse por contracción, cambios de temperatura, cargas estructurales o deficiencias en el curado. Estas fisuras permiten el ingreso de agua, sales y otros agentes externos, acelerando el deterioro del concreto y reduciendo la vida útil de las estructuras.

Ante esta problemática, en los últimos años se han desarrollado alternativas tecnológicas orientadas a mejorar el comportamiento del concreto frente a la fisuración. Una de ellas es el concreto bacteriano, basado en la incorporación de microorganismos capaces de inducir la precipitación de carbonato de calcio dentro de la matriz cementicia. En este contexto, Bacillus subtilis destaca por su capacidad de contribuir al sellado de microfisuras mediante procesos de bioprecipitación, favoreciendo la autorreparación del concreto.

En el distrito de San Miguel – Puno, las condiciones ambientales y el crecimiento de las construcciones hacen necesario evaluar materiales más durables y resistentes. Por ello, la presente investigación busca analizar el efecto de la incorporación de Bacillus subtilis en un concreto convencional, considerando su influencia en la resistencia mecánica y en la capacidad de autorreparación.

La investigación tuvo como objetivo determinar el efecto de la incorporación de Bacillus subtilis en la resistencia mecánica y la autorreparación del concreto convencional en el distrito de San Miguel – Puno, 2025. Para ello, se evaluaron tres concentraciones bacterianas: 10^4, 10^6 y 10^8 UFC/mL, comparándolas con una mezcla patrón sin bacteria. Se realizaron ensayos de caracterización de agregados, asentamiento, resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días, y medición del ancho de fisuras a los 28 días de curado.:

La tesis se compone de la siguiente manera:

Capítulo I desarrolla el planteamiento del problema, objetivos, hipótesis y justificación.

Capítulo II presenta los antecedentes y bases teóricas.

Capítulo III describe la metodología.

Capítulo IV expone el análisis y discusión de los resultados obtenidos.

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Exposición de la realidad problemática

1.1.1. A nivel internacional

La construcción informal constituye un fenómeno persistente en diversas ciudades del mundo, especialmente en América Latina, donde el crecimiento urbano acelerado se desarrolla frecuentemente al margen de las regulaciones técnicas y de los estándares mínimos de seguridad estructural. Biderman et al. (2023) destacan que este tipo de expansión urbana se caracteriza por la ausencia de supervisión profesional y la intervención predominante de mano de obra no calificada, lo cual incrementa la vulnerabilidad del parque habitacional ante eventos naturales. Rivera (2020) señala que los procesos constructivos informales dependen de la experiencia empírica de los maestros de obra, quienes deciden la dosificación del concreto mediante apreciación visual, sin aplicar criterios ingenieriles ni control tecnológico. Esta práctica afecta

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

directamente la resistencia y durabilidad del material, generando concretos de baja calidad y alto riesgo estructural. En esa misma línea, Garay y Quispe (2015) advierten que la variabilidad en la mezcla del concreto informal deteriora su desempeño a corto y largo plazo, especialmente en zonas donde predominan sistemas constructivos sin dirección profesional, lo que constituye un serio desafío para la seguridad y habitabilidad urbana.

A nivel internacional, diversos estudios coinciden en que la fisuración del concreto constituye uno de los principales factores que comprometen su durabilidad y desempeño estructural en edificaciones de países emergentes. Según Neville (2011), las microfisuras permiten la penetración de agentes agresivos como dióxido de carbono, cloruros y sulfatos, acelerando los procesos de corrosión interna y debilitando la estructura con el paso del tiempo. Esta situación es especialmente crítica en edificaciones donde no existe control adecuado de la mezcla ni procedimientos de curado apropiados, condiciones frecuentes en la construcción informal. Zhang et al. (2020) señalan que, en contextos urbanos de Asia y América Latina, la variabilidad en la calidad del concreto se ha convertido en una de las causas principales de fallas prematuras, reduciendo significativamente la vida útil del material. Ante esta problemática global, investigaciones recientes subrayan la importancia de desarrollar concretos más resistentes a la fisuración y con capacidad de autorreparación para garantizar la seguridad y sostenibilidad estructural.

De acuerdo con Mehta y Monteiro (2014), la degradación del concreto es un fenómeno inevitable, pero se intensifica cuando la mezcla presenta deficiencias en su dosificación, compactación y curado, aspectos comunes en

zonas donde la construcción se realiza sin control técnico. Wang et al. (2022) señalan que la exposición continua a ciclos de humedad-sequedad, heladas o ambientes agresivos incrementa el riesgo de fisuración y pérdida de resistencia mecánica, comprometiendo la funcionalidad de las estructuras. Este escenario se observa en numerosos países de Europa del Este, Sudeste Asiático y América Latina, donde la infraestructura no cuenta con programas de inspección ni sistemas de rehabilitación adecuados. Por ello, organismos internacionales promueven la adopción de materiales innovadores que reduzcan la dependencia del mantenimiento correctivo, entre ellos el concreto autorreparable mediante bioprecipitación bacteriana.

En las últimas décadas, la comunidad científica internacional ha alertado sobre el impacto económico y ambiental que genera el deterioro prematuro del concreto. Hearn (1998) y posteriores investigaciones como las de Van Tittelboom y De Belie (2013) evidencian que la reparación de estructuras fisuradas representa miles de millones de dólares anuales a nivel mundial, especialmente en países donde abundan edificaciones levantadas con concreto de baja calidad. Este problema se agudiza en zonas con prácticas constructivas informales, en las que la variabilidad de los materiales y la ausencia de supervisión profesional incrementan la probabilidad de defectos estructurales desde las primeras etapas de vida útil. Xu et al. (2021) indican que el deterioro temprano del concreto no solo afecta la estabilidad de la infraestructura, sino que también incrementa la huella de carbono debido a la necesidad constante de reconstrucción o mantenimiento. Frente a este panorama global, diversos estudios plantean que las tecnologías de autorreparación microbiana representan una solución

sostenible, capaz de prolongar significativamente la vida útil del concreto y reducir los costos de intervención.

1.1.2. A nivel nacional

A nivel nacional, la autoconstrucción constituye uno de los principales problemas estructurales del Perú, ya que más del 70% de las viviendas se edifican sin supervisión profesional y bajo criterios empíricos, según reportes de CAPECO (2022). Esta práctica genera edificaciones vulnerables debido a la dosificación inadecuada del concreto, el uso de agregados sin clasificación y la ausencia de procesos de curado estandarizados. Rivera (2020) señala que estas deficiencias provocan un concreto altamente heterogéneo, susceptible a fisuración temprana y pérdida acelerada de resistencia. En regiones como la sierra sur, donde se combinan condiciones de altitud, variabilidad térmica y materiales de baja calidad, estas fallas se intensifican, comprometiendo la durabilidad de columnas, vigas y losas. Mamani y Huarcaya (2018) advierten que más del 50% de las viviendas autoconstruidas presentan daños moderados a pocos años de su construcción, lo que demuestra la necesidad urgente de mejorar la calidad del concreto usado en el país.

Una problemática recurrente en el Perú es la fisuración del concreto debido a procesos constructivos deficientes y a la falta de control tecnológico en obras pequeñas y medianas. Estudios del Instituto Nacional de Calidad (INACAL, 2021) indican que en muchas regiones del país los agregados se utilizan sin cumplir con las especificaciones granulométricas recomendadas por normas internacionales, ocasionando mezclas inestables y vulnerables al deterioro. Según Chávez y Llatas (2019), esta situación se agrava por prácticas

inadecuadas como el exceso de agua en la mezcla, el curado insuficiente y la manipulación empírica de la dosificación, factores que generan microfisuras y reducen la vida útil del material. De acuerdo con García y Ramírez (2020), estas fallas provocan un aumento significativo en los costos de mantenimiento y reparaciones, especialmente en zonas donde las estructuras están expuestas a variaciones térmicas marcadas. Frente a este panorama, los investigadores resaltan la importancia de incorporar tecnologías que permitan mejorar la durabilidad del concreto y mitigar la fisuración, como los sistemas de autorreparación microbiológica.

La Contraloría General de la República (2023) ha identificado múltiples proyectos con fisuración temprana, pérdida de resistencia mecánica y fallas en el recubrimiento, atribuidos a mezclas mal dosificadas y procedimientos constructivos deficientes. Asimismo, SENCICO (2020) informa que gran parte de las fallas detectadas en edificaciones se deben a la ausencia de supervisión técnica y al uso de concretos elaborados con agregados no certificados o contaminados. estudios recientes como los de Huamán y Carpio (2021) evidencian que en zonas altoandinas, la variación brusca de temperatura acelera la aparición de microfisuras y la degradación estructural. Este escenario refuerza la necesidad de investigar alternativas tecnológicas que mejoren el comportamiento del concreto, entre ellas el uso de microorganismos como Bacillus subtilis para la autorreparación de fisuras.

1.1.3. A nivel Local – Regional

En la región de Puno, diversas investigaciones y organismos de control han evidenciado el deterioro prematuro de estructuras construidas con concreto

convencional debido a prácticas constructivas deficientes y al uso de materiales sin control de calidad. La Contraloría General de la República (2023) identificó que en varias obras públicas de la provincia de San Román se presentan fisuras tempranas, pérdida de resistencia mecánica y desprendimiento de recubrimiento, atribuidos a la mala dosificación del concreto y a procesos de curado deficientes. Según Quispe y Humpiri (2021), las variaciones térmicas propias del altiplano, con temperaturas que descienden abruptamente durante la noche, aceleran la aparición de microfisuras y la degradación del concreto, especialmente en viviendas autoconstruidas. Esta situación incrementa la vulnerabilidad de las edificaciones frente a cargas sísmicas y condiciones climáticas adversas, lo que evidencia la necesidad de implementar tecnologías que mejoren la durabilidad y capacidad de recuperación del material.

En el distrito de San Miguel, la calidad del concreto utilizado en obras menores y viviendas familiares presenta una notable variabilidad debido a que gran parte de la construcción se realiza de manera empírica y con agregados provenientes de canteras locales no certificadas. Estudios realizados por el Instituto Vial Provincial de San Román (2022) señalan que los agregados de la zona presentan altos niveles de impurezas y una granulometría inestable, lo que afecta directamente la adherencia, compactación y resistencia final del concreto. Asimismo, Flores y Pari (2020) destacan que los pobladores de San Miguel suelen emplear mezclas improvisadas con proporciones estimadas visualmente, lo que reduce la capacidad del concreto para resistir ciclos térmicos y cargas repetitivas. Como consecuencia, se observan fisuras en losas, columnas y muros

a pocos meses de haber sido construidos, reflejando una problemática que requiere soluciones técnicas innovadoras.

La vulnerabilidad del concreto en San Miguel se intensifica debido a las condiciones ambientales del altiplano puneño, caracterizadas por baja humedad, fuertes heladas y alta radiación solar, factores que aceleran la deshidratación del concreto durante las primeras etapas de fraguado. Huanca y Ticona (2021) indican que estos efectos climáticos reducen la hidratación del cemento, ocasionando fisuración temprana y disminución de la resistencia mecánica del material. Además, investigaciones de la Universidad Nacional del Altiplano señalan que la mayor parte de las edificaciones de San Miguel no cuentan con un adecuado proceso de curado ni con asesoría técnica especializada (UNA, 2020). Esta combinación de factores genera estructuras propensas a degradarse rápidamente, lo que resalta la importancia de evaluar alternativas como la incorporación de Bacillus subtilis, microorganismo capaz de promover la autorreparación de fisuras y mejorar la durabilidad del concreto en climas severos como los de Puno.

1.2. Planteamiento del problema

En el distrito de San Miguel – Puno, las edificaciones presentan fisuración y pérdida de resistencia debido al uso de concreto convencional producido empíricamente y sin control tecnológico apropiado. Sin embargo, no se conoce con claridad si la incorporación de Bacillus subtilis mejora las propiedades mecánicas y la capacidad de autorreparación del concreto sometido a las condiciones ambientales del altiplano puneño. Esto constituye un vacío de conocimiento dentro de la línea de investigación sobre durabilidad de materiales

cementicios, lo cual hace necesario determinar el efecto real de este microorganismo en el concreto utilizado en la zona.

1.2.1. Problema general

¿De qué manera la incorporación de la bacteria Bacillus subtilis influye en la resistencia mecánica y la autorreparación del concreto convencional en el distrito de San Miguel – Puno, 2025?

1.2.2. Problemas específicos

a) ¿Cuáles son las propiedades físicas de los agregados fino y grueso utilizados en la elaboración del concreto convencional en el distrito de San Miguel – Puno, 2025?
b) ¿Cómo varía la resistencia a la compresión del concreto con incorporación de la bacteria Bacillus subtilis en diferentes concentraciones?
c) ¿Cuál es la capacidad de autorreparación del concreto con incorporación de Bacillus subtilis a los 28 días de curado?

1.3. Justificación de la investigación

1.3.1. Justificación teórica

La presente investigación se sustenta teóricamente en la necesidad de comprender el comportamiento del concreto modificado con agentes biológicos, ya que la durabilidad y las propiedades mecánicas del concreto tradicional continúan siendo un desafío en la ingeniería civil. Estudios realizados por Jonkers (2011), De Belie y Van Tittelboom (2013) y Hearn (1998) demuestran que la incorporación de bacterias como Bacillus subtilis promueve la

precipitación de carbonato de calcio, lo que favorece procesos de autorreparación y mejora de la resistencia. No obstante, aún existe un vacío de conocimiento respecto al rendimiento de este tipo de concreto biogénico bajo condiciones climáticas extremas como las del altiplano puneño. Por ello, el estudio contribuye a ampliar la base científica disponible y a contextualizarla en escenarios de altura y baja humedad.

1.3.2. Justificación metodológica

Desde un enfoque metodológico, la investigación aporta al uso de técnicas experimentales avanzadas para la evaluación del concreto autorreparable, incorporando ensayos normalizados como la resistencia a la compresión (ASTM C39) y el análisis del cierre de microfisuras mediante mediciones directas. El diseño experimental permite comparar de manera objetiva el desempeño del concreto convencional frente al concreto modificado con Bacillus subtilis, estableciendo procedimientos replicables y confiables para futuras investigaciones. Esto fortalece el desarrollo de protocolos experimentales en el ámbito del concreto biogénico, una tecnología emergente en el país.

1.3.3. Justificación práctica y social

La investigación tiene relevancia práctica y social debido a que en el distrito de San Miguel – Puno predominan edificaciones construidas con concreto elaborado de forma empírica, muchas veces sin supervisión técnica ni control de calidad. Esto genera fisuración temprana, pérdida de resistencia y deterioro progresivo, lo cual aumenta la vulnerabilidad estructural de las viviendas. Al evaluar el efecto de Bacillus subtilis sobre la resistencia mecánica y la autorreparación, el estudio busca ofrecer una alternativa viable y económica que

reduzca los costos de mantenimiento, mejore la seguridad estructural y prolongue la vida útil de las edificaciones, beneficiando directamente a la población local.

1.3.4. Justificación ambiental

La tecnología de autorreparación bacteriana contribuye a la sostenibilidad ambiental, ya que reduce la necesidad de intervenciones de mantenimiento y evita el sobreconsumo de cemento, un material cuya producción es una de las principales fuentes de emisiones de CO_2. Al favorecer la durabilidad del concreto y disminuir la frecuencia de reparaciones, este tipo de investigación promueve prácticas de construcción más ecoeficientes. El uso de bacterias no patógenas como *Bacillus subtilis* representa una alternativa segura y sostenible alineada a los objetivos ambientales actuales.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Determinar el efecto de la incorporación de la bacteria *Bacillus subtilis* en la resistencia mecánica y la autorreparación del concreto convencional en el distrito de San Miguel – Puno, 2025.

1.4.2. Objetivos específicos

a) Caracterizar las propiedades físicas de los agregados fino y grueso utilizados en la elaboración del concreto convencional en el distrito de San Miguel – Puno, 2025.

b) Comparar la resistencia a la compresión del concreto con incorporación de la bacteria Bacillus subtilis en diferentes concentraciones en el distrito de San Miguel – Puno, 2025.

c) Evaluar la capacidad de autorreparación del concreto con incorporación de Bacillus subtilis a los 28 días de curado en el distrito de San Miguel – Puno, 2025.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

La incorporación de la bacteria Bacillus subtilis influye positivamente en la resistencia mecánica y en la autorreparación del concreto convencional en el distrito de San Miguel – Puno, 2025.}.

1.5.2. Hipótesis específicas

a) Las propiedades físicas de los agregados fino y grueso utilizados son adecuadas para la elaboración de concreto convencional.

b) La incorporación de la bacteria Bacillus subtilis mejora la resistencia a la compresión del concreto convencional en comparación con el concreto patrón.

c) La incorporación de Bacillus subtilis mejora la capacidad de autorreparación del concreto, evidenciada mediante la reducción del ancho de fisuras a los 28 días de curado.

1.6. Variables

1.6.1. Variable independiente

VI: Incorporación de la bacteria Bacillus subtilis.

Tipo de variable: Independiente.

Naturaleza: Cuantitativa discreta.

Unidad de medida: UFC/mL (Unidades Formadoras de Colonias por mililitro).

Descripción / Justificación:

Corresponde a las diferentes concentraciones de *Bacillus subtilis* incorporadas al concreto convencional para evaluar su efecto sobre la resistencia mecánica y la capacidad de autorreparación. Se considera una variable cuantitativa discreta porque se expresa en niveles específicos de concentración (10^4, 10^6 y 10^8 UFC/mL), además de una mezcla control sin incorporación bacteriana.

1.6.2. Variable dependiente

VD1: Resistencia a la compresión del concreto

Tipo de variable: Dependiente.

Naturaleza: Cuantitativa continua.

Unidad de medida: MPa (Megapascales).

Descripción / Justificación:

Es la habilidad que tiene el concreto endurecido para aguantar fuerzas de compresión antes de que se rompa. Se determina a través de la prueba de compresión según la norma ASTM C39, analizada a los 7, 14 y 28 días de curado. Se clasifica como cuantitativa continua porque los resultados corresponden a valores numéricos medibles dentro de un intervalo continuo.

VD2: Capacidad de autorreparación del concreto

Tipo de variable: Dependiente.

Naturaleza: Cuantitativa continua.

Unidad de medida: Porcentaje (%) de autorreparación.

Descripción / Justificación:

Corresponde a la capacidad del concreto para reducir el ancho de las microfisuras mediante la acción de *Bacillus subtilis*, favoreciendo la precipitación biogénica de carbonato de calcio. Se determina comparando el ancho inicial y el ancho final de las fisuras después del período de curado, expresándose como porcentaje de autorreparación. Se considera una variable cuantitativa continua porque deriva de mediciones continuas del ancho de fisuras.

.

1.6.3. Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	ÍNDICE DE MEDIDA	VALORES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN	NIVELES / RANGO	TIPO
Incorporación de *Bacillus subtilis* (VI)	Según Jonkers (2011), las bacterias esporuladas como Bacillus subtilis pueden inducir la precipitación de carbonato de calcio, favoreciendo el sellado de fisuras y la autorreparación del concreto.	Suspensión bacteriana incorporada en la mezcla del concreto convencional en diferentes concentraciones.	Concentración bacteriana	UFC/mL	0, 10^4, 10^6 y 10^8 UFC/mL	Nivel de concentración bacteriana incorporada al concreto	Razón	0 – 10^8 UFC/mL	Cuantitativa discreta
Resistencia a la compresión del concreto (VD1)	Según Neville (2011), la resistencia a la compresión es la capacidad del concreto endurecido para soportar cargas axiales antes de alcanzar la falla.	Se determina mediante el ensayo de compresión en probetas cilíndricas de concreto a los 7, 14 y 28 días de curado.	Resistencia mecánica	MPa	Resultados obtenidos a 7, 14 y 28 días	Resist. prom, a la compresión	Razón	Mayor MPa = mayor resistencia	Cuantitativa continua
Capacidad de autorreparación del concreto (VD2)	Según De Belie y Van Tittelboom (2013), la autorreparación del concreto es la capacidad del material para cerrar fisuras mediante procesos autógenos o biogénicos, recuperando parcialmente su integridad.	Se evalúa mediante la medición del ancho inicial y final de fisuras controladas, determinando el porcentaje de autorreparación a los 28 días.	Autorreparación	mm y %	0 % – 100 %	Ancho inicial de fisura, ancho final de fisura y porcentaje de autorreparación	Razón	0 % = sin reparación / 100 % = reparación completa	Cuantitativa continua

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Mondal et al. (2017) estudiaron la incorporación de dos especies bacterianas, Bacillus cereus y Bacillus subtilis, con el propósito de evaluar su efecto en la resistencia a la compresión de un concreto convencional con una resistencia de diseño de 25 MPa. El estudio fue de nivel explicativo. Para ello, ambas bacterias fueron previamente cultivadas y luego adicionadas a mezclas de concreto en concentraciones de 10^3, 10^5 y 10^7 cells/mL. Se elaboraron cubos de 150 mm × 150 mm × 150 mm que fueron curados en agua durante 28 días conforme a la norma IS 516 (1959). La resistencia a la compresión se evaluó empleando un martillo de rebote en edades de 7 y 28 días. Los resultados mostraron que Bacillus cereus generó incrementos de hasta 20 %, mientras que Bacillus subtilis alcanzó incrementos de hasta 32 % respecto al concreto control.

Los autores destacaron que el aumento de la resistencia dependió directamente de la concentración bacteriana utilizada y del tipo de bacteria incorporada.

Mondal y Ghosh (2018) desarrollaron una investigación de nivel explicativo orientada a determinar la concentración óptima de Bacillus subtilis para mejorar la resistencia a la compresión y la capacidad de autocuración del mortero. La bacteria fue cultivada y luego incorporada en tres concentraciones: 10^3, 10^5 y 10^7 cells/mL. Las mezclas se prepararon con una relación agua–cemento de 0.40 y fueron moldeadas en cubos de 70.6 mm × 70.6 mm × 70.6 mm, los cuales se curaron en agua a 27 °C durante 28 días. Se realizaron ensayos de compresión a los 3, 7 y 28 días, obteniendo incrementos de resistencia de 15 %, 27 % y 19 % respectivamente. Para evaluar la autocuración, se generaron fisuras entre 0.1 mm y 1.2 mm y se monitoreó su cierre durante 28 días. Se observó que las fisuras más grandes fueron selladas por precipitación de carbonato de calcio en la concentración más alta (10^7 cells/mL). Los resultados evidenciaron comportamientos diferenciados entre resistencia mecánica y capacidad de curación.

Nain et al. (2019) evaluaron el efecto de Bacillus subtilis, Bacillus megaterium y un consorcio formado por ambas especies sobre la resistencia a la compresión de un concreto convencional con resistencia de 30 MPa. El estudio fue de nivel explicativo. Las bacterias fueron cultivadas previamente y luego incorporadas a la mezcla de concreto en una concentración uniforme de 10^8 cells/mL. Se elaboraron cubos de 150 mm × 150 mm × 150 mm, los cuales fueron curados en agua durante 28 días de acuerdo con la norma IS 10262-2009. La resistencia a la compresión se evaluó a los 7 y 28 días mediante ensayos

normalizados. Los resultados mostraron incrementos de 14.36 % para las muestras con Bacillus subtilis, 22.58 % para las que contenían Bacillus megaterium y 15.86 % para el consorcio bacteriano. Además, los autores registraron la formación de calcita en el interior del concreto, lo que explicaría el aumento de resistencia debido al relleno de vacíos en la matriz cementicia.

Mokhtar et al. (2021) estudiaron la incorporación de dos especies bacterianas, Bacillus wiedmannii y Bacillus paramycoides, con el propósito de analizar su efecto en la resistencia a la compresión y en la capacidad de reparación de fisuras de un concreto estándar de 23 MPa. El estudio fue de nivel explicativo. Las bacterias fueron aisladas, cultivadas y luego añadidas a mezclas de mortero con una relación agua–cemento de 0.43, elaborándose cubos de 150 mm × 150 mm × 150 mm que fueron curados durante 28 días conforme a los estándares del Egyptian Code of Practice (ECP) y ASTM. La resistencia a la compresión se evaluó a los 3, 7 y 28 días, registrándose incrementos de 46.52 % para Bacillus wiedmannii y 23.91 % para Bacillus paramycoides. Para la evaluación de la reparación de fisuras, se generaron fisuras controladas y se monitoreó su evolución a los 28 y 90 días, observándose precipitación de calcita y cierre completo en ambas bacterias. Los autores indicaron que ambas especies presentaron un efecto biocurativo significativo en el concreto.

Franchis et al. (2021) llevaron a cabo una investigación con el fin de evaluar la influencia de la incorporación de residuos de vidrio médicos triturados y la bacteria Bacillus sphaericus en las propiedades de autocuración y resistencia mecánica del concreto. El estudio fue de nivel explicativo. Se preparó un concreto control de 25 MPa con una dosificación 1:1.28:2.3, elaborándose

mezclas experimentales en las que se reemplazó el 15 % del agregado fino por dichos residuos. Además, se adicionó *Bacillus sphaericus* en concentraciones de 10^3, 10^5, 10^7, 10^9 y 10^{11} cells/mL a cubos de 150 mm × 150 mm × 150 mm, curados durante 28 días. Las resistencias a la compresión se midieron a los 7, 14, 21 y 28 días, obteniéndose incrementos máximos de 35 % en la concentración de 10^7 cells/mL. Asimismo, se evaluó la resistencia a la flexión mediante prismas de 10 cm × 10 cm × 50 cm, registrándose aumentos de hasta 35 %. La capacidad de autocuración se verificó por observación visual, identificándose un cierre casi completo de fisuras a los 21 días.

Shashank et al. (2019) estudiaron la incorporación de *Bacillus sphaericus* y una bacteria no identificada (NI) en un concreto grado M25, con el objetivo de analizar su efecto en la resistencia a la compresión en comparación con un concreto control. El nivel de la investigación fue explicativo. Ambas bacterias fueron cultivadas y adicionadas en concentraciones de 10^6 y 10^7 cells/mL a mezclas de concreto diseñadas conforme a los códigos IS 456-2000 e IS 10262-2009. Las probetas fueron curadas en agua durante 56 días. Las resistencias se evaluaron a los 28 y 56 días, encontrándose incrementos de 13.9 % y 20.5 % para la bacteria NI, y de 7.9 % y 12.64 % para *Bacillus sphaericus* en las concentraciones de 10^6 cells/mL. En la concentración de 10^7 cells/mL, se registraron incrementos moderados a los 28 días y valores superiores a los 56 días. Los resultados mostraron que ambas bacterias contribuyeron a mejorar la resistencia del concreto en función de la concentración utilizada.

2.1.2. Antecedentes internacionales en otro idioma

Reyad and Mokhtar (2023) conducted an explanatory study aimed at enhancing the healing efficiency of bacterial concrete by incorporating Bacillus cereus immobilized in wood ash as a protective carrier medium. The bacterial spores were added at a concentration of 1.3×10^7 spores/cm³ to concrete mixtures cast in 100 mm × 100 mm cubes following ISO 4012 standards. The specimens were cured for 28 days prior to compressive strength testing. The results showed a 24.7% increase in compressive strength compared to the control mixture without bacteria or wood ash. To assess crack healing, the authors prepared mortar beams of 40 × 40 × 160 mm, induced controlled cracking, and monitored healing at 7, 14, and 28 days. Complete recovery of cracks was observed due to calcium carbonate deposition. The study demonstrated that using wood ash as an immobilization technique improves bacterial survival and enhances mechanical performance and healing capacity.

Ahmed et al. (2021) investigated the effects of Bacillus subtilis and Bacillus megaterium on compressive strength and microcrack filling in mortar specimens prepared according to the Egyptian Standard Specifications (ESS). The study employed an explanatory research approach. Both bacterial strains were cultured and incorporated at a cell density of 2×10^9 CFU/mL into mortar mixes with a water–cement ratio of 0.45. Two bacterial concentrations (0.5% and 1% by weight of water) were evaluated. Cubes of 70 mm × 70 mm × 70 mm were cast and cured for up to 180 days. Compressive strength tests performed at 28, 120, and 180 days showed the most significant improvement at 28 days, with a 21.4% increase compared to the control sample. Scanning Electron Microscopy (SEM)

analysis confirmed calcium carbonate precipitation within microcracks, demonstrating the bacteria's mineralization activity. The authors concluded that both strains enhanced the mechanical behavior of mortar through microbial-induced calcite precipitation.

Mahmood et al. (2022) carried out an explanatory study to evaluate the efficiency of Bacillus subtilis immobilized with iron oxide nanoparticles in enhancing compressive strength and crack healing in concrete. Three bacterial concentrations—10^3, 10^6, and 10^9 cells/mL—were incorporated into concrete cubes of 150 mm × 150 mm × 150 mm, following a design strength of 20 MPa. The cubes were cured for 28 days before testing. The results indicated that the mixture containing 10^9 cells/mL achieved the highest increase in compressive strength, reaching 25.9% above the control. Additionally, crack healing performance was assessed, showing that this same concentration could repair cracks up to 1.71 mm in width, while lower concentrations repaired smaller widths of 1.47 mm and 1.34 mm. The findings suggested that the healing and strength improvement were directly linked to bacterial concentration and nanoparticle-enhanced immobilization.

Yamasamit et al. (2023) conducted an explanatory study in Thailand to examine the self-healing performance and compressive strength improvement of mortar incorporating Bacillus subtilis. The bacteria were isolated from local soils, cultured, and introduced into mortar mixtures at a concentration of 10^8 cells/mL. Mortar cubes of 50 mm × 50 mm × 50 mm with a water–cement ratio of 0.50 were cast and cured for 28 days. Compressive strength testing showed that the bio-mortar exhibited a strength of 49.1 MPa compared to 45.1 MPa in the control,

representing an 8.9% improvement. For crack healing evaluation, controlled cracks of 0.3 mm, 0.5 mm, and 1.0 mm were induced using copper plates and periodically treated with bacterial nutrient solutions. After 28 days, healing ratios of 77.78%, 76.67%, and 63.33% were recorded for the respective crack widths. The study demonstrated substantial calcium carbonate precipitation promoting both strength enhancement and crack sealing.

2.1.3. Antecedentes nacionales

Asenjo (2019) desarrolló una investigación explicativa orientada a evaluar la eficacia de diferentes cepas bacterianas en la reparación de fisuras y en la mejora de la resistencia a la compresión del concreto. El autor inició su estudio seleccionando 17 cepas con formación de endosporas, las cuales fueron cultivadas y aplicadas tanto superficialmente como incorporadas en probetas prismáticas de 7.5 × 2.5 × 2.5 cm. Tras identificar las dos cepas con mayor capacidad de precipitación de carbonato de calcio —Paenibacillus lactis y Bacillus firmus—, estas fueron utilizadas para elaborar probetas cilíndricas de 6″ × 12″ bajo una concentración cercana a 3 × 10^8 células/mL. La resistencia a la compresión fue evaluada a los 28 días, encontrándose incrementos del 35.68 % y 14.08 % respectivamente. En cuanto a la reparación de fisuras, se observaron porcentajes de curación entre 68.3 % y 80.6 %, dependiendo del espesor inicial. El estudio confirmó que ambas cepas presentaron un desempeño notable en la bioprecipitación de $CaCO_3$.

Oblitas (2023) realizó un estudio explicativo cuyo objetivo fue analizar la influencia de la incorporación de Bacillus megaterium en diversas propiedades del concreto, incluyendo resistencia a la compresión, permeabilidad,

trabajabilidad, módulo de elasticidad y capacidad de reparación de fisuras. Las bacterias fueron provistas por GenLab Perú y añadidas a probetas cilíndricas en dos concentraciones: 1×10^5 y 1×10^6 células/mL. Las probetas fueron curadas siguiendo la NTP 339.033, con la particularidad de incluir una solución de $Ca(OH)_2$ y urea en el curado del bioconcreto. Se evaluaron resistencias mecánicas a 7, 14, 28, 56 y 84 días, registrándose un incremento del 24.6 % para la concentración menor y del 13 % para la mayor. En la reparación de fisuras se observó que 1×10^5 células/mL permitió recuperar aproximadamente el 50 % de una fisura de 0.40 mm a los 28 días. Los resultados mostraron un comportamiento diferenciado entre ambas concentraciones bacterianas.

Pariona (2021) realizó una investigación explicativa orientada a estudiar la capacidad de autorreparación de fisuras en concreto mediante la adición de Bacillus cohnii DSM 6307, encapsulada en perlita expandida para optimizar su supervivencia. Las bacterias fueron cultivadas en diversos medios nutritivos hasta identificar el más eficiente (MC02), y posteriormente incorporadas a probetas cilíndricas de 10 × 20 cm y discos de 10 × 5 cm, reemplazando el 50 % del agregado fino. Se realizaron ensayos de resistencia a la compresión a los 3, 7, 14, 21 y 28 días, obteniéndose incrementos iniciales de 5.7 % respecto al concreto control. Para la reparación de fisuras, se estudió la evolución de anchos de hasta 0.30 mm, logrando recuperaciones superiores al 80 % a los 28 días. El estudio concluyó que Bacillus cohnii presentó una destacada capacidad de precipitar $CaCO_3$ dentro de la matriz cementicia.

Mendoza y Sánchez (2017) realizaron un estudio explicativo orientado a determinar si la bioreparación mediante soluciones con Bacillus subtilis podía

mantener o recuperar la resistencia a la compresión en concretos fisurados de 210 kg/cm². Para ello se prepararon dos soluciones bioreparadoras: A (silicato de sodio, gluconato de sodio, extracto de levadura y bacterias a 1.6×10^8 esporas/L) y B (lactato de calcio o nitrato de calcio más la misma concentración bacteriana). Las probetas cilíndricas de 10 × 20 cm se fisuraron y posteriormente se sometieron a curado en agua o mediante inyección variable de las soluciones. Las resistencias evaluadas a los 7, 14, 21 y 28 días no superaron la del concreto control, pero mostraron mejoras respecto al concreto fisurado no tratado. En cuanto al cierre de fisuras, únicamente se observaron depósitos de $CaCO_3$ en condiciones específicas a los 21 días. El estudio mostró resultados mixtos en resistencia y curación.

Quevedo y Sánchez (2021) llevaron a cabo una investigación explicativa para evaluar el efecto de Bacillus subtilis en la resistencia a la compresión y flexión de concretos de 210 kg/cm². Las bacterias fueron adquiridas como suspensión concentrada (≥ 2.5×10^9 UFC/mL) y añadidas a probetas cilíndricas de 0.15 × 0.30 m y prismáticas de 0.50 × 0.15 × 0.15 m en proporciones de 0.5 %, 0.75 % y 1.0 % del volumen de agua. Se realizaron ensayos a los 7, 14 y 28 días. Las resistencias a compresión variaron entre 215.63 kg/cm² (control) y 232.17 kg/cm² para la mezcla con 0.75 %, mientras que la resistencia a flexión alcanzó un máximo de 41.20 kg/cm². Los autores registraron que la dosificación de 0.75 % obtuvo los valores más altos en ambas propiedades evaluadas.

Santos (2021) elaboró un estudio explicativo con el objetivo de analizar la influencia de Bacillus subtilis en la resistencia a la compresión y la reparación de fisuras en concretos de 210 kg/cm². La bacteria fue obtenida en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos y adicionada en una concentración de 10^9

cells/mL a probetas cilíndricas de 10 × 20 cm preparadas según ACI 211. Las probetas fueron curadas durante 28 días. Las resistencias evaluadas a 7, 14, 21 y 28 días fueron inferiores a las del concreto control, con diferencias que variaron entre 4 % y 25 %. Para la evaluación de la reparación, se indujeron fisuras de 1.00 mm y se monitoreó su evolución durante 140 días, reduciéndose su ancho hasta 0.03 mm. El estudio señaló que el uso de cloro en el proceso de curado pudo haber afectado la actividad bacteriana.

2.1.4. Antecedentes locales

Huanca (2018) realizó un estudio en la Universidad Nacional del Altiplano orientado a evaluar el comportamiento mecánico del concreto en condiciones climáticas propias del altiplano puneño, caracterizado por temperaturas bajas, alta radiación solar y variaciones térmicas significativas entre el día y la noche. La investigación tuvo un enfoque explicativo. Para ello se prepararon mezclas de concreto de 210 kg/cm² y se expusieron a condiciones ambientales naturales de Puno durante su proceso de curado. Se evaluó la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días, evidenciándose una reducción significativa respecto a valores obtenidos en zonas de clima templado. El estudio concluyó que las bajas temperaturas y la fuerte evaporación superficial aceleran la fisuración temprana y afectan negativamente el desarrollo de la resistencia, reflejando la necesidad de tecnologías que mejoren la durabilidad en la región.

Condori (2019) desarrolló un estudio explicativo en la provincia de San Román, Juliaca, con el objetivo de identificar y clasificar las principales patologías del concreto presentes en edificaciones de vivienda y obras públicas. Para ello se realizó un registro detallado de fisuras, desprendimientos,

eflorescencias, fallas por curado deficiente y pérdida de recubrimiento en diferentes zonas de la ciudad. Se utilizaron fichas técnicas de inspección estructural y se analizaron más de 50 edificaciones ubicadas en zonas urbanas y periurbanas. Los resultados mostraron que las fisuras por contracción plástica y térmica son las patologías más frecuentes debido a la exposición del concreto a fuertes variaciones térmicas, baja humedad relativa y malas prácticas constructivas. El estudio evidenció que la durabilidad del concreto en Juliaca se ve comprometida por las condiciones ambientales del altiplano.

Zela (2020) investigó la influencia de las variaciones térmicas propias de Puno en la resistencia del concreto convencional usado en viviendas autoconstruidas. El estudio contempló la elaboración de mezclas de concreto con resistencia de 210 kg/cm², sometidas a ciclos térmicos entre 0 °C y 22 °C durante los primeros 14 días de curado, simulando las condiciones diarias de temperatura en Puno. Las probetas fueron ensayadas a compresión a los 7, 14, 21 y 28 días. Los resultados evidenciaron una disminución de hasta 18 % en la resistencia a 28 días respecto a probetas curadas en condiciones controladas, además de presentar microfisuras superficiales asociadas a la retracción térmica. El estudio concluyó que las condiciones altiplánicas influyen negativamente en el desempeño mecánico del concreto.

Apaza (2021) llevó a cabo un estudio orientado a caracterizar la fisuración temprana en losas de concreto ejecutadas en Juliaca, analizando los efectos de la temperatura ambiente, viento y evaporación sobre la superficie durante el fraguado. Se monitorearon 12 obras en diferentes zonas de la ciudad y se efectuaron mediciones de anchos de fisura mediante galgas de precisión. Los

resultados mostraron que las fisuras aparecían durante las primeras 24 horas, con anchos promedio entre 0.15 mm y 0.40 mm, relacionadas principalmente con la pérdida acelerada de humedad debido a la baja humedad relativa y fuerte radiación solar. El estudio sugirió que la fisuración superficial es una patología recurrente en la región y afecta directamente la durabilidad del concreto.

La Contraloría General de la República (2023) presentó diversos informes de control sobre obras públicas ejecutadas en Puno, donde se evidenciaron deterioros prematuros en elementos de concreto tales como columnas, muros, losas y veredas. En los informes se registraron patologías como fisuración, desprendimiento de recubrimiento, baja resistencia a compresión y fallas por curado deficiente. Las inspecciones realizadas en proyectos de San Román, San Miguel y Puno mostraron que la mayoría de las fallas se asocian a mezclas mal dosificadas, ausencia de supervisión técnica y exposición del concreto a temperaturas bajas durante el fraguado. Estos hallazgos confirman la vulnerabilidad del concreto en obras ejecutadas bajo las condiciones ambientales propias del altiplano.

Mamani (2022) investigó la resistencia a compresión del concreto producido en obra en viviendas autoconstruidas del distrito de Azángaro. El estudio consistió en el muestreo directo de probetas extraídas de elementos estructurales existentes y su posterior ensayo en laboratorio. Los resultados indicaron que el 64 % de las muestras no alcanzaban la resistencia mínima de diseño, presentando además microfisuras internas visibles en cortes transversales. La principal causa identificada fue la elaboración empírica del concreto combinada con las bajas temperaturas nocturnas que caracterizan a la

región. La investigación permitió concluir que el concreto utilizado en obras informales de la zona no presenta un desempeño adecuado en términos de resistencia y durabilidad.

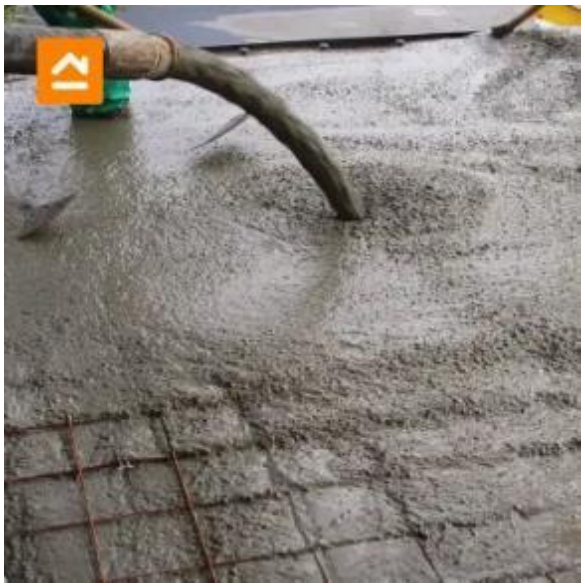
2.2. Teórico referencial

2.2.1. Concreto: concepto y composición

El concreto es un material compuesto muy utilizado en la ingeniería civil por su capacidad de soportar cargas de compresión, su versatilidad y la facilidad para obtener sus materias primas. Según Mehta & Monteiro (2014), se trata de una mezcla uniforme de cemento, agua, agregados finos y gruesos, y en ocasiones aditivos químicos o minerales que modifican sus propiedades tanto en estado fresco como endurecido. El comportamiento estructural del concreto depende principalmente de la hidratación del cemento, un proceso en el que los compuestos anhidros reaccionan con el agua para formar productos como el gel C–S–H (silicato cálcico hidratado), que es el principal responsable de la cohesión y resistencia mecánica del material.

Figura 1

Concreto normal



Nota. Promart.pe (2026)

Desde el punto de vista microestructural, el concreto presenta una matriz cementicia endurecida que envuelve a los agregados, generando una interfaz denominada zona de transición interfacial (ITZ). Esta zona suele ser más porosa y constituye el punto débil del material, determinando su permeabilidad, durabilidad y resistencia a fisuración. La calidad del concreto depende de la proporción entre agua y cemento (relación a/c), la granulometría de los agregados, el procedimiento de mezclado, la compactación y las condiciones de curado. En regiones de condiciones extremas, como el altiplano puneño, estas variables adquieren una sensibilidad mayor debido a la evaporación acelerada y las bajas temperaturas durante el fraguado (Mehta & Monteiro, 2006; Springer Nature, 2025).

A continuación, se presenta una tabla con los componentes del concreto y su función dentro de la mezcla:

Tabla 2

Componentes del concreto y su función

Componentes del concreto			
Componente	**Descripción**	**Función principal**	**Referencia**
Cemento Portland	Material hidráulico compuesto por silicatos y aluminatos de calcio.	Inicia la hidratación y forma el gel C–S–H responsable de la resistencia.	ASTM C150 (2020)
Agua	Sustancia que permite la hidratación y la trabajabilidad de la mezcla.	Activa las reacciones químicas y determina la relación a/c.	Mehta & Monteiro (2014)
Agregado fino	Arena natural o arena triturada menor a 4.75 mm.	Contribuye a la estabilidad dimensional y reducción de vacíos.	NTP 400.037 (2013)
Agregado grueso	Piedra triturada o grava mayor a 4.75 mm.	Aporta resistencia y rigidez al concreto endurecido.	NTP 400.012 (2013)
Aditivos químicos	Plastificantes, acelerantes, retardantes, inclusores de aire, entre otros.	Modifican la trabajabilidad, tiempo de fraguado o durabilidad.	ASTM C494 (2019)
Aditivos minerales	Cenizas volantes, escoria, humo de sílice.	Mejoran la resistencia y reducen la permeabilidad.	Aïtcin (2015)

Nota. La selección y control de los componentes del concreto deben cumplir con normas técnicas nacionales (NTP) o estándares internacionales (ASTM), ya que el desempeño final del material depende directamente de la calidad de sus constituyentes, del proceso de mezclado y del curado adecuado (Neville, 2011; Mehta & Monteiro, 2014).

2.2.2. Propiedades mecánicas del concreto

2.2.2.1. Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión es la propiedad mecánica más relevante del concreto, ya que define su capacidad para soportar cargas axiales hasta el punto de ruptura. Se entiende como el máximo esfuerzo que el material puede soportar por unidad de área bajo una carga de compresión controlada. De acuerdo con Acuña y Rojas (2022), este ensayo aplica fuerzas de compresión de forma progresiva hasta que la probeta alcanza su resistencia máxima, lo que permite medir la capacidad estructural del material y comparar distintos diseños de mezcla. Este método es ampliamente reconocido y estandarizado a nivel internacional por su fiabilidad al caracterizar concretos tanto convencionales como modificados.

Figura 2

Resistencia a la compresión del concreto



Nota. Aceros Arequipa (2023)

La resistencia a la compresión está influida por diversos factores, como la calidad del cemento, la relación agua–cemento, la compactación, las

características de los agregados y las condiciones de curado. En la práctica, este parámetro es fundamental en el diseño estructural, ya que la mayoría de los elementos en edificaciones—como columnas, zapatas, muros y losas—trabajan principalmente a compresión (ACI Committee 308, 2016).

El ensayo se realiza normalmente en probetas cilíndricas o cúbicas, sometidas a una carga axial creciente hasta provocar su falla. Las normas ASTM C39 (2020) y NTP 339.034 especifican los procedimientos para la preparación, curado y ensayo de estas probetas. La resistencia obtenida se expresa en megapascales (MPa) o kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm²), según ASTM International (2021).

Figura 3

Tipo y forma de probetas cilíndricas



Nota. Farro, A (2023)

La resistencia a la compresión se determina utilizando la siguiente fórmula:

$$F'c=Pmax/A$$

Donde:

- f'c = resistencia a la compresión del concreto.
- *P* es la carga máxima y
- *A* el área de la sección.

Durante el ensayo pueden observarse distintos modos de falla, como falla en cono, cizallamiento diagonal, fisuración vertical, aplastamiento del núcleo o fallas bruscas en concretos de mayor resistencia. La identificación del tipo de fractura permite verificar la uniformidad del espécimen y advertir posibles deficiencias asociadas al curado, compactación, alineamiento de la probeta o preparación de sus extremos.

2.2.3. Factores que afectan la resistencia del concreto

La resistencia del concreto no se determina únicamente por la cantidad de cemento utilizada en la mezcla. Su desarrollo depende de varios factores relacionados con los materiales, el diseño de la mezcla, el proceso de fabricación y las condiciones de curado. Entre los factores más relevantes se encuentran la relación agua–cemento, la calidad y granulometría de los agregados, la compactación, la edad del concreto y el propio curado. Todos estos influyen en la porosidad interna, la adherencia entre la pasta y el agregado, y la continuidad de la hidratación del cemento, lo que repercute directamente en la resistencia final del material (Mehta & Monteiro, 2006; Neville, 2011).

2.2.3.1. Relación agua–cemento

La relación agua–cemento, conocida como relación a/c, representa la proporción entre el agua de mezclado y el cemento presente en el concreto. Una relación a/c menor, siempre que permita una trabajabilidad adecuada, favorece

la formación de una matriz cementicia más densa y resistente. Cuando se incorpora agua en exceso, parte de esta no participa en la hidratación y, al evaporarse, deja vacíos capilares que reducen la resistencia y aumentan la permeabilidad del concreto Abrams (1918).

Figura 4

Relación A/C



Nota. UCEM (2023).

Este factor es considerado uno de los más influyentes en el desempeño mecánico del concreto, debido a su relación directa con la porosidad de la pasta cementicia. Un concreto con menor porosidad interna presenta mayor capacidad para resistir esfuerzos de compresión y menor facilidad para el ingreso de agentes externos Kosmatka y Wilson (2016).

2.2.3.2. Calidad y granulometría de los agregados

Dado que los agregados representan una proporción considerable del volumen total del concreto, sus propiedades afectan directamente la resistencia,

la trabajabilidad y la durabilidad de la mezcla. Una granulometría adecuada permite un mejor acomodo de partículas, reduce vacíos y contribuye a una matriz más compacta. Por el contrario, agregados débiles, porosos, contaminados o mal gradados pueden afectar la adherencia con la pasta cementicia y disminuir el desempeño mecánico Alexander y Mindess (2005).

Figura 5

Calidad granulométrica.



Nota. Alexander y Mindess (2005).

La forma, textura superficial, absorción, limpieza y resistencia propia de los agregados también intervienen en la calidad final del concreto. En mezclas convencionales, el uso de agregados bien seleccionados favorece la compactación y reduce la necesidad de agua adicional, lo que mejora la relación entre trabajabilidad y resistencia (ASTM International, 2023).

2.2.3.3. Compactación

La compactación tiene como finalidad eliminar el aire atrapado dentro de la mezcla fresca. Cuando el concreto no se compacta correctamente, se forman vacíos internos que reducen la sección efectiva resistente y aumentan la permeabilidad. Esta condición puede generar resultados menores de resistencia, aun cuando el diseño de mezcla haya sido adecuado, ACI Committee 309 (2005).

Figura 6

Compactación del concreto



Nota. Enargroup (2026).

Una compactación deficiente también puede favorecer la segregación, la formación de cangrejeras y la falta de adherencia entre la pasta y los agregados. Por ello, tanto en obra como en laboratorio, la consolidación de las probetas debe

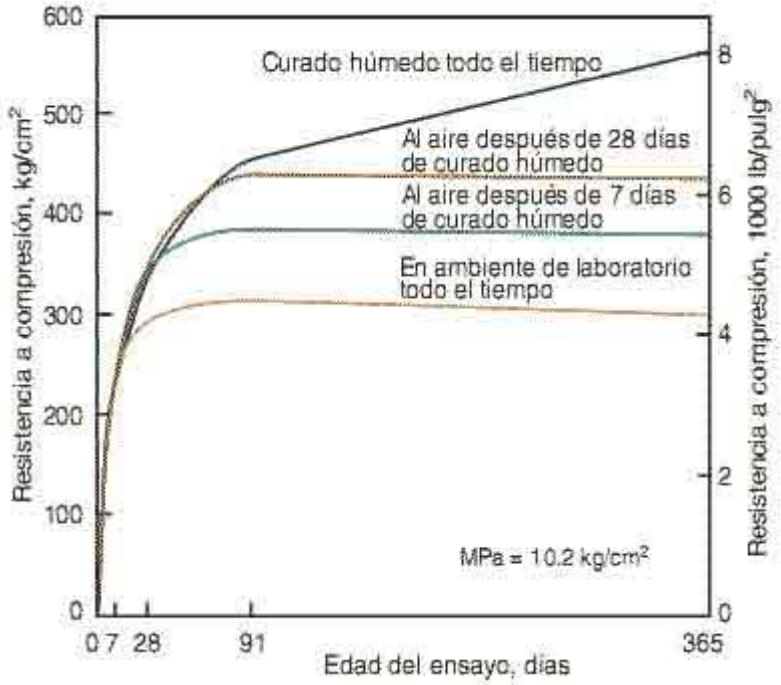
realizarse de manera uniforme para obtener resultados confiables en los ensayos de resistencia (ASTM International, 2022).

2.2.3.4. Edad del concreto

La resistencia del concreto aumenta progresivamente con la edad, debido a que la hidratación del cemento continúa después del fraguado inicial. En edades tempranas, como 3 o 7 días, el concreto desarrolla una parte importante de su resistencia, aunque todavía no alcanza necesariamente el valor especificado en el diseño. Taylor (1997) explica que la hidratación del cemento Portland es un proceso progresivo en el cual se forman productos hidratados, principalmente silicato cálcico hidratado, que densifican la pasta y contribuyen al incremento de resistencia.

Figura 7

Edades del concreto



Nota. Taylor (1997)

El crecimiento de resistencia puede continuar después de los 28 días, especialmente cuando existen condiciones adecuadas de humedad y temperatura. En algunos casos, los ensayos a 56 o 90 días permiten observar el desarrollo posterior de resistencia, sobre todo en concretos con adiciones minerales, cementos de hidratación más lenta o sistemas modificados Kosmatka y Wilson (2016).

2.2.3.5. El curado

El curado es una fase esencial en el proceso de desarrollo de la resistencia del concreto, ya que garantiza la conservación de la humedad necesaria para la continua hidratación del cemento. Si esta condición no se cumple adecuadamente, el concreto pierde agua en sus primeras etapas y la reacción entre el cemento y el agua se ve restringida. Como resultado, la matriz cementicia puede presentar mayor porosidad, menor resistencia y mayor tendencia a la fisuración. El American Concrete Institute señala que el curado tiene como finalidad mantener condiciones favorables de humedad y temperatura para que el concreto desarrolle sus propiedades esperadas (ACI Committee 308, 2016). Asimismo, la Portland Cement Association indica que la hidratación continúa durante el curado y que el concreto alcanza mejores niveles de resistencia y durabilidad cuando se mantiene húmedo durante sus primeras edades (Portland Cement Association, s. f.).

El curado es una fase esencial en el proceso de desarrollo de la resistencia del concreto, ya que garantiza la conservación de la humedad necesaria para la continua hidratación del cemento. Si esta condición no se cumple adecuadamente, el concreto pierde agua en sus primeras etapas y la

reacción entre el cemento y el agua se ve restringida. La formación de este compuesto depende directamente de la disponibilidad de agua. Por ello, un concreto que no recibe un curado apropiado difícilmente alcanzará la resistencia esperada en el diseño de mezcla. El C-S-H es reconocido como el principal producto de hidratación responsable de la estructura resistente de la pasta cementicia, debido a su papel en la unión interna del material y en el desarrollo de su integridad mecánica (Maruyama et al., 2025). En esa misma línea, la literatura técnica sobre tecnología del concreto sostiene que la hidratación progresiva reduce la porosidad de la pasta y mejora la resistencia cuando existen condiciones adecuadas de humedad (Neville, 2011).

Figura 8

El curado del concreto



Nota. Ingenieriayconstruccioncolombia.com. (2026).

2.2.4. Fisuración en el concreto

La fisuración en el concreto se entiende como la aparición de discontinuidades o aberturas en la matriz cementicia, originadas cuando los esfuerzos internos o externos superan la capacidad resistente del material. Estas fisuras pueden presentarse en estado fresco o endurecido, y su aparición puede estar relacionada con cambios volumétricos, retracción, asentamiento plástico, variaciones térmicas, cargas estructurales, corrosión del acero de refuerzo o reacciones químicas internas. Aunque no toda fisura representa una falla estructural inmediata, su presencia puede afectar la durabilidad del concreto al facilitar el ingreso de agua, dióxido de carbono, cloruros, sulfatos y otros agentes agresivos (ACI Committee 224, 2007).

2.2.4.1. Tipos de fisuras

La clasificación de las fisuras puede realizarse según su origen, geometría, etapa de formación o mecanismo dominante. La literatura técnica reconoce los siguientes tipos principales:

A. Según el momento en que aparecen

- **Fisuras tempranas**

Aparecen durante el fraguado y primeras 24 horas.

Fisuras por contracción plástica: causadas por la evaporación rápida del agua superficial.

Fisuras por asentamiento plástico: debido a la segregación y asentamiento del hormigón fresco.

Fisuras térmicas iniciales: originadas por diferencias de temperatura en grandes masas de concreto.

- **Fisuras tardías**

Se presentan después del endurecimiento.

- **Fisuras por retracción por secado:** debido a pérdida gradual de humedad.
- **Fisuras por cargas:** incluyendo flexión, compresión y corte.
- **Fisuras por corrosión de armaduras:** expansión del óxido sobre el acero.
- **Fisuras por ataque químico:** sulfatos, cloruros, reacciones internas.

B. Según su mecanismo de formación

- **Fisuras estructurales**

Relacionadas con cargas aplicadas y esfuerzos que superan la capacidad resistente.

Se observan en vigas, losas y columnas.

Fisuras no estructurales

Debidas a cambios volumétricos, retracción, asentamiento o efectos térmicos.

No necesariamente comprometen la capacidad portante inicial.

C. Según su orientación

- **Verticales:** típicas en columnas y muros por compresión o flexión.

- **Horizontales:** asociadas a corrosión del refuerzo.
- **Diagonalizadas:** típicas de esfuerzos cortantes.
- **Mapeo (craquelado):** generadas por retracción o reacciones expansivas.

2.2.4.2. Causas físicas, químicas y ambientales

Las fisuras pueden originarse por múltiples mecanismos que interactúan entre sí. A continuación, se organizan según su naturaleza:

A. Causas físicas

- **Retracción plástica:** ocurren cuando la evaporación superficial excede la exudación del concreto.
- **Retracción por secado:** causada por pérdida gradual de agua en ambientes secos.
- **Variaciones térmicas:** cambios rápidos de temperatura generan esfuerzos internos.
- **Asentamiento del concreto fresco:** produce fisuras sobre armaduras o zonas rígidas.
- **Impactos o vibración excesiva:** generan segregación y vacíos.

B. Causas químicas

- **Ataque por sulfatos:** expansión debido a formación de etringita.
- **Reacción álcali–sílice (ASR):** genera gel expansivo que provoca fisuras en forma de mapa.

- **Corrosión de armaduras:** expansión del óxido causa desprendimiento del recubrimiento.
- **Carbonatación:** disminuye el pH y expone el acero a corrosión.

C. Causas ambientales

Particularmente relevantes en Puno y zonas altoandinas.

- **Bajas temperaturas:** desaceleran la hidratación, generan microfisuras por congelamiento local.
- **Alta radiación solar:** acelera evaporación superficial y fisuración plástica.
- **Altas variaciones térmicas día–noche:** promueven retracción diferencial.
- **Vientos intensos:** aumentan pérdida de humedad superficial en losas y pavimentos.
- **Baja humedad relativa:** favorece secado brusco.

2.2.4.3. Efectos de la fisuración en la durabilidad

Las fisuras actúan como puertas de entrada para agentes agresivos y afectan directamente la vida útil del concreto. Sus principales efectos son:

A. Aumento de la permeabilidad

- Permite ingreso de agua y aire.
- Genera mayor porosidad en la zona afectada.

B. Corrosión de armaduras

- Las fisuras aceleran la llegada de cloruros y CO_2.
- Corrosión → expansión → desprendimiento de recubrimiento.

C. Reducción de la capacidad mecánica

- Pérdida de rigidez y módulo de elasticidad.
- Disminución de la resistencia efectiva en servicio.

D. Desarrollo de patologías secundarias

- Eflorescencias.
- Desprendimiento superficial.
- Formación de microfisuras adicionales.

E. Impacto en la durabilidad global

- Reduce la vida útil de la estructura.
- Aumenta los costos de mantenimiento y reparación.
- Compromete la seguridad estructural en elementos críticos.

2.2.5. Microbiología aplicada al concreto

La microbiología aplicada al concreto estudia el uso de microorganismos capaces de sobrevivir en ambientes altamente alcalinos y que presentan actividad metabólica útil para mejorar la durabilidad del material. Los microorganismos más utilizados pertenecen al género Bacillus debido a su capacidad para formar endosporas, resistir condiciones extremas y generar carbonato de calcio mediante diferentes rutas metabólicas, lo que permite

reparar microfisuras y reducir la permeabilidad de la matriz cementicia (Jonkers, 2011).

2.2.5.1. Bacterias alcalófilas

Las bacterias alcalófilas pueden prosperar en ambientes con pH superior a 9. Estas especies toleran el ambiente cementicio debido a su membrana celular reforzada y a la formación de esporas. Destacan Bacillus subtilis, Bacillus sphaericus, Bacillus megaterium y Bacillus cohnii, todas reportadas en estudios internacionales de autocuración del concreto. Su capacidad de metabolizar urea o lactato en condiciones alcalinas es clave para la precipitación de $CaCO_3$.

2.2.5.2. Formación de endosporas

Las endosporas son estructuras de resistencia que permiten a las bacterias sobrevivir a condiciones adversas como deshidratación, radiación ultravioleta, alta alcalinidad o falta de nutrientes. En concreto, las bacterias permanecen inactivas hasta que una fisura permite el ingreso de agua y nutrientes, momento en el cual germinan y reactivan su metabolismo. Esta capacidad es fundamental para garantizar la longevidad de las bacterias en el material cementicio (Claus & Berkeley, 1986).

2.2.5.3. Tolerancia a condiciones extremas

Las bacterias utilizadas en concreto deben tolerar:

- pH entre 10 y 13
- Presión mecánica en el mezclado
- Temperaturas entre 5 °C y 40 °C

- Deshidratación prolongada
- Altas concentraciones de sales

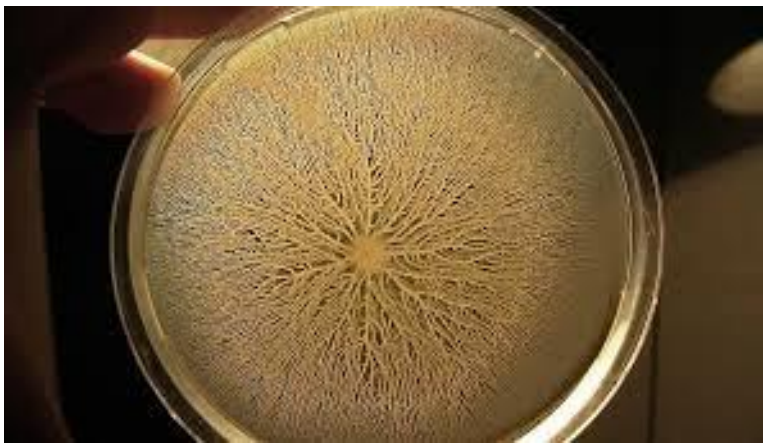
Las especies del género Bacillus cumplen estos criterios y son consideradas las más efectivas para procesos de autocuración biogénica.

2.2.6. Bacillus subtilis

Bacillus subtilis es una bacteria Gram-positiva, aerobia y formadora de endosporas. Es una de las especies más utilizadas en concreto autorreparable debido a su elevada tolerancia a ambientes alcalinos y a su capacidad para inducir la precipitación de carbonato de calcio.

Figura 9

Bacteria Basillus subtillis



*Nota.*Tsang, J. (2019).

2.2.6.1. Características generales

- Bacteria formadora de endosporas elipsoidales.
- Tolerancia al pH del concreto (≈ 12–13).
- Crecimiento óptimo entre 30–37 °C.

- Común en suelos y ambientes naturales.
- Resistencia a desecación y altas temperaturas.

2.2.6.2. Metabolismo relacionado con la precipitación de $CaCO_3$

Bacillus subtilis puede generar carbonato de calcio mediante:

- **Ruta no ureolítica:** oxidación del lactato para generar CO_2, carbonato y aumentar el pH.
- **Ruta ureolítica (en medios suplementados):** descomposición de urea liberando iones carbonato.

Ambas rutas permiten la nucleación de cristales de $CaCO_3$ sobre la envoltura celular.

2.2.6.3. Supervivencia en ambientes cementicios

La bacteria sobrevive gracias a:

- Formación de endosporas resistentes.
- Encapsulación (silica gel, perlita, arcillas).
- Nichos de poros protegidos en la matriz cementicia.

Esto le permite permanecer viable durante años hasta activarse por la humedad.

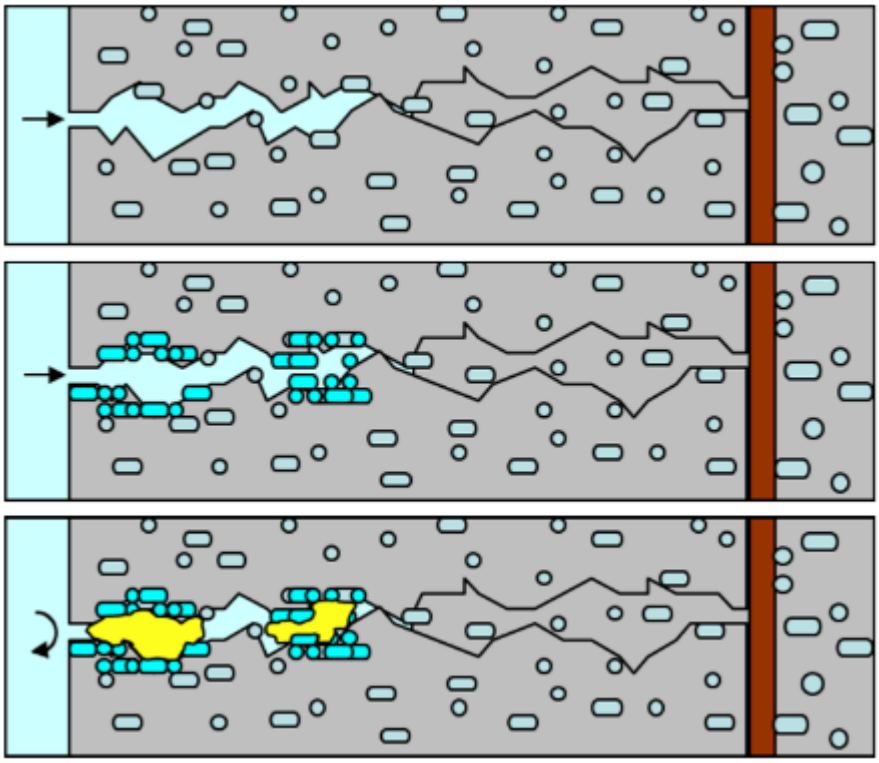
2.2.7. Concreto bacteriano (Self-Healing Concrete)

El concreto bacteriano es un material diseñado para reparar sus propias fisuras mediante la actividad metabólica de microorganismos capaces de precipitar carbonato de calcio dentro de la matriz cementicia. Esta tecnología fue

desarrollada a partir de los estudios pioneros de Jonkers et. all 2000, quienes demostraron que ciertas bacterias del género *Bacillus* podían sobrevivir en el ambiente alcalino del concreto y activar mecanismos de curación cuando el agua ingresaba a una fisura. El concepto evolucionó desde la simple incorporación directa de bacterias hacia sistemas más sofisticados basados en encapsulación mineral, portadores porosos y microorganismos inmovilizados en matrices protectoras, permitiendo mejorar la durabilidad y eficiencia de la autocuración.

Figura 10

Self-Healing Concrete



Nota. Jialei Wang et. All (2025)

2.2.7.1. Concepto y evolución tecnológica

La tecnología ha pasado por varias etapas:

- **Etapa inicial (2000–2010):** Se incorporaron bacterias y nutrientes directamente en la mezcla de concreto. Esta fase permitió demostrar la viabilidad biológica, aunque con limitaciones de supervivencia y activación.
- **Etapa de desarrollo (2010–2020):** Se introdujeron portadores minerales como perlita, arcilla expandida, sílice gel y agregados livianos, aumentando la supervivencia bacteriana durante el mezclado. Además, se desarrollaron protocolos de encapsulación para proteger a las esporas del pH inicial del cemento.
- **Etapa contemporánea (2020–2024):** Se exploran portadores inteligentes, nanopartículas funcionalizadas, cultivos bacterianos inmovilizados y combinaciones con materiales reciclados, mejorando la eficiencia de curación y reduciendo costos.

2.2.7.2. Mecanismos de autocuración

La autocuración del concreto bacteriano ocurre cuando una fisura permite la entrada de humedad, lo que activa las esporas presentes en el material. Una vez germinadas, las bacterias metabolizan nutrientes disponibles y generan iones carbonato que reaccionan con el calcio libre en la matriz cementicia para formar cristales de carbonato de calcio ($CaCO_3$). Estos cristales se depositan dentro de la fisura, reduciendo su ancho, disminuyendo la permeabilidad y densificando la microestructura. La precipitación biogénica de $CaCO_3$ es el mecanismo más relevante y se integra con procesos naturales de autocuración del concreto como la rehidratación del cemento.

2.2.7.3. Técnicas de incorporación de bacterias

Las bacterias pueden integrarse al concreto mediante métodos que aseguran su viabilidad hasta el momento en que deben activarse:

- Incorporación directa en suspensión o polvo liofilizado.
- Inclusión en agregados porosos impregnados con bacterias y nutrientes.
- Encapsulación en portadores minerales (perlita, arcilla, sílice gel).
- Microencapsulación en polímeros biodegradables o microcápsulas.

Cada técnica busca mantener las esporas protegidas del pH inicial (≈ 12–13) y del calor generado durante la hidratación.

2.2.7.4. Encapsulación y portadores minerales

La encapsulación permite proteger a las bacterias del ambiente agresivo del concreto fresco y prolongar su viabilidad. Los portadores incluyen:

- **Perlita expandida** y **arcilla expandida**, que ofrecen estructuras porosas capaces de retener bacterias y nutrientes.
- **Sílice gel** y **pumicita**, que actúan como matrices protectoras de liberación lenta.
- **Cáscaras de vidrio poroso** y subproductos reciclados, que mejoran la sostenibilidad del sistema.

El tipo de portador influye directamente en la eficiencia con la que la bacteria se activa dentro de la fisura.

2.2.7.5. Limitaciones técnicas y desafíos

A pesar de su potencial, el concreto bacteriano enfrenta retos:

- Reducción de trabajabilidad cuando se incorporan portadores o altas concentraciones bacterianas.
- Costos elevados comparados con el concreto convencional.
- Riesgo de incompatibilidad entre nutrientes y el cemento.
- Dificultad para mantener viabilidad bacteriana a largo plazo.
- Determinación de la concentración bacteriana óptima, que si se excede puede debilitar la mezcla.

2.2.8. Mecanismo de bioprecipitación de carbonato de calcio (MICP)

El MICP (*Microbially Induced Calcium Carbonate Precipitation*) es el proceso mediante el cual los microorganismos generan carbonato de calcio en la matriz cementicia. Esta precipitación ocurre cuando las bacterias, al metabolizar sustratos orgánicos o inorgánicos, producen iones carbonato que se combinan con calcio para formar $CaCO_3$. El mineral resultante actúa como un agente de sellado, reduciendo porosidad y permeabilidad.

2.2.8.1. Ruta ureolítica

En esta ruta, la urea es hidrolizada por la enzima ureasa produciendo amonio y carbonato:

$$CO(NH_2)_2 + 2H_2O \rightarrow 2NH_4^+ + CO_3^{2-}$$

Es una ruta eficiente pero puede generar compuestos secundarios que elevan el pH y la concentración de amonio, por lo que no siempre es la ideal para aplicaciones sostenibles.

2.2.8.2. Ruta no ureolítica

Aquí las bacterias utilizan fuentes orgánicas como lactato de calcio:

$$Lactato \rightarrow CO2 \rightarrow CO32$$

Esta ruta es más ecológica y compatible con *Bacillus subtilis*, permitiendo formar carbonatos sin generar compuestos tóxicos.

2.2.8.3. Factores que regulan la precipitación

- Concentración de bacterias viables
- Disponibilidad de calcio (Ca^{2+})
- pH y alcalinidad del medio
- Humedad y tiempo de exposición
- Temperatura
- Tipo de portador o encapsulante

Estos factores determinan la cantidad, forma y distribución del $CaCO_3$ precipitado.

2.2.8.4. Efectos en la microestructura del concreto

- Relleno de microfisuras

- Reducción de porosidad capilar
- Disminución de permeabilidad
- Mayor densificación de la matriz
- Incremento de resistencia y rigidez

2.2.9. Autorreparación del concreto

La autorreparación es la capacidad del concreto para recuperar parcialmente sus propiedades mediante el cierre natural o inducido de fisuras. En concreto bacteriano, la reparación ocurre gracias a la bioprecipitación de $CaCO_3$ cuando las esporas se activan al contacto con humedad.

2.2.9.1. Autocuración autógena vs. biogénica

- **Autocuración autógena:** Se basa en la rehidratación de compuestos de concreto no hidratados y en la carbonatación natural.
- **Autocuración biogénica:** Involucra la formación de $CaCO_3$ inducida por microorganismos, siendo más eficiente para fisuras mayores de 0.1 mm.

2.2.9.2. Parámetros de evaluación

La evaluación se realiza mediante:

- Variación del ancho de fisura en el tiempo
- Cálculo del porcentaje de sellado
- Observación microscópica (SEM)

- Registro de reducción de permeabilidad
- Ensayos de recuperación de resistencia

2.2.9.3. Porcentaje de autorreparación

$$\%Autorreparacion=(wi-wfwi)\times 100$$

Donde *w_i* es el ancho inicial de fisura y *w_f* el ancho final luego del proceso de curación.

2.2.10. Influencia de la concentración bacteriana en las propiedades del concreto

La concentración bacteriana determina la eficiencia tanto en la resistencia mecánica como en la autocuración. Una dosificación inadecuada puede ser insuficiente para generar $CaCO_3$ o, en exceso, puede deteriorar la trabajabilidad del concreto.

2.2.10.1. Efecto en la resistencia mecánica

- Dosis bajas → poco $CaCO_3$, incremento marginal.
- Dosis intermedias (10^5–10^7 cells/mL) → incrementos de 15–35 %.
- Dosis elevadas → posibles vacíos y reducción de resistencia.

2.2.10.2. Efecto en la capacidad de autocuración

- Dosis entre 10^7 y 10^8 cells/mL permiten sellar fisuras de 0.3–1.2 mm.
- A mayor concentración, mayor velocidad de formación de cristales.

2.2.10.3. Rangos óptimos de dosificación

La literatura especializada identifica rangos efectivos:

- **10^5 cells/mL** → adecuada para mejorar resistencia.
- **10^7–10^8 cells/mL** → óptimas para autocuración.
- 10^9 cells/mL → afecta trabajabilidad y compactación.

2.3. Bases teóricas

Aditivo. - Sustancia química incorporada al concreto en pequeñas proporciones para modificar sus propiedades en estado fresco o endurecido, como su trabajabilidad, tiempo de fraguado o durabilidad (ASTM C494).

Agregado fino. - Material granular, generalmente arena natural o triturada, con tamaño menor a 4.75 mm. Contribuye a la cohesión de la mezcla y reduce vacíos en el concreto.

Agregado grueso. - Material pétreo como grava o piedra triturada con tamaño mayor a 4.75 mm. Aporta rigidez, estabilidad y resistencia al concreto.

Alcalinidad. - Condición química caracterizada por un pH elevado (mayor a 9). El concreto posee alta alcalinidad debido al hidróxido de calcio generado en la hidratación del cemento.

Autocuración. - Proceso por el cual el concreto puede sellar microfisuras sin intervención externa. Puede ser autógena (rehidratación del cemento) o biogénica (actividad bacteriana).

Bacillus. - Género de bacterias formadoras de endosporas, conocidas por su alta resistencia a condiciones extremas y su capacidad de precipitar carbonato de calcio dentro del concreto.

Bacillus subtilis. - Bacteria Gram-positiva, alcalófila y formadora de endosporas. Es ampliamente utilizada en concreto bacteriano debido a su capacidad para sobrevivir en ambientes de pH alto y generar $CaCO_3$.

Carbonatación. - Proceso en el que el CO_2 del ambiente reacciona con el hidróxido de calcio del concreto, reduciendo su pH y facilitando la corrosión de armaduras.

Carbonato de calcio ($CaCO_3$). - Mineral formado durante la autocuración biogénica. Rellena microfisuras y reduce la permeabilidad del concreto.

Cemento Portland. - Agente ligante hidráulico compuesto principalmente por silicatos de calcio. Al reaccionar con el agua, forma productos hidratados responsables de la resistencia del concreto.

Concreto. - Material compuesto por cemento, agregados, agua y aditivos, cuyo comportamiento mecánico está determinado por la hidratación del cemento y las características de sus componentes.

Concreto bacteriano. - Tipo de concreto que incorpora bacterias y nutrientes capaces de activar procesos de autocuración mediante la precipitación de carbonato de calcio dentro de fisuras.

Curado. - Proceso que garantiza condiciones adecuadas de humedad y temperatura para la hidratación del cemento. Influye directamente en la resistencia final del concreto.

Durabilidad. - Capacidad del concreto para mantener sus propiedades y desempeño frente a agentes físicos, químicos o ambientales durante su vida útil.

Endospora. - Estructura de resistencia producida por bacterias del género Bacillus que les permite sobrevivir desecación, alcalinidad, radiación y temperaturas extremas dentro del concreto.

Fisuración. - Formación de grietas o fracturas en el concreto debido a contracción, variaciones térmicas, cargas externas o procesos químicos internos.

Hidratación. - Conjunto de reacciones químicas entre el cemento y el agua que generan productos hidratados como el gel C–S–H y el hidróxido de calcio.

Matriz cementicia. - Fase del concreto compuesta por cemento hidratado, poros y microfisuras. Es el medio donde se desarrollan procesos de curado y autocuración.

MICP (Microbially Induced Calcium Carbonate Precipitation). - Proceso bioquímico mediante el cual bacterias producen carbonato de calcio a partir de rutas metabólicas ureolíticas o no ureolíticas.

Microestructura. - Arreglo interno de la matriz cementicia, poros y zona de transición interfacial. Determina la resistencia, durabilidad y permeabilidad.

Permeabilidad. - Propiedad que indica la capacidad del concreto para permitir el paso de líquidos o gases. Se reduce con la precipitación biogénica de $CaCO_3$.

Relación agua–cemento (a/c). - Proporción entre el agua y el cemento en la mezcla. Es el principal factor que controla la resistencia mecánica y la porosidad del concreto.

Resistencia a la compresión. - Propiedad mecánica que expresa la capacidad del concreto para soportar cargas axiales antes de fallar. Es el parámetro principal en diseño estructural.

Ruta no ureolítica. - Mecanismo metabólico donde bacterias transforman fuentes de carbono orgánico (como lactato) en CO_2 y carbonatos, favoreciendo la formación de $CaCO_3$ sin generar amonio.

Ruta ureolítica. - Proceso metabólico dependiente de la enzima ureasa, en el cual la bacteria descompone urea generando carbonato y amonio, lo que facilita la precipitación de $CaCO_3$.

Self-healing. - Término aplicado al concreto para describir su capacidad de autorrepararse parcialmente de forma autónoma mediante mecanismos físico-químicos o biológicos.

Zona de Transición Interfacial (ITZ). - Región entre el agregado y la pasta de cemento. Suele ser la parte más porosa y menos resistente del concreto, influyendo en la fisuración y permeabilidad.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Enfoque de investigación

Concepto teórico

"El enfoque cuantitativo se caracteriza por utilizar la medición numérica, el análisis estadístico y la experimentación controlada para explicar fenómenos y establecer relaciones causales entre variables. Este enfoque parte de un paradigma positivista, en el que los datos son objetivos, replicables y sujetos a verificación empírica, permitiendo formular generalizaciones y modelos predictivos" (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018).

Asimismo, este enfoque se sustenta en la observación sistemática, el control de condiciones externas y la utilización de instrumentos estandarizados que posibilitan la obtención de resultados confiables y comparables. Su finalidad es cuantificar el comportamiento de las variables y analizar su relación mediante métodos estadísticos.

Aplicación al estudio

Este trabajo emplea un enfoque cuantitativo, ya que variables como la resistencia a la compresión, el ancho de fisura y el porcentaje de autorreparación se cuantifican usando instrumentos calibrados y normados según ASTM. Los datos obtenidos se analizan mediante técnicas estadísticas descriptivas e inferenciales que facilitan la identificación de patrones, tendencias y relaciones causales entre la concentración de Bacillus subtilis y las propiedades mecánicas del concreto. Este enfoque garantiza objetividad en la evaluación del efecto bacteriano, permitiendo comprobar experimentalmente si la incorporación de microorganismos mejora la durabilidad y el desempeño del material.

3.1.1. Tipo de investigación

Concepto teórico

"La investigación aplicada tiene como finalidad resolver problemas prácticos utilizando conocimiento científico, con impacto directo en una realidad específica. Se orienta a la generación de soluciones inmediatas y útiles para la sociedad o una industria determinada, sin descuidar el rigor metodológico propio de las ciencias", (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018).

Este tipo de investigación pone énfasis en la utilidad, transferencia tecnológica y pertinencia contextual, empleando teorías existentes para intervenir y mejorar un fenómeno concreto.

Aplicación al estudio

La investigación se clasifica como aplicada, porque aborda una problemática real del distrito de San Miguel – Puno: la fisuración temprana del concreto y la disminución de su resistencia debido a variaciones térmicas, mala calidad de materiales o ausencia de curado adecuado.
El estudio evalúa el uso de *Bacillus subtilis* como una alternativa tecnológica basada en procesos biogénicos para mejorar las propiedades del concreto. Los resultados no solo amplían el conocimiento científico sobre biocuraciones, sino que también ofrecen una solución práctica y viable a la problemática constructiva de la zona, contribuyendo a la seguridad y durabilidad de las edificaciones.

3.1.2. Nivel de investigación

Concepto teórico

Según Arias (2012), "la investigación explicativa busca determinar las causas de los fenómenos y establecer relaciones de dependencia entre variables, permitiendo comprender el porqué ocurren y bajo qué condiciones se manifiestan".

Este nivel va más allá de describir o correlacionar variables; su propósito es identificar mecanismos causales, es decir, demostrar que una variable influye de manera directa sobre otra.

Aplicación al estudio

El presente estudio es de nivel explicativo, porque no solo describe el comportamiento del concreto con bacterias, sino que busca explicar científicamente cómo y por qué la concentración de *Bacillus subtilis* genera cambios en:

- la resistencia a la compresión,
- el sellado de fisuras, y
- la capacidad de autorreparación.

La investigación permite comprender los mecanismos de bioprecipitación (MICP) responsables del aumento de propiedades mecánicas, estableciendo claramente la relación causal entre la concentración bacteriana (variable independiente) y los cambios observados (variables dependientes).

3.1.3. Diseño de investigación

Concepto teórico

El diseño cuasiexperimental se caracteriza por manipular deliberadamente una variable independiente para analizar su impacto en una o más variables dependientes, sin requerir la asignación aleatoria completa que distingue a los experimentos puros. En este tipo de enfoque, el investigador utiliza grupos de comparación ya definidos o conformados mediante criterios técnicos, aplica tratamientos diferentes y controla las condiciones del estudio para evaluar los cambios generados por la intervención.

Según Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), los diseños cuasiexperimentales modifican intencionalmente una variable independiente para observar sus efectos sobre variables dependientes, pero los grupos no siempre se crean mediante asignación aleatoria. Por esta razón, este tipo de diseño es útil para evaluar el efecto de un tratamiento en condiciones controladas, aunque el nivel de control es menor que en un experimento puro.

Aplicación al estudio

El presente trabajo utiliza un diseño cuasiexperimental, porque se manipula directamente la concentración de Bacillus subtilis en el concreto para evaluar su efecto sobre la resistencia a la compresión y la capacidad de autorreparación. Para ello, se establecen grupos de probetas según cuatro niveles de tratamiento: 0, 10^4, 10^6 y 10^8 UFC/mL.

El grupo de 0 UFC/mL corresponde al concreto patrón, sin incorporación bacteriana, mientras que los demás grupos corresponden a mezclas modificadas con diferentes concentraciones de Bacillus subtilis. Las probetas son elaboradas, curadas, fisuradas y ensayadas bajo condiciones controladas, siguiendo procedimientos técnicos y normas aplicables, con el propósito de comparar el comportamiento entre el concreto convencional y los concretos bacterianos.

Este diseño permite analizar si las variaciones en la concentración bacteriana generan cambios en las propiedades mecánicas y en el porcentaje de autorreparación del concreto. Aunque no se considera un experimento puro por la ausencia de asignación aleatoria completa, el control de las condiciones de laboratorio permite obtener resultados comparables y evaluar de manera objetiva el efecto de la incorporación de Bacillus subtilis.

3.1.4. Método de investigación

Concepto teórico

El método cuasiexperimental se caracteriza por la manipulación deliberada de una variable independiente para observar sus efectos sobre una o más variables dependientes, pero sin cumplir necesariamente con todos los

criterios de un experimento puro, especialmente la asignación aleatoria completa de las unidades de estudio. Este método permite comparar grupos sometidos a diferentes tratamientos bajo condiciones controladas, con el propósito de identificar cambios atribuibles a la intervención realizada.

En este tipo de método, el investigador establece grupos de comparación y aplica tratamientos diferenciados, manteniendo el mayor control posible sobre las condiciones externas. Aunque no alcanza el mismo nivel de control que un experimento puro, permite analizar relaciones de causa y efecto de manera válida cuando se trabaja con grupos previamente establecidos o con tratamientos definidos por criterios técnicos.

Aplicación al estudio

El presente estudio emplea el método cuasiexperimental, debido a que se manipula la concentración de Bacillus subtilis en el concreto para evaluar su efecto en las propiedades mecánicas y en la capacidad de autorreparación. Para ello, se elaboran probetas agrupadas según diferentes concentraciones bacterianas: un grupo patrón sin incorporación bacteriana y grupos experimentales con distintas dosificaciones de Bacillus subtilis.

Las probetas son sometidas a procedimientos controlados, tales como:

1. Fisuración inducida,
2. Curado biogénico en ambiente húmedo, y
3. Ensayos de compresión y autorreparación.

Cada procedimiento se ejecuta bajo normas técnicas y en condiciones controladas para asegurar que los resultados obtenidos representen de manera confiable el efecto real de la bacteria sobre el desempeño del concreto.

3.1.5. Ámbito de investigación

Concepto teórico

"El ámbito de investigación delimita el espacio geográfico, temporal e institucional en el que se desarrolla el estudio" (Bernal, 2010).

Aplicación al estudio

El estudio se desarrolla en:

- Ámbito geográfico: distrito de San Miguel – Puno.
- Ámbito experimental: Laboratorios de materiales de construcción.
- Ámbito temporal: año 2025.
- Ámbito temático: concreto autorreparable mediante *Bacillus subtilis*.

3.2. Población, muestra y unidad de análisis

3.2.1. Población

Concepto teórico

"La población es el conjunto total de elementos que poseen las características de interés del investigador" (Ortiz & Sosa, 2015).

Aplicación al estudio

La población está constituida por todos los concretos convencionales elaborados en obras civiles del distrito de San Miguel – Puno en 2025.

3.2.2. Unidad de análisis

Concepto teórico

"La unidad de análisis es el elemento mínimo del cual se obtiene información y se aplican mediciones" (Arias, 2012).

Aplicación al estudio

La unidad de análisis corresponde a las probetas cilíndricas de concreto (15 x 30 cm) elaboradas con diferentes concentraciones de *Bacillus subtilis*.

3.2.3. Muestra

La muestra utilizada en esta investigación consiste en 48 probetas cilíndricas de concreto, organizadas en dos grupos de evaluación: uno para el ensayo de resistencia a la compresión y otro para la evaluación de la capacidad de autorreparación.

Para el ensayo de resistencia a la compresión se elaboraron 36 probetas cilíndricas, considerando cuatro grupos según la concentración de Bacillus subtilis: 0 UFC/mL, 10^4 UFC/mL, 10^6 UFC/mL y 10^8 UFC/mL. Estas probetas fueron evaluadas a tres edades de curado: 7, 14 y 28 días, con tres repeticiones por cada condición experimental:

El cálculo correspondiente para el ensayo de resistencia a la compresión fue el siguiente:

$4 \times 3 \times 3 = 36$ probetas

Donde:

- **4** = concentraciones bacterianas.

- **3** = edades de ensayo.
- **3** = repeticiones por condición.

Asimismo, para la evaluación de la capacidad de autorreparación se elaboraron 12 probetas adicionales, considerando las mismas cuatro concentraciones bacterianas y tres repeticiones por cada grupo. Estas probetas fueron fisuradas de manera controlada y evaluadas a los 28 días, mediante la medición del ancho inicial y final de fisura.

Tabla 3

Total de muestras

Ensayo	Concentración de *Bacillus subtilis*	7 días	14 días	28 días	Total
Compresión	0 UFC/mL control	3	3	3	9
Compresión	10^4 UFC/mL	3	3	3	9
Compresión	10^6 UFC/mL	3	3	3	9
Compresión	10^8 UFC/mL	3	3	3	9
Autorreparación	0 UFC/mL control	—	—	3	3
Autorreparación	10^4 UFC/mL	—	—	3	3
Autorreparación	10^6 UFC/mL	—	—	3	3
Autorreparación	10^8 UFC/mL	—	—	3	3
TOTAL GENERAL					**48**

Nota. Las probetas destinadas al ensayo de resistencia a la compresión fueron independientes de las probetas destinadas a la evaluación de autorreparación, debido a que la fisuración inducida puede alterar la resistencia mecánica del concreto.

3.2.4. Análisis del muestreo

El proceso de muestreo empleado en la investigación corresponde a un muestreo experimental estructurado, característico de los diseños experimentales puros. A diferencia de los estudios observacionales, la "muestra"

en este tipo de investigación no se selecciona a partir de una población natural, sino que se construye intencionalmente en función de los tratamientos definidos por el investigador.

Según Arias (2012), en los estudios cuasi experimentales la muestra consiste en "las unidades experimentales sometidas a distintos niveles de la variable independiente bajo condiciones controladas". En concordancia con este criterio, la presente investigación define la muestra como el conjunto de probetas elaboradas específicamente para evaluar el efecto de cuatro concentraciones de Bacillus subtilis sobre las propiedades mecánicas y la autorreparación del concreto.

El muestreo es de tipo no probabilístico – intencional, pues las probetas se seleccionan y elaboran siguiendo criterios técnicos, no mediante azar. Las razones que justifican este enfoque son:

1. Control experimental

Las probetas deben poseer características idénticas en:

- tamaño (15 × 30 cm),
- relación agua/cemento,
- granulometría,
- condiciones de curado,
- procedimiento de mezclado.

Cualquier variación externa comprometería la validez interna del experimento.

2. Homogeneidad del material

Para garantizar que las diferencias observadas se deban únicamente a la concentración bacteriana y no a otras variables, se requiere una muestra diseñada bajo reglas estrictas de uniformidad.

3. Repetibilidad y análisis estadístico

El uso de tres repeticiones por cada combinación experimental responde al criterio estadístico mínimo para:

- reducir error aleatorio,
- aumentar la precisión de los promedios,
- garantizar la viabilidad del ANOVA,
- permitir análisis de variancia entre tratamientos.

4. Representatividad técnica

La muestra representa adecuadamente el comportamiento del concreto bajo las condiciones reales de uso de bacterias en mezclas cementicias. La elección de 36 probetas es técnicamente razonable y suficiente para evidenciar tendencias confiables en resistencia y autocuración.

Conclusión del análisis de muestreo

El diseño muestral empleado es coherente con los principios de experimentación establecidos por Kerlinger y Supo:

- control de variables,
- replicación,

- aleatorización interna del proceso,
- comparabilidad entre tratamientos.

Por tanto, la muestra está adecuadamente definida para alcanzar los objetivos planteados y asegurar la validez estadística de los resultados.

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.3.1. Técnicas de recolección de datos

En la presente investigación, las técnicas de recolección se orientan a registrar los cambios producidos en el concreto por la incorporación de distintos niveles de Bacillus subtilis. Las técnicas seleccionadas permiten medir con exactitud la resistencia mecánica, el comportamiento frente a la fisuración y el grado de autorreparación.

Técnicas empleadas

a) Medición directa

Permite obtener valores numéricos mediante equipos calibrados. Se utiliza para:

- Medir la resistencia a la compresión (ASTM C39).
- Registrar el asentamiento del concreto (slump) según ASTM C143.
- Cuantificar el ancho de fisura antes y después del proceso de curado biogénico.

b) Observación técnica estructurada

Consiste en la inspección detallada de las probetas, registrando:

- Presencia o ausencia de fisuras.
- Comportamiento del concreto durante el curado.
- Cambios visuales asociados al proceso de bioprecipitación de $CaCO_3$.

Esta observación se apoya en guías estandarizadas y fichas de evaluación diseñadas para este estudio.

c) Registro fotográfico y micrográfico

Permite documentar visualmente:

- El estado inicial de las fisuras.
- La evolución de la autocuración durante 7, 14 y 28 días.
- La aparición de depósitos de carbonato de calcio.

Este registro proporciona evidencia cualitativa que complementa las mediciones cuantitativas.

d) Ensayo mecánico normado

Todos los ensayos se realizan bajo normas ASTM, lo que asegura:

- Objetividad
- Repetibilidad
- Comparabilidad de los datos
- Precisión en las mediciones

3.3.2. Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos utilizados permiten medir de manera estandarizada los efectos de la incorporación de bacterias en el concreto, asegurando consistencia metodológica y precisión experimental.

Instrumentos utilizados

a) Máquina universal de compresión (ASTM C39)

- Mide la resistencia a la compresión en MPa.
- Proporciona carga máxima, tipo de falla y curva de esfuerzo-deformación.

b) Fisurómetro analógico o digital

- Registra el ancho de fisura en milímetros.
- Precisión típica: 0.02 mm.

c) Microscopio portátil o lupa de aumento

- Permite observar la formación de $CaCO_3$, textura de la fisura y nivel de oclusión.

d) Cono de Abrams (ASTM C143)

- Determina la trabajabilidad del concreto mediante la medición del slump.

e) Moldes cilíndricos de concreto (15 × 30 cm)

- Estándar para ensayos de compresión.

- Garantizan homogeneidad dimensional.

f) Mezcladora mecánica

- Asegura uniformidad en la mezcla e incorporación adecuada de *Bacillus subtilis*.

g) Incubadora o cámara de crecimiento bacteriano

- Controla condiciones de temperatura para la activación y cultivo de bacterias.

h) Tanque de curado con agua saturada de cal

- Mantiene condiciones estables de hidratación de las probetas según ASTM C31.

i) Balanza digital de precisión

- Para dosificación exacta de agregados, cemento, agua y cultivos bacterianos.

3.4. Procedimientos de los ensayos

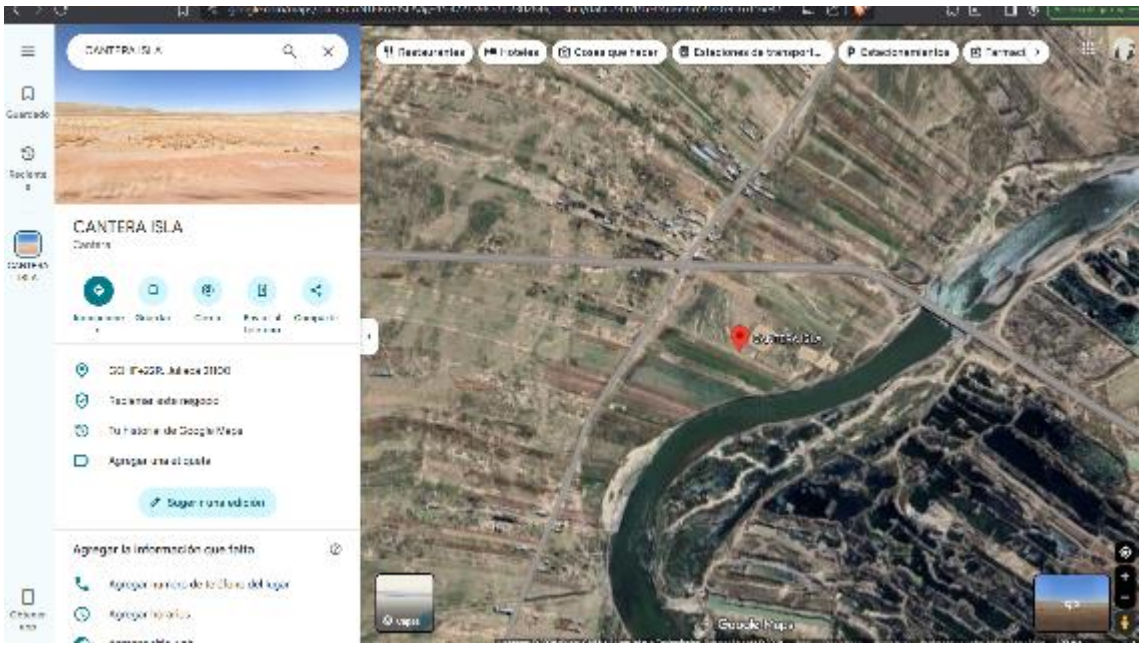
3.4.1. Ubicación espacial temporal de la cantera

Los agregados finos y gruesos utilizados en la presente investigación fueron obtenidos de la cantera Isla, ubicada en el sector del río Unocolla, jurisdicción de Juliaca. Esta cantera se localiza aproximadamente a 15.2 km del distrito de San Miguel y constituye una fuente habitual de materiales granulares para la elaboración de concreto en la zona. La extracción de los agregados se

realizó durante el año 2025, en el periodo correspondiente al desarrollo experimental de la investigación.

Figura 11

Ubicación de la cantera Isla



Nota: Google Maps.com

Coordenadas UTM de la Cantera Isla – Río Unocolla

Norte UTM (m)	Este UTM (m)	Ángulo interior	Lado	Distancia
8 289 900.1920	369 451.1159	90°0'0"	1–2	2 000.00 ml
8 291 236.9554	370 938.7618	90°0'0"	2–3	500.00 ml
8 290 865.0339	371 272.9501	90°0'0"	3–4	2 000.00 ml
8 289 528.2805	369 785.3042	90°0'0"	4–1	500.00 ml

Datos técnicos referenciales de la Cantera Isla

Denominación referencial	:	Cantera Isla – Río Unocolla
Departamento	:	Puno
Provincia	:	San Román
Distrito	:	Juliaca
Centro poblado	:	Isla – Uray Jaran
Ubicación referencial	:	Margen izquierdo de la carretera Juliaca – Lampa, km 7.00
Altitud aproximada	:	Entre 3 825 y 3 826 m s. n. m.
Tipo de cantera	:	Agregados naturales de origen fluvial
Situación actual	:	En explotación
Propietario	:	Comunidad Campesina Isla
Área explotable	:	960 ha
Longitud del cauce	:	6 000 ml
Ancho promedio del cauce	:	160 ml
Profundidad promedio de excavación	:	2.50 m
Potencia / volumen anual de explotación	:	2 400 000.00 m³ aprox.
Renovación del material	:	El volumen explotado se renueva anualmente en temporada de lluvias

3.4.2. Extracción del agregado de la cantera

Está ubicada a 10 km de la ciudad de Juliaca y su acceso es accidentado. La extracción de agregados en las orillas del río se realiza tanto de forma manual como con maquinaria. Además, en los alrededores hay vegetación como paja y pasto, que es aprovechada para la ganadería.

Figura 12

Extracción de la cantera Isla



Nota. Registro fotográfico de la extracción de los agregados cantera Isla

3.4.3. Ensayo de granulometría de los agregados

Norma aplicable

El análisis granulométrico de los agregados finos y gruesos se realiza siguiendo la norma internacional ASTM C136/C136M, conocida como Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, que describe el procedimiento para determinar la distribución del tamaño de partículas mediante tamizado. En el caso de Perú, se utiliza la NTP 400.012, que regula el análisis granulométrico de agregados finos, gruesos y globales. Los resultados obtenidos se pueden comparar con los límites granulométricos establecidos en ASTM C33/C33M y NTP 400.037, normas que establecen los requisitos de calidad y gradación para agregados destinados al concreto.

A. Procedimiento para agregado fino

1. Obtención y preparación de la muestra

Se tomó una muestra representativa de agregado fino mediante cuarteo, con la finalidad de obtener una porción homogénea del material. El agregado fino que también sigue al material que pasa el tamiz N.° 4, equivalente a 4.75 mm. La muestra fue colocada en una bandeja limpia y se verificó que no contenga partículas extrañas, terrones o impurezas que puedan alterar el resultado del ensayo.

2. Secado de la muestra

La muestra de agregado fino fue sometida a un proceso de desecación controlada en estufa, bajo una temperatura regulada de 110 ± 5 °C, hasta la obtención de masa constante, condición que evidencia la eliminación progresiva de la humedad contenida en el material. Culminado dicho procedimiento térmico, la muestra fue cuidadosamente extraída del equipo de secado y dispuesta en un ambiente seco para su enfriamiento natural hasta alcanzar la temperatura ambiente, procurando conservar inalteradas sus condiciones físicas previas al desarrollo del ensayo. Este procedimiento permitió eliminar la humedad presente en el material antes del tamizado.

3. Pesado inicial

Una vez seca y enfriada la muestra, se pesó una cantidad representativa de agregado fino. Para este ensayo se puede emplear una masa aproximada de 500 g, siempre que sea suficiente para obtener una distribución granulométrica representativa. El peso inicial seco fue registrado como base para calcular los porcentajes retenidos y pasantes.

4. Preparación de los tamices

Se seleccionó la serie de tamices correspondiente para agregado fino, verificando que se encuentren limpios, secos y libres de partículas adheridas. Los tamices fueron ordenados de mayor a menor abertura, colocando al final una bandeja de fondo para recibir el material pasante.

Una serie común para agregado fino puede incluir:

- Tamiz N.° 4;
- Tamiz N.° 8;
- Tamiz N.° 16;
- Tamiz N.° 30;
- Tamiz N.° 50;
- Tamiz N.° 100;
- Fondo. >N° 200

5. Tamizado

La muestra previamente desecada fue dispuesta sobre el tamiz de abertura superior, iniciándose el proceso de separación granulométrica mediante agitación manual o mecánica, según correspondiera. Dicho procedimiento se ejecutó con movimientos uniformes, continuos y controlados, procurando evitar la pérdida o dispersión de partículas durante la operación. El tamizado se prolongó hasta evidenciar una condición prácticamente constante en la masa de material retenida sobre cada tamiz, asegurando así una adecuada clasificación de las fracciones granulométricas del agregado.

Figura 13

Tamizado de los agregados



Nota. Registro fotográfico del tamizado de los agregados

6. Pesado del material retenido

Finalizado el tamizado, se retiró cuidadosamente el material retenido en cada tamiz y se colocó en recipientes limpios e identificados. Luego se pesó cada fracción retenida con una balanza de precisión. Las partículas incrustadas en las aberturas del tamiz fueron retiradas cuidadosamente sin dañar la malla.

Figura 14

Pesado del material retenido



Nota. Registro fotográfico del del material retenido

7. Cálculo de porcentajes

A partir de las masas retenidas en cada tamiz, se procedió a la determinación de los porcentajes retenidos parciales, acumulados y pasantes, con la finalidad de caracterizar cuantitativamente la distribución granulométrica del agregado fino. Los valores obtenidos permitieron elaborar la correspondiente curva granulométrica y contrastar el comportamiento del material con los husos o límites normativos establecidos para su empleo en mezclas de concreto.

B. Procedimiento para agregado grueso

1. Obtención y preparación de la muestra

Se procedió a la obtención de una muestra representativa de agregado grueso mediante el método de cuarteo, procurando que la porción seleccionada conserve las características físicas y granulométricas del lote destinado a la elaboración de la mezcla. Para efectos del presente procedimiento, se consideró como agregado grueso aquel material retenido en el tamiz N.° 4, correspondiente a una abertura nominal de 4.75 mm.

2. Secado de la muestra

La muestra de agregado grueso fue sometida a un proceso de desecación térmica controlada en estufa, bajo una temperatura regulada de 110 ± 5 °C, hasta alcanzar la condición de masa constante. Concluido dicho proceso, el material fue extraído del equipo de secado y dispuesto en un ambiente seco para su enfriamiento natural hasta alcanzar la temperatura ambiente, previo a la determinación de su masa inicial.

3. Pesado inicial

Una vez culminado el acondicionamiento térmico de la muestra, se efectuó el registro de su masa seca inicial mediante balanza calibrada. Para la ejecución del ensayo puede emplearse una cantidad aproximada de 3500 g, en función del tamaño máximo nominal del agregado y de los requerimientos mínimos establecidos por la normativa técnica aplicable.

4. Preparación de los tamices

Se seleccionó la serie granulométrica de tamices correspondiente al tamaño máximo nominal del agregado grueso objeto de evaluación. Previamente, los tamices fueron verificados, limpiados y secados, con el propósito de evitar interferencias por partículas remanentes o humedad residual. Posteriormente, fueron ordenados de manera decreciente según su abertura nominal, colocando en la parte inferior la bandeja de fondo destinada a la recolección del material pasante final.

Para un agregado grueso con tamaño máximo nominal de 19 mm, puede emplearse una serie convencional de tamices conformada por:

- Tamiz 1";
- Tamiz 3/4";
- Tamiz 1/2";
- Tamiz 3/8";
- Tamiz N.° 4;
- Fondo.

5. Tamizado

La muestra seca fue colocada en el tamiz superior y sometida a tamizado manual o mecánico. El procedimiento se realizó con movimientos uniformes, evitando la pérdida de partículas. El tamizado continuó hasta lograr que el peso retenido en cada tamiz sea estable.

Figura 15

Tamizado del agregado grueso



Nota. Registro fotográfico del tamizado del agregado grueso

6. Pesado del material retenido

El material retenido en cada tamiz fue colocado en bandejas limpias e identificadas. Luego se pesó cada fracción con una balanza de precisión. Las

partículas que quedaron atrapadas en las mallas fueron retiradas cuidadosamente, evitando deformar o dañar los tamices.

Figura 16

Pesado del material retenido del material grueso



Nota. Registro fotográfico del peso del material retenido del material grueso

7. Cálculo de porcentajes

Se calcularon el porcentaje retenido parcial, el porcentaje acumulado y el porcentaje pasante a partir de los pesos retenidos. Estos datos permitieron analizar la distribución de tamaños del agregado grueso y comprobar si cumple con los límites granulométricos establecidos por la normativa técnica.

Fórmulas de cálculo

% retenido parcial

$$\%R_i = \frac{P_i}{P_T} \times 100$$

Donde:

%Ri = % ret. parcial en el tamiz i.

Pi = peso ret. en el tamiz i.

PT = peso total de la muestra seca.

% ret. acumulado

$$\%R_{acum} = \sum \%R_i$$

Donde:

%Racum = suma progresiva de los %s ret.s parciales.

% pasante

$$\%P = 100 - \%R_{acum}$$

Donde:

%P = % de material que pasa por cada tamiz.

Módulo de finura del agregado fino

Para el agregado fino, el módulo de finura se calcula sumando los %s ret.s acumulados en los tamices normalizados y dividiendo entre 100.

$$MF = \frac{\sum \%R_{acum}}{100}$$

Donde:

MF = módulo de finura del agregado fino.

Σ% Racum = suma de los %s ret.s acumulados en los tamices especificados.

El análisis granulométrico permite conocer la distribución de tamaños de las partículas que conforman los agregados. Esta propiedad influye directamente en la trabajabilidad, compactación, cantidad de vacíos, concreto y resistencia del concreto.

Una granulometría adecuada favorece el acomodo de partículas, reduce vacíos y mejora la cohesión de la mezcla. En cambio, una granulometría deficiente puede generar segregación, exudación, aumento de demanda de agua o disminución de la resistencia mecánica. Por ello, los resultados del tamizado deben compararse con los límites establecidos por normas como ASTM C33/C33M y NTP 400.037.

Figura 17

Equipo para el análisis granulométrico de los agregados



Nota. Laboratorio Geoestudio S.A.C. (2025)

3.4.4. Ensayo de contenido de humedad

Norma aplicable

El análisis del contenido de humedad en los agregados se realiza según la norma ASTM C566/C566M, denominada Método estándar de ensayo para el contenido total de humedad evaporable de los agregados por secado. Esta norma establece el procedimiento para determinar el % de humedad evaporable en una muestra de agregado a través del secado. La humedad evaporable abarca tanto la humedad superficial como parte de la contenida en los poros del agregado, excluyendo el agua químicamente combinada con los minerales del material.

En el Perú, se considera como norma equivalente la NTP 339.185, denominada Agregados. Método de ensayo normalizado para contenido total de humedad evaporable de agregados por secado. Asimismo, la toma y preparación de muestras de agregados se relaciona con la NTP 400.010, que establece procedimientos para obtener muestras representativas de agregados finos, gruesos y globales.

Procedimiento

1. Obtención de la muestra representativa

Se tomó una muestra representativa del agregado fino o grueso, según correspondiera, siguiendo criterios de muestreo y reducción de muestra. El material fue homogenizado y reducido mediante cuarteo, con la finalidad de obtener una porción representativa del lote inicial. Este paso permitió evitar sesgos en el ensayo y asegurar que la muestra analizada reflejara

adecuadamente las condiciones reales del agregado utilizado en la mezcla de concreto.

2. Preparación de los recipientes

Se seleccionaron recipientes metálicos resistentes al calor, limpios y secos. Cada recipiente fue identificado y pesado previamente en una balanza de precisión, registrándose el peso de la tara. Este dato fue necesario para calcular posteriormente el peso neto de la muestra húmeda y seca.

3. Pesado de la muestra húmeda

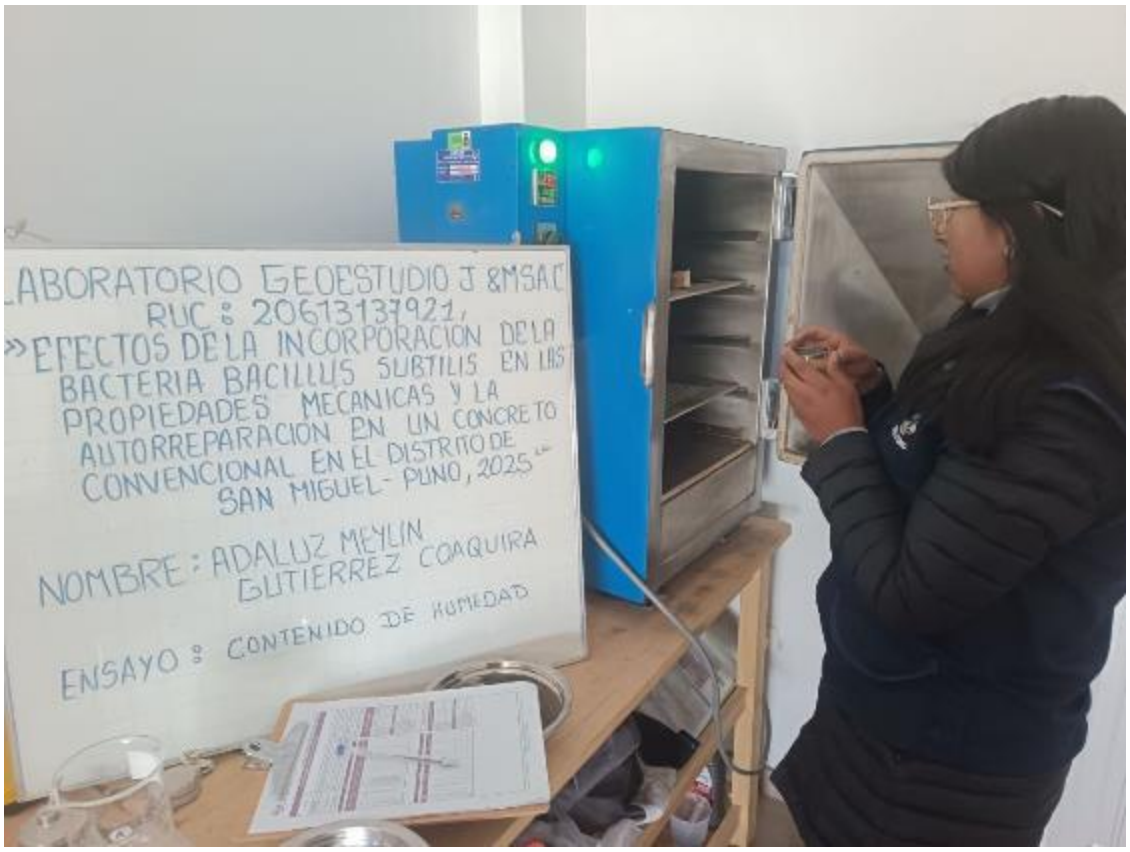
La muestra de agregado húmedo fue colocada dentro del recipiente previamente tarado. Luego se registró el peso conjunto del recipiente más la muestra húmeda. Este valor permitió determinar el peso inicial del agregado antes del proceso de secado.

4. Secado en horno

Las muestras fueron colocadas en un horno de secado a una temperatura de 105 ± 5 °C, hasta alcanzar masa constante. En la práctica de laboratorio, el tiempo de secado suele aproximarse a 24 horas, aunque el criterio principal es que la muestra alcance un peso constante. Este proceso permitió eliminar la humedad evaporable presente en el agregado.

Figura 18

Secado al horno para el ensayo de contenido de humedad



Nota. Registro fotográfico Secado al horno para el ensayo de contenido de humedad

5. Enfriamiento de la muestra

Una vez finalizado el secado, los recipientes fueron retirados del horno y dejados enfriar a temperatura ambiente en un lugar seco y protegido. Este paso fue necesario para evitar errores de pesaje ocasionados por la temperatura elevada del recipiente o del agregado.

6. Pesado de la muestra seca

Después del enfriamiento, se registró el peso del recipiente más la muestra seca. Con este dato se determinó el peso seco del agregado, valor requerido para el cálculo del contenido de humedad.

Figura 19

Pesado de la muestra seca después de la extracción del horno



Nota. Registro fotográfico del peso de la muestra seca después de la extracción del horno

7. Repetición del ensayo

El procedimiento se realizó en tres muestras representativas para cada tipo de agregado. Los resultados individuales fueron promediados con el propósito de obtener un valor más confiable y reducir el error experimental.

Cálculo del contenido de humedad

El contenido de humedad se calculó mediante la siguiente expresión:

$$W(\%) = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

Donde:

W (%) = contenido de humedad del agregado.

Ph = peso de la muestra húmeda.

Ps = peso de la muestra seca.

3.4.5. Peso específico y absorción

Norma aplicable

El análisis de peso específico y absorción de los agregados se realiza según normas específicas para cada tipo de material. En el caso del agregado grueso, se sigue la norma internacional ASTM C127/C127M, equivalente a la NTP 400.021, que define el procedimiento para determinar el peso específico seco, el peso específico saturado superficialmente seco, el peso específico aparente y el % de absorción. Para el agregado fino, se utiliza la norma ASTM C128/C128M, equivalente a la NTP 400.022, que regula la determinación de estas propiedades usando el picnómetro y la condición saturada superficialmente seca. Estos ensayos proporcionan datos esenciales para el diseño de la mezcla y el control del agua efectiva en el concreto.

Peso específico y absorción del agregado grueso

Procedimiento

1. Obtención de la muestra representativa

Se tomó una muestra representativa del agregado grueso mediante cuarteo o reducción de muestra, procurando que el material seleccionado represente adecuadamente al lote utilizado en la elaboración del concreto aproximadamente 3kg de T.M.N. de ¾". La muestra fue limpiada para retirar partículas extrañas, polvo adherido o material contaminante que pudiera alterar los resultados del ensayo.

2. Lavado y saturación del agregado

El agregado grueso se limpió con agua para eliminar las impurezas superficiales y las partículas finas adheridas. Posteriormente, la muestra se sumergió en agua durante aproximadamente 24 horas para asegurar la saturación de los poros accesibles. Este procedimiento permite alcanzar la condición saturada superficialmente seca, indispensable para calcular el peso específico y la absorción.

3. Secado superficial de la muestra

Después del periodo de inmersión, el agregado fue retirado del agua y secado superficialmente con una franela o paño absorbente. El objetivo fue eliminar únicamente el agua visible adherida a la superficie de las partículas, sin extraer el agua contenida en sus poros internos. En esta condición, el agregado se considera saturado superficialmente seco, conocido como condición SSS o SSD.

4. Pesado de la muestra en condición SSS

Una vez verificada la condición de saturación superficialmente seca (SSS), se procedió a la determinación de la masa de la muestra en aire mediante

una balanza debidamente calibrada. El valor obtenido corresponde a la masa del agregado en estado SSS, parámetro fundamental para la determinación del peso específico en condición saturada superficialmente seca y del porcentaje de absorción del material.

5. Pesado sumergido

Posteriormente, la muestra fue colocada en una canastilla metálica y sumergida completamente en agua, procurando la eliminación de burbujas de aire adheridas a la superficie de las partículas, con el fin de evitar alteraciones en la medición. A continuación, se registró la masa aparente del agregado en condición de inmersión, dato que permitió establecer el volumen de agua desplazado por el material y, con base en el principio de Arquímedes, determinar sus propiedades gravimétricas.

6. Secado en horno

Concluida la determinación de la masa en inmersión, la muestra fue sometida a un proceso de desecación térmica controlada en estufa, manteniendo una temperatura de **110 ± 5 °C** hasta alcanzar una condición de masa constante. Este procedimiento garantizó la eliminación de la humedad presente en los poros del agregado, permitiendo la obtención de la masa seca al horno.

7. Enfriamiento y pesado seco

Finalizado el proceso de desecación, la muestra fue retirada de la estufa y acondicionada mediante enfriamiento natural en un ambiente seco hasta alcanzar la temperatura ambiente, evitando la reabsorción de humedad. Posteriormente, se efectuó el registro de la masa seca al horno, valor que

constituyó la base para la determinación del peso específico seco, el peso específico aparente y el porcentaje de absorción del agregado grueso, conforme a los procedimientos establecidos en la normativa técnica correspondiente.

Cálculos para agregado grueso

$$G_{seco} = \frac{A}{B - C}$$

$$G_{SSS} = \frac{B}{B - C}$$

$$G_{aparente} = \frac{A}{A - C}$$

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

Donde:

A = masa de la muestra después del secado en horno hasta alcanzar peso constante.

B = masa del agregado en estado saturado con superficie seca (SSS).

C = peso aparente del espécimen cuando se encuentra completamente sumergido en agua.

Gseco = densidad relativa del agregado determinada en condición seca.

GSSS = densidad relativa del agregado en condición saturada superficialmente seca.

Gaparente = densidad relativa aparente obtenida a partir de la masa del sólido, excluyendo los poros permeables.

Peso específico y absorción del agregado fino

Procedimiento

1. Obtención de la muestra representativa

La muestra destinada al ensayo fue obtenida a partir del agregado fino mediante el procedimiento de cuarteo, tomando aproximadamente 1 kg de material. Luego, el agregado fue mezclado cuidadosamente para lograr una distribución uniforme de sus partículas y asegurar que la porción analizada refleje las condiciones reales del material empleado en la mezcla de concreto.

2. Saturación del agregado fino

El agregado fino seleccionado fue colocado en un recipiente con agua durante un periodo cercano a 24 horas. Esta etapa permitió que los poros del material absorbieran la humedad necesaria hasta alcanzar la condición de saturación, requisito previo para continuar con la determinación de sus propiedades físicas.

3. Secado hasta condición saturada superficialmente seca

Después del periodo de saturación, el agregado fino fue extendido sobre una superficie limpia y se dejó secar de manera controlada hasta alcanzar la condición saturada superficialmente seca. Para verificar esta condición se empleó el molde cónico y el pisón normalizado.

4. Ensayo del cono para condición SSS

El agregado fino fue colocado dentro del molde cónico en capas y compactado ligeramente con el pisón. Luego se retiró el molde de forma vertical. Cuando el material pierde la forma del cono y se desmorona parcialmente, se considera que ha alcanzado la condición saturada superficialmente seca. Esta verificación es importante porque un exceso de humedad superficial o un secado excesivo puede alterar los resultados del peso específico y absorción.

5. Llenado del picnómetro

Una vez alcanzada la condición SSS, se pesó una cantidad determinada de agregado fino y se introdujo en el picnómetro. Luego se añadió agua hasta un volumen conocido, procurando eliminar las burbujas de aire atrapadas dentro del recipiente.

6. Eliminación de aire atrapado

El picnómetro con agua y agregado fino fue agitado cuidadosamente para liberar el aire atrapado entre las partículas. Este paso es importante porque la presencia de burbujas puede alterar la medición del volumen ocupado por el agregado.

7. Pesado del picnómetro con muestra y agua

Se registró el peso del picnómetro lleno con agua y agregado fino. Este valor fue utilizado para el cálculo del volumen del agregado y, posteriormente, del peso específico.

Figura 20

Pesado del picnómetro con muestra y agua



Nota. Registro fotográfico del pesado del picnómetro con muestra y agua

8. Secado en horno

Después del procedimiento en el picnómetro, la muestra fue retirada, colocada en un recipiente y secada en horno a una temperatura de 110 ± 5 °C hasta alcanzar masa constante.

9. Enfriamiento y pesado seco

La muestra seca fue dejada enfriar a temperatura ambiente. Luego se registró su peso seco al horno, dato necesario para determinar el peso específico seco, peso específico saturado superficialmente seco, peso específico aparente y absorción.

Cálculos para agregado fino

$$G_{seco} = \frac{A}{B + S - C}$$

$$G_{SSS} = \frac{S}{B + S - C}$$

$$G_{aparente} = \frac{A}{B + A - C}$$

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

Donde:

A = masa del agregado después del secado en horno.

S = masa de la muestra en condición saturada superficialmente seca.

B = masa del picnómetro lleno únicamente con agua.

C = masa del picnómetro con el agregado incorporado y completado con agua.

Gseco = densidad relativa del material en estado seco.

GSSS = densidad relativa correspondiente al estado saturado superficialmente

seco.

Gaparente = densidad relativa aparente del agregado.

Figura 21

Elementos de ensayo para peso específico y absorción de los agregados AF y AG



Nota. Laboratorio Geoestudio S.A.C. (2025)

El peso específico permite conocer la relación entre la masa del agregado y el volumen que ocupa, dato necesario para el diseño de mezcla del concreto. Este valor se utiliza para convertir pesos en volúmenes absolutos y realizar una dosificación más precisa de los materiales.

La absorción indica la cantidad de agua que el agregado puede retener dentro de sus poros. Este valor es importante porque permite ajustar el agua de mezclado. Si la absorción no se considera, el agregado puede tomar parte del agua destinada a la mezcla o aportar agua adicional cuando se encuentra húmedo, modificando la relación agua/cemento.

3.4.6. Peso unitario de los agregados

Norma aplicable

El peso unitario de los agregados se determina tomando como referencia la norma ASTM C29/C29M, la cual establece el procedimiento para calcular la densidad de masa del agregado en estado suelto o compactado. Esta evaluación también permite estimar el % de vacíos existente entre partículas, tanto en agregados finos como gruesos o combinados.

En el ámbito nacional, el ensayo se desarrolla conforme a la NTP 400.017, norma que regula la determinación del peso unitario y el contenido de vacíos del agregado bajo condiciones sueltas y compactadas. Su aplicación resulta válida para materiales cuyo tamaño nominal máximo no excede los 125 mm, permitiendo caracterizar el acomodo volumétrico del agregado dentro de la mezcla de concreto.

Procedimiento

1. Selección y preparación de la muestra

Se tomó una muestra representativa del agregado fino o grueso, según correspondiera, procurando que el material estuviera limpio, homogéneo y libre de partículas extrañas. La muestra fue reducida mediante cuarteo hasta obtener una cantidad suficiente para realizar el ensayo. Este procedimiento permitió trabajar con una porción representativa del agregado empleado en la elaboración del concreto.

2. Selección del recipiente de medida

Se seleccionó un recipiente o molde de volumen conocido, de acuerdo con el tamaño máximo nominal del agregado. El recipiente fue limpiado, secado y pesado previamente en una balanza, registrándose su masa vacía. Luego se determinaron sus dimensiones internas para calcular su volumen, cuando este no se encontraba previamente establecido.

Figura 22

Recipiente de medida para el cálculo de los pesos unitarios



En el ensayo se puede emplear un molde cilíndrico de volumen conocido, siempre que sus dimensiones sean adecuadas para el tamaño del agregado y permitan realizar correctamente el llenado, compactación y enrase.

3. Determinación del peso unitario suelto

Para obtener el peso unitario suelto, el agregado se introdujo en el recipiente de ensayo sin realizar ningún tipo de compactación. El material fue

colocado de manera gradual con ayuda de una pala o cuchara, procurando que la caída no superara aproximadamente los 5 cm respecto al borde del molde, a fin de evitar impactos, acomodos forzados o separación de partículas.

Cuando el recipiente quedó completamente lleno, la superficie fue nivelada con una regla metálica, retirando únicamente el material excedente y conservando la condición suelta del agregado. Luego se pesó el conjunto formado por el recipiente y el agregado, registrándose el valor obtenido para los cálculos correspondientes.

Figura 23

Determinación del peso unitario suelto



Nota. Registro fotográfico de la determinación del peso unitario suelto de los agregados

Este procedimiento permite determinar la masa del agregado que ocupa un volumen conocido en condición suelta.

4. Determinación del peso unitario compactado

Para determinar el peso unitario compactado, el agregado se colocó dentro del recipiente en tres capas de espesor similar. Cada una fue apisonada

con una varilla metálica mediante 25 golpes, distribuidos de forma uniforme sobre toda la superficie del material. Durante este proceso se procuró no impactar directamente el fondo del recipiente ni desacomodar las capas previamente compactadas.

Al completar la tercera capa, se añadió el material necesario hasta llenar el recipiente y se niveló la parte superior con una regla metálica, retirando el excedente. Finalmente, se pesó el recipiente con el agregado compactado y se registró el valor correspondiente para el cálculo del peso unitario.

Figura 24

Determinación del peso unitario compactado



Nota. Registro fotográfico de la determinación del peso unitario compactado de los agregados

Este procedimiento permitió determinar la masa del agregado que ocupa un volumen conocido después de aplicar compactación por apisonado.

5. Repetición del ensayo

El ensayo se realizó como mínimo en tres repeticiones para cada tipo de agregado y condición evaluada, es decir, peso unitario suelto y peso unitario compactado. Los valores obtenidos fueron promediados con la finalidad de reducir el error experimental y obtener un resultado más representativo.

Cálculo del peso unitario

El peso unitario del agregado se calculó mediante la siguiente expresión:

$$PU = \frac{M_2 - M_1}{V}$$

Donde:

PU = peso unitario del agregado, en kg/m³.

$\mathbf{M_2}$ = masa del recipiente más agregado, en kg.

$\mathbf{M_1}$ = masa del recipiente vacío, en kg.

V = volumen del recipiente, en m³.

La misma fórmula se emplea para el peso unitario> suelto y para el peso unitario compactado, diferenciándose únicamente por la forma de colocación del agregado en el recipiente.

Cálculo del % de vacíos

Cuando se dispone del peso específico del agregado, puede calcularse el % de vacíos entre partículas mediante la siguiente expresión:

$$Vacíos(\%) = \frac{(G \times \rho_w) - PU}{G \times \rho_w} \times 100$$

Donde:

G = peso específico del agregado.

ρw = densidad del agua, aproximadamente 1000 kg/m³.

PU = peso unitario del agregado, en kg/m³.

Figura 25

Molde para ensayo de peso unitario



Nota. Laboratorio Geoestudio S.A.C. (2025)

El peso unitario expresa la cantidad de masa de agregado contenida en una unidad de volumen, considerando tanto el estado suelto como el compactado. Este parámetro resulta útil en el diseño de mezclas, porque permite calcular el volumen real que ocuparán los agregados y evaluar cómo se distribuyen o acomodan sus partículas dentro de la estructura del concreto.

Un peso unitario compactado mayor indica que las partículas del agregado se acomodan mejor y dejan menor cantidad de vacíos. Esto puede favorecer una mezcla más densa, con menor demanda de concreto y mejor comportamiento mecánico. En cambio, un peso unitario bajo puede indicar

mayor cantidad de vacíos, mala gradación, partículas alargadas o angulares en exceso, lo cual puede afectar la trabajabilidad y la resistencia del concreto.

3.4.7. Dosificación de la mezcla de concreto

Norma aplicable

La dosificación del concreto se desarrolló con base en el procedimiento propuesto por el ACI 211.1, el cual orienta la selección de proporciones para concretos de peso normal, pesado y masivo. Este método permite establecer las cantidades de cemento, agua, agregado fino, agregado grueso y aire necesarias para producir 1 m^3 de concreto, considerando la resistencia requerida, la trabajabilidad esperada, la durabilidad y las propiedades físicas de los materiales disponibles.

Para la fabricación y curado de las probetas en laboratorio se tomó como referencia la ASTM C192/C192M, equivalente a la NTP 339.183. La verificación del asentamiento del concreto fresco se efectuó de acuerdo con la ASTM C143/C143M, equivalente a la NTP 339.035.

Procedimiento

1. Datos requeridos para el procedimiento

Previo a la determinación de las proporciones constitutivas de la mezcla, se efectuó la recopilación y sistematización de los parámetros técnicos correspondientes a los materiales intervinientes. Para ello, se consideraron la resistencia especificada del concreto, el asentamiento de diseño, el tamaño máximo nominal del agregado grueso, los pesos específicos de los agregados, el peso unitario compactado, el contenido de humedad natural, la capacidad de

absorción y el módulo de finura del agregado fino. Dichas propiedades constituyeron la base técnica para efectuar los ajustes de dosificación necesarios y establecer una mezcla coherente con los requerimientos del programa experimental.

2. Selección del asentamiento

Se definió el valor de asentamiento requerido en función del tipo de concreto preparado y de las condiciones previstas para su colocación. Este parámetro permitió establecer la consistencia esperada de la mezcla fresca y sirvió como referencia para estimar la cantidad inicial de agua de diseño.

La trabajabilidad fue comprobada mediante el ensayo del cono de Abrams, siguiendo los criterios de la ASTM C143/C143M. Esta prueba permitió verificar que el concreto tuviera una consistencia adecuada para ser colocado, moldeado y compactado correctamente en las probetas.

Figura 26

Ensayo de "slump" ó asentamiento del concreto



Nota. Selección del asentamiento del concreto con la incorporación de la bacteria Bacillus subtilis.

3. Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso

El tamaño nominal del agregado grueso se definió considerando la disponibilidad del material, las dimensiones de los moldes cilíndricos y las condiciones de compactación. Este parámetro interviene directamente en el comportamiento de la mezcla, ya que influye en la demanda de agua, la facilidad de colocación y el acomodo interno de las partículas.

El empleo de agregados de mayor tamaño puede disminuir la cantidad de agua requerida; sin embargo, su selección debe ser compatible con el tipo de probeta, el equipo utilizado y las características del concreto que se busca obtener.

4. Estimación del agua de mezclado y contenido de aire

La cantidad inicial de agua se estimó a partir del asentamiento previsto y del tamaño nominal del agregado grueso, siguiendo las tablas del método ACI 211.1. También se consideró el % aproximado de aire atrapado, de acuerdo con el tipo de concreto y la granulometría del agregado.

En las mezclas con incorporación de Bacillus subtilis, el volumen de suspensión bacteriana fue considerado como parte del líquido total de mezclado. Así se mantuvo constante la cantidad global de agua incorporada en todos los tratamientos evaluados.

5. Selección de la relación agua/cemento

La relación agua/cemento se seleccionó en función de la resistencia de diseño y las condiciones de durabilidad requeridas. Este parámetro fue

importante porque influye directamente en la porosidad, resistencia y permeabilidad del concreto.

Una vez seleccionada la relación agua/cemento, se mantuvo constante para todas las mezclas, tanto para el concreto patrón como para los concretos con incorporación de *Bacillus subtilis*. Esta condición permitió que la diferencia entre los grupos evaluados se atribuyera principalmente a la concentración bacteriana incorporada.

6. Cálculo del contenido de cemento

La masa de cemento requerida se obtuvo a partir de la relación entre el agua de diseño y la relación agua/cemento adoptada para la mezcla. Este cálculo permitió establecer la cantidad de cemento necesaria para producir un metro cúbico de concreto.

$$C = \frac{A}{(a/c)}$$

Donde:

C: cantidad de cemento requerida, expresada en kg/m³.

A: agua de mezclado considerada en el diseño, expresada en kg/m³ o L/m³.

a/c: relación agua/cemento seleccionado.

7. Estimación del contenido de agregado grueso

La cantidad de agregado grueso se estimó considerando el tamaño nominal máximo del material y el módulo de finura del agregado fino, conforme

al procedimiento propuesto por el ACI 211.1. El volumen seleccionado para el agregado grueso fue transformado a masa mediante el peso unitario compactado.

Este cálculo permitió definir la proporción de piedra necesaria para lograr una mezcla con buen acomodo de partículas, estabilidad volumétrica y resistencia adecuada.

8. Estimación del contenido de agregado fino

La cantidad de agregado fino se calculó aplicando el criterio de volumen absoluto. Para ello, primero se determinaron los volúmenes correspondientes al cemento, agua, aire incorporado y agregado grueso. La diferencia entre la suma de estos volúmenes y 1 m³ fue asignada al agregado fino.

$$V_{af} = 1 - (V_c + V_a + V_{ag} + V_{aire})$$

Donde:

Vaf: vol. correspondiente al agregado fino.

Vc: vol.ocupado por el cemento.

Va: vol.ocupado por el agua.

Vag: vol.correspondiente al agregado grueso.

Vaire: vol.de aire atrapado en la mezcla.

Luego, el volumen del agregado fino fue convertido a masa utilizando su peso específico.

Figura 27

Incorporación de los agregados para la elaboración de las probetas



Nota. Registro fotográfico de la distribución de loa componentes para la elaboración de las probetas y la cantidad de muestras

9. Corrección por humedad y absorción de los agregados

Las cantidades calculadas inicialmente corresponden a agregados en condición saturada superficialmente seca. Sin embargo, en laboratorio los agregados pueden encontrarse con humedad natural. Por ello, se realizó la corrección por humedad y absorción, con el propósito de mantener constante el agua efectiva de la mezcla.

Cuando el agregado contenía humedad superficial, esta fue descontada del agua de mezclado. Cuando el agregado se encontraba por debajo de su condición saturada superficialmente seca, se consideró el agua que podía

absorber durante la mezcla. Esta corrección permitió controlar la relación agua/cemento y evitar variaciones en la trabajabilidad y resistencia del concreto.

10. Incorporación de Bacillus subtilis en el agua de mezclado

Para las mezclas bacterianas, la incorporación de Bacillus subtilis se realizó mediante suspensiones bacterianas preparadas en concentraciones de 10^4, 10^6 y 10^8 UFC/mL. Estas suspensiones fueron adicionadas al concreto como parte del agua de mezclado.

Figura 28

Incorporación de la bacteria Bacillus subtillis en el agua del concreto



Nota. Registro fotográfico de la incorporación de la bacteria Bacillus subtillis a la mezcla de concreto.

El grupo control fue elaborado con agua sin bacteria, equivalente a 0 UFC/mL. En todos los casos, el volumen de suspensión bacteriana fue considerado dentro del contenido total de agua, con el fin de conservar constante la relación agua/cemento. De esta manera, las mezclas se diferenciaron únicamente por la concentración bacteriana incorporada.

11. Elaboración de la mezcla de prueba

Con las cantidades calculadas, se elaboró una mezcla de prueba en laboratorio. Durante este proceso se verificó la uniformidad de la mezcla, el asentamiento y la facilidad de colocación en los moldes cilíndricos.

Si la mezcla no alcanzaba el asentamiento esperado, se realizaron ajustes mínimos manteniendo constante la relación agua/cemento. Este control fue necesario para garantizar que las probetas tuvieran condiciones comparables entre el grupo patrón y los grupos con Bacillus subtilis.

Figura 29

Elaboración de la mezcla de prueba



Nota. Registro fotográfico de la elaboración de la mezcla de prueba.

12. Elaboración de especímenes cilíndricos

Con la dosificación previamente definida y verificada, se fabricaron las probetas cilíndricas que serían utilizadas en los ensayos de resistencia a la compresión y evaluación de autorreparación del concreto.

Una vez humedecida el molde, la mezcla fue colocada en moldes limpios, compactada de manera uniforme a 25 golpes en 3 periodos de tiempo (capas).La primera en unos 6 a 8cm en base al volumen del molde y así con las otras 2 etapas de llenado.

Figura 30

Proceso de llenado a los moldes



Nota. Registro fotográfico de la incorporación de la bacteria Bacillus subtillis a la mezcla de concreto y su posterior llenado de las probetas

Luego la mezcla será curada bajo condiciones controladas, conforme al procedimiento establecido para especímenes de concreto elaborados en laboratorio.

El diseño de mezcla permitió definir la cantidad necesaria de cemento, agua, agregado fino y agregado grueso para producir un concreto convencional con la resistencia prevista y una trabajabilidad adecuada para el moldeo de las probetas. En las mezclas con Bacillus subtilis, la suspensión bacteriana fue

incorporada como parte del volumen total de agua de mezclado, evitando alterar la dosificación líquida del concreto.

Este control permitió mantener constante la relación agua/cemento en todos los tratamientos. De esta manera, las variaciones observadas en la resistencia a la compresión y en el proceso de autorreparación pudieron asociarse principalmente a la presencia de la bacteria, y no a cambios en la cantidad de agua, cemento o agregados.

3.4.8. Preparación e incorporación de Bacillus subtilis al concreto

Norma y especificación aplicable

Para la incorporación bacteriana se empleó el producto comercial Fungisei, formulado como suspensión concentrada a base de *Bacillus subtilis* cepa IAB/BS03. De acuerdo con la información técnica del producto, la concentración declarada es de 1×10^8 UFC/mL, correspondiente a una formulación líquida tipo SC (suspensión controlada). Para la elaboración, mezclado, moldeo y curado de las probetas de concreto se tomó como referencia la norma ASTM C192/C192M y su equivalente peruana NTP 339.183.

Procedimiento

1. Selección del producto bacteriano

Se seleccionó el producto comercial Fungisei 1L, el cual contiene *Bacillus subtilis* cepa IAB/BS03. La elección de este producto se realizó debido a que declara una concentración bacteriana de 1×10^8 UFC/mL, lo que permitió utilizarlo como fuente de *Bacillus subtilis* para la preparación de las mezclas bacterianas.

Figura 31

Producto comercial Fungisei 1L



Nota. AgroBesser (2025)

El producto fue considerado como una suspensión bacteriana comercial, por lo que no fue necesario realizar aislamiento microbiológico ni cultivo inicial de la cepa. Sin embargo, su uso en la investigación requiere registrar la marca, lote, fecha de vencimiento y concentración declarada por el fabricante, con la finalidad de asegurar la trazabilidad del insumo utilizado.

2. Verificación de la información del producto

Antes de su incorporación al concreto, se revisó la información técnica del producto, verificando que el ingrediente activo declarado corresponda a *Bacillus subtilis* cepa IAB/BS03 y que su concentración sea de 1 × 10^8 UFC/mL. Esta concentración fue tomada como concentración base para preparar los tratamientos definidos en la investigación.

Figura 32

Ficha técnica del producto



Nota. Fungisei (2021)

El producto fue manipulado siguiendo las recomendaciones de seguridad indicadas por el fabricante y bajo condiciones de limpieza, evitando contaminación del insumo o alteración de su concentración.

3. Preparación de las concentraciones bacterianas

A partir de la suspensión comercial de *Bacillus subtilis* cepa IAB/BS03, cuya concentración declarada es 1 × 10^8 UFC/mL, se prepararon las concentraciones requeridas para el estudio:

- 0 UFC/mL, grupo de control;
- 10^4 UFC/mL;
- 10^6 UFC/mL;
- 10^8 UFC/mL.

El grupo de 10^8 UFC/mL correspondió a la concentración original declarada del producto comercial. Las concentraciones de 10^6 UFC/mL y 10^4

UFC/mL se obtuvieron mediante dilución de la suspensión comercial en agua de mezclado, manteniendo el volumen total de agua previsto en el diseño de mezcla.

Para evitar alterar la relación agua/cemento, el volumen de producto comercial o suspensión diluida fue considerado dentro del agua total de mezclado. De esta manera, la variable modificada entre grupos fue la concentración de *Bacillus subtilis*, manteniéndose constantes los demás componentes del concreto.

4. Incorporación al agua de mezclado

La incorporación de *Bacillus subtilis* se realizó a través del agua de mezclado. Para cada tratamiento, el agua fue preparada previamente con la concentración bacteriana correspondiente, homogenizando la suspensión antes de su incorporación a la mezcla.

Figura 33

Incorporación de la bacteria a la mezcla de concreto



Nota. Registro fotográfico de la incorporación de la bacteria Bacillus subtillis a la mezcla de concreto.

El grupo control fue elaborado únicamente con agua sin bacteria. En los tratamientos bacterianos, el producto comercial o sus diluciones fueron incorporados como parte del agua de diseño, evitando añadir líquido adicional que pudiera modificar la relación agua/cemento.

5. Elaboración de las mezclas de concreto

Una vez preparada el agua de mezclado con la concentración correspondiente de *Bacillus subtilis*, se procedió a elaborar las mezclas de concreto. Para todos los grupos se mantuvieron constantes las cantidades de cemento, agregado fino, agregado grueso y agua total.

La única variación entre las mezclas fue la concentración bacteriana incorporada:

- concreto patrón: 0 UFC/mL;
- concreto con baja concentración: 10^4 UFC/mL;
- concreto con concentración media: 10^6 UFC/mL;
- concreto con alta concentración: 10^8 UFC/mL.

Esta organización permitió comparar el comportamiento del concreto convencional frente al concreto modificado con *Bacillus subtilis*.

6. Moldeo y curado de probetas

Las mezclas fueron colocadas en moldes cilíndricos de 15 × 30 cm, compactadas de manera uniforme y curadas bajo condiciones controladas. Las probetas fueron distribuidas según el ensayo correspondiente.

El curado se realizó en ambiente húmedo/sumergido, debido a que la humedad favorece la hidratación del cemento y permite generar condiciones adecuadas para la actividad bacteriana asociada a la precipitación de carbonato de calcio.

Este procedimiento permitió incorporar *Bacillus subtilis* al concreto mediante un producto comercial de concentración conocida. La ventaja de este método es que se trabaja con una suspensión bacteriana ya formulada, reduciendo la necesidad de realizar cultivo microbiológico desde una cepa pura.

La incorporación mediante el agua de mezclado permitió distribuir la bacteria dentro de la mezcla sin modificar la relación agua/cemento. Esto aseguró que las diferencias observadas en resistencia y autorreparación se atribuyan principalmente a la concentración bacteriana y no a cambios en la dosificación del concreto.

La concentración bacteriana considerada en la presente investigación corresponde a la declarada por el fabricante del producto comercial. No se realizó recuento microbiológico independiente, por lo que este aspecto se reconoce como una limitación metodológica del estudio.

3.4.9. Evaluación de la resistencia a compresión

Norma aplicable

La resistencia a compresión del concreto se determinó tomando como referencia la norma ASTM C39/C39M, la cual regula el ensayo de especímenes cilíndricos de concreto, ya sean moldeados en laboratorio o extraídos de una estructura. En el ámbito nacional, este procedimiento se encuentra contemplado

en la NTP 339.034, aplicada para el control de calidad y estudios experimentales con probetas cilíndricas.

Ambas normas establecen que la carga debe aplicarse en sentido axial, de forma progresiva, continua y sin impactos, hasta producir la falla del espécimen. Para garantizar resultados confiables, la ASTM C39/C39M recomienda mantener una velocidad de carga aproximada de 0.25 ± 0.05 MPa/s durante el ensayo.

Procedimiento

1. Selección de las probetas

Se seleccionaron las probetas cilíndricas destinadas al ensayo de resistencia a la compresión, elaboradas según las concentraciones de Bacillus subtilis establecidas en la investigación: 0 UFC/mL, 10^4 UFC/mL, 10^6 UFC/mL y 10^8 UFC/mL. Estas probetas fueron independientes de las utilizadas para la evaluación de autorreparación, debido a que el ensayo de compresión es destructivo y requiere especímenes íntegros.

En la presente investigación, las probetas fueron ensayadas a las edades de 7, 14 y 28 días, con tres repeticiones por cada concentración y edad de curado.

2. Retiro de las probetas del curado

Cumplida la edad de ensayo correspondiente, las probetas fueron retiradas del tanque o ambiente de curado. Luego se limpiaron superficialmente para retirar el exceso de agua y partículas adheridas. Este paso permitió evitar

interferencias durante la colocación del espécimen en la máquina de compresión.

3. Verificación de dimensiones y estado superficial

Antes del ensayo, se verificó que las probetas no presentaran defectos visibles, daños por manipulación, pérdida de material o irregularidades que pudieran afectar el resultado. También se revisó la uniformidad de sus extremos, debido a que una superficie irregular puede generar una distribución no uniforme de esfuerzos durante la aplicación de carga.

Cuando fue necesario, se aseguró que las caras de carga presentaran condiciones adecuadas de contacto con los platos de la máquina de compresión, siguiendo los criterios establecidos por la norma aplicable.

4. Colocación de la probeta en la máquina de compresión

La probeta fue colocada en posición vertical sobre el plato inferior de la máquina de compresión. Luego se centró cuidadosamente respecto al eje de carga, procurando que el esfuerzo se aplique de forma axial y uniforme.

El correcto centrado de la probeta es importante porque una carga excéntrica puede producir fallas prematuras o resultados no representativos de la resistencia real del concreto.

5. Aplicación de la carga

Una vez posicionada la probeta, se aplicó la carga de manera continua, uniforme y sin impactos hasta producir la falla. La velocidad de aplicación de

carga se mantuvo dentro del rango establecido por ASTM C39/C39M, equivalente a 0.25 ± 0.05 MPa/s.

Durante esta etapa se observó el comportamiento del espécimen y se evitó cualquier interrupción innecesaria del ensayo. La carga fue incrementándose progresivamente hasta que la probeta alcanzó su carga máxima y presentó ruptura.

Figura 34

Aplicación de la carga con la máquina del ensayo a compresión



Nota. Registro fotográfico de la aplicación de la carga a compresión para los especímenes.

6. Registro de la carga máxima

Cuando la probeta alcanzó la falla, se registró la carga máxima resistida durante el ensayo. Este dato se empleó para determinar la resistencia a

compresión, dividiendo la carga última entre el área transversal del espécimen cilíndrico.

Figura 35

Registro de las cargas máximas



Nota. Registro fotográfico de la lectura de las cargas y los especímenes comprimidos.

También se registró el tipo de falla observado, ya que este dato permite evaluar la calidad del ensayo y detectar posibles problemas asociados a centrado, compactación, curado o preparación de los extremos del espécimen.

Cálculo de la f'c

La f'c se calculó mediante la siguiente expresión:

$$f'c = \frac{P_{max}}{A}$$

Donde:

- f'c = f'c del concreto, en MPa o kg/cm².

- Pmax = carga máxima soportada por la probeta, en N o kgf.
- A = área de la sección transversal de la probeta, en mm² o cm².

Para probetas cilíndricas, el área se calcula mediante:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

Donde:

D = diámetro promedio de la probeta.

El ensayo de resistencia a la compresión, expresado mediante el valor de f'c, permite cuantificar la capacidad mecánica del concreto endurecido para resistir esfuerzos axiales de compresión hasta alcanzar su condición de falla. Dicho parámetro constituye uno de los principales indicadores de desempeño y calidad del concreto, al posibilitar la comparación del comportamiento resistente entre la mezcla patrón y las dosificaciones modificadas.

En la presente investigación, la resistencia a la compresión fue evaluada a las edades de 7, 14 y 28 días de curado, conforme a los procedimientos establecidos en las normativas técnicas aplicables, con la finalidad de verificar la evolución del desarrollo resistente del concreto y determinar el cumplimiento de los requerimientos mecánicos previstos.

3.4.10. Fisuración por carga controlada

Procedimiento

1. Elaboración de probetas para autorreparación

Para la evaluación de la capacidad de autorreparación se elaboraron probetas adicionales, independientes de las utilizadas en el ensayo de f'c. Esta

separación fue necesaria debido a que las probetas destinadas a autorreparación fueron sometidas a fisuración inducida, lo cual podría alterar su comportamiento mecánico si posteriormente fueran usadas para compresión.

En el presente estudio se consideraron 12 probetas cilíndricas destinadas exclusivamente a la evaluación de autorreparación, distribuidas de la siguiente manera:

4 concentraciones × 3 repeticiones = 12 probetas para autorreparación

Estas probetas se elaboran con:

- 0 UFC/mL, grupo control;
- 10^4 UFC/mL;
- 10^6 UFC/mL;
- 10^8 UFC/mL.

2. Curado inicial

Las probetas destinadas a autorreparación fueron sometidas a un curado inicial bajo condiciones controladas de humedad. Este proceso permitió que el concreto alcanzara una resistencia suficiente antes de ser fisurado, evitando que la muestra se fracture completamente durante la inducción de la fisura.

En la presente investigación, las probetas fueron curadas inicialmente y luego fisuradas de manera controlada, generando una abertura aproximada de 0.30 mm. Esta abertura fue seleccionada con la finalidad de evaluar el cierre de fisuras pequeñas, las cuales son representativas en estudios de autorreparación del concreto.

3. Inducción de la fisura

La fisura fue inducida mediante carga diametral tipo tracción indirecta. Para ello, cada probeta cilíndrica fue colocada en posición horizontal dentro de la máquina de ensayo, aplicándose una carga diametral creciente de manera gradual y controlada.

El objetivo de este procedimiento no fue producir la falla total de la probeta, sino generar una fisura longitudinal visible y medible. Por esta razón, la aplicación de carga se detuvo cuando la fisura alcanzó una abertura aproximada de 0.30 mm.

Este procedimiento se relaciona con el principio del ensayo de tracción indirecta en especímenes cilíndricos, establecido en la norma ASTM C496/C496M. Sin embargo, en esta investigación no se utilizó para determinar la resistencia a tracción, sino únicamente como mecanismo controlado para inducir una fisura inicial en las probetas destinadas a la evaluación de autorreparación.

4. Control del ancho inicial de fisura

Después de inducir la fisura, se procedió a medir el ancho inicial mediante un fisurómetro, microscopio digital o lupa graduada. La medición se realizó en tres puntos de la fisura, con la finalidad de obtener un valor promedio representativo.

Los puntos de medición fueron:

- punto superior;
- punto medio;
- punto inferior.

Se consideraron válidas únicamente las fisuras con abertura inicial aproximada de **0.30 mm ± 0.05 mm**. Las fisuras que se encontraron fuera de este rango no fueron consideradas para el análisis, con el propósito de mantener uniformidad entre las muestras evaluadas.

El ancho inicial promedio se calculó mediante la siguiente expresión:

$$Ai=Ai1+Ai2+Ai / 3$$

Donde:

Ai = ancho inicial promedio de la fisura.

Ai1, Ai2 y Ai3 = mediciones iniciales tomadas en los tres puntos de control.

5. Curado para autorreparación

Una vez registrado el ancho inicial, las probetas fisuradas fueron sometidas a curado húmedo. Esta condición permitió favorecer la hidratación del cemento y la actividad bacteriana asociada a la precipitación de carbonato de calcio.

El curado húmedo fue importante porque la presencia de humedad permite que Bacillus subtilis participe en el proceso de bioprecipitación, favoreciendo el depósito de carbonato de calcio dentro de la fisura. Este depósito mineral contribuye al cierre progresivo de la abertura y permite evaluar la capacidad de autorreparación del concreto.

El cierre de fisuras será evaluado a los 28 dias posteriores a la fisuración inducida.

6. Medición del ancho final

Al finalizar los 28 días de curado húmedo, se realizó la medición del ancho final de la fisura en los mismos puntos registrados inicialmente. Esto permitió

comparar la variación del ancho de fisura antes y después del proceso de autorreparación.

Los puntos de medición fueron:

- punto superior;
- punto medio;
- punto inferior.

El ancho final promedio se calculó mediante la siguiente expresión:

$$Af=Af1+Af2+Af/3$$

Donde:

Af = ancho final promedio de la fisura.

Af1, Af2 y Af3 = mediciones finales tomadas en los tres puntos de control.

7. Cálculo del % de autorreparación

La fórmula sería:

$$\text{Autorreparación } (\%)=Ai-Af/Ai\times100$$

Donde:

Ai = ancho inicial de fisura.

Af = ancho final de fisura.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Caracterización de los agregados

4.1.1. Agregado fino

El agregado fino utilizado en la investigación corresponde a una arena natural de origen aluvial, procedente de la cantera Isla, ubicada en la región Puno. Presenta una textura media, coloración gris clara y una granulometría bien gradada, características que favorecen la trabajabilidad del concreto y la adecuada distribución de vacíos en la mezcla.

Tabla 4

Propiedades físicas del agregado fino

Propiedad	Valor
Humedad natural (%)	3.20
Peso específico SSD	2.57
Peso específico seco	2.52

Propiedad	Valor
Absorción (%)	2.10
Módulo de finura	2.65
Material pasante N°200 (%)	1.80

Interpretación: En la Tabla 4 se detallan las características físicas del agregado fino empleado en la preparación del concreto. La humedad natural registrada fue de 3.20 %, dato relevante para realizar la corrección del agua de mezclado y mantener controlada la relación agua-cemento. El peso específico en estado saturado superficialmente seco fue de 2.57, mientras que el peso específico seco alcanzó 2.52, valores compatibles con agregados finos usados en concretos convencionales. La absorción de 2.10 % refleja una retención de agua moderada, sin representar una condición desfavorable para la mezcla. El módulo de finura de 2.65 indica una gradación intermedia, adecuada para favorecer la trabajabilidad, el acomodo de partículas y la compactación. El material pasante por el tamiz N.º 200 fue de 1.80 %, % bajo y aceptable, lo que evidencia poca presencia de finos o polvo. En conjunto, estos resultados muestran que el agregado fino reúne condiciones técnicas apropiadas para su empleo en el concreto evaluado.

4.1.2. Agregado grueso

El agregado grueso empleado es una grava de origen ígneo (andesita), triturada mecánicamente, con partículas angulares y superficie rugosa, lo que mejora la adherencia con la pasta cementicia. Los valores de desgaste a Los

Ángeles y absorción se encuentran dentro de los límites permisibles, garantizando un comportamiento mecánico adecuado.

Tabla 5

Propiedades físicas del agregado grueso

Propiedad	Valor
Humedad natural (%)	1.10
Peso específico SSD	2.64
Absorción (%)	1.80
Desgaste Los Ángeles (%)	22.5
Tamaño máximo nominal	19 mm

Interpretación: En la Tabla 5 se muestran las propiedades físicas del agregado grueso utilizado en la elaboración del concreto. La humedad natural obtenida fue de 1.10 %, valor bajo en comparación con el agregado fino, lo que indica menor presencia de agua superficial y facilita el control de la dosificación durante el mezclado. El peso específico en condición saturada superficialmente seca fue de 2.64, resultado propio de agregados pétreos empleados en concretos convencionales y favorable para la estabilidad volumétrica de la mezcla. La absorción registrada fue de 1.80 %, lo que evidencia una capacidad moderada para retener agua. Este valor debe considerarse al momento de ajustar el agua efectiva, evitando alteraciones en la relación agua-cemento. El desgaste Los Ángeles alcanzó 22.5 %, resultado que refleja buena resistencia frente a la abrasión y al impacto, ubicándose dentro de los rangos aceptables para agregados destinados a concreto estructural. El tamaño máximo nominal

de 19 mm, conforme a los criterios de la ASTM C33, permite una adecuada distribución del material dentro de la mezcla y favorece la compactación de las probetas. En conjunto, los resultados indican que el agregado grueso presenta condiciones físicas apropiadas para su uso en el concreto del presente estudio. Su baja humedad, resistencia al desgaste y tamaño nominal adecuado contribuyen a obtener una mezcla más estable, compacta y con mejores posibilidades de desarrollar la resistencia prevista.

4.2. Diseño de mezclas

La dosificación del concreto se desarrolló aplicando el procedimiento ACI 211.1, orientado al diseño de concretos convencionales sin incorporación intencional de aire. Se trabajó con una resistencia especificada de f'c = 210 kg/cm², valor adoptado como parámetro base para la elaboración de la mezcla patrón.

Esta dosificación inicial permitió establecer las cantidades de cemento, agua, agregado fino y agregado grueso necesarias para obtener un concreto con la trabajabilidad y resistencia previstas. A partir de la mezcla patrón se prepararon los tratamientos con incorporación de Bacillus subtilis en concentraciones de 10^4, 10^6 y 10^8 UFC/mL, manteniendo constante la proporción de materiales para evaluar únicamente el efecto de la bacteria.

Resist. prom, requerida

El método ACI 211.1 recomienda trabajar con una resistencia promedio superior a la resistencia especificada, debido a la variabilidad natural del concreto durante su elaboración, colocación, curado y ensayo. Para un concreto

con f'c = 210 kg/cm², se consideró una resistencia media de diseño que permita asegurar el cumplimiento del valor requerido en las probetas evaluadas:

$$f'cr = f'c + 84$$

$$f'cr = 210 + 84 = 294\ kg/cm^2$$

Tabla 6

Resistencia requerida

Resistencia especificada	Criterio ACI	Resist. prom, requerida
f'c = 210 kg/cm²	f'cr = f'c + 84	f'cr = 294 kg/cm²

Nota. Se adoptó una resist. prom, requerida de 294 kg/cm² para asegurar que la mezcla alcance la resistencia especificada de 210 kg/cm².

Selección del asentamiento

Para la elaboración de probetas cilíndricas en laboratorio se consideró una consistencia plástica y trabajable. Por ello, se adoptó un asentamiento de referencia entre 3" y 4", equivalente aproximadamente a 7.5 cm y 10 cm.

Tabla 7

Eleccion del asentamiento

Consistencia	Asentamiento	Condición de trabajabilidad	Tipo de compactación
Seca	0" – 2"	Poco trabajable	Vibración normal
Plástica	3" – 4"	Trabajable	Vibración ligera o varillado
Fluida	Mayor a 5"	Muy trabajable	Varillado o chuseado

Nota. Para la presente investigación se adoptó una consistencia plástica, con asentamiento de referencia de 3" a 4". Posteriormente, el asentamiento real fue verificado mediante el ensayo de slump, obteniéndose 10.2 cm para el concreto patrón.

Relación agua/cemento

La relación agua-cemento fue definida tomando como referencia la resistencia promedio requerida de 294 kg/cm². Al revisar la tabla correspondiente para concretos sin aire incorporado, este valor se ubica dentro del intervalo comprendido entre 250 kg/cm² y 300 kg/cm². A partir de dicha referencia se seleccionó una relación agua-cemento adecuada para garantizar el desarrollo de la resistencia prevista en el diseño.

Tabla 8

Relación agua/cemento

Resistencia a compresión a 28 días	Relación a/c sin aire incorporado
300 kg/cm²	0.55
250 kg/cm²	0.62

Nota. Interpolando para 294 kg/cm²:

X=0.56X = 0.56X=0.56

Por tanto, se adoptó:

a/c=0.56a/c = 0.56a/c=0.56

La relación agua/cemento seleccionada fue 0.56, correspondiente a un concreto sin aire incorporado.

Cálculo del volumen unitario de agua

Para el diseño de la mezcla se consideró un agregado grueso con tamaño máximo nominal de 19 mm, valor equivalente aproximadamente a 3/4". Con un asentamiento previsto entre 3" y 4", el método ACI 211.1 establece como referencia un contenido de agua de 205 L/m³, cantidad adoptada para obtener una consistencia adecuada en el concreto fresco.

Tabla 9

Volumen unitario de agua

Asentamiento	TMN del agregado grueso	Tipo de concreto	Agua estimada
3” – 4”	3/4”	Sin aire incorporado	205 L/m³

Nota. Se consideró 205 L/m³ de agua como valor inicial para el diseño de mezcla.

Cálculo del contenido de cemento

$$C = \frac{Agua}{a/c}$$

$$C = \frac{205}{0.56}$$

$$C = 366.07\ kg/m^3$$

Tabla 10

Contenido de cemento

Parámetro	Valor
Agua de diseño	205 kg/m³
Relación agua/cemento	0.56
Cemento calculado	366.07 kg/m³

Nota. El contenido de cemento calculado para el diseño fue de 366.07 kg/m³.

Selección del contenido de aire atrapado

El % de aire atrapado fue establecido considerando un agregado grueso con tamaño máximo nominal de 19 mm (3/4”). De acuerdo con las recomendaciones del método ACI 211.1 para concretos convencionales sin incorporación intencional de aire, se adoptó un contenido de 2.0 %, valor utilizado

en el diseño de la mezcla para estimar correctamente el volumen de los componentes.

Tabla 11

Aire atrapado

Tamaño máximo nominal	Aire atrapado
3/4”	2.0 %

Nota. Se consideró un volumen de aire atrapado de 0.020 m³ por metro cúbico de concreto.

Determinación del agregado grueso

La cantidad de agregado grueso en condición seca compactada se obtuvo considerando dos parámetros principales: el tamaño máximo nominal del material y el módulo de finura del agregado fino. Para un agregado grueso de 3/4” y un módulo de finura de 2.65, se realizó una interpolación entre los valores tabulados correspondientes a 2.60 y 2.80, de acuerdo con el procedimiento del método ACI 211.1.

Tabla 12

Determinación del agregado grueso

TMN	MF = 2.60	MF = 2.80	MF usado	Volumen interpolado
3/4”	0.64	0.62	2.65	0.635 m³

Tabla 13

Cantidad de agregado grueso

Parámetro	Valor
Volumen de agregado grueso seco compactado	0.635 m³
Peso unitario seco compactado del agregado grueso	1584 kg/m³
Peso seco del agregado grueso	1005.84 kg/m³

Estimación del agregado fino por volumen absoluto

La cantidad de agregado fino se obtuvo aplicando el criterio de volumen absoluto. Este procedimiento consistió en determinar primero el espacio ocupado por el agua, el cemento, el agregado grueso y el aire atrapado dentro de 1 m³ de concreto. La diferencia resultante fue asignada al agregado fino.

Para desarrollar este cálculo se tomaron como referencia los siguientes valores**:**

$$V_{agua} = \frac{205}{1000} = 0.205\ m^3$$

$$V_{cemento} = \frac{366.07}{3.15 \times 1000} = 0.116\ m^3$$

$$V_{AG} = \frac{1005.84}{2.64 \times 1000} = 0.381\ m^3$$

$$V_{aire} = 0.020\ m^3$$

$$\sum V = 0.205 + 0.116 + 0.381 + 0.020$$

$$\sum V = 0.722\ m^3$$

$$V_{AF} = 1 - 0.722$$

$$V_{AF} = 0.278\ m^3$$

El peso seco del agregado fino se calculó usando el peso específico seco del agregado fino**:**

$$AF = 0.278 \times 2.52 \times 1000$$

$$AF = 700.56\ kg/m^3$$

Tabla 14

Cálculo del agregado fino por valor absoluto

Componente	Volumen absoluto
Agua	0.205 m³
Cemento	0.116 m³
Agregado grueso	0.381 m³
Aire	0.020 m³
Total parcial	0.722 m³
Volumen de agregado fino	0.278 m³
Peso seco del agregado fino	700.56 kg/m³

Corrección por humedad de los agregados

Los pesos secos obtenidos fueron corregidos considerando la humedad natural de los agregados.

Para el agregado fino:

$$AF_{húmedo} = 700.56(1 + 0.032)$$

$$AF_{húmedo} = 722.98\ kg/m^3$$

Para el agregado grueso:

$$AG_{húmedo} = 1005.84(1 + 0.011)$$

$$AG_{húmedo} = 1016.90\ kg/m^3$$

Tabla 15

Corrección de peso por humedad

Material	Peso seco	Humedad natural	Peso húmedo
Agregado fino	700.56 kg/m³	3.20 %	722.98 kg/m³
Agregado grueso	1005.84 kg/m³	1.10 %	1016.90 kg/m³

Nota. La humedad natural del agregado fino fue 3.20 % y la del agregado grueso fue 1.10 %, según la caracterización de materiales

Corrección del agua por humedad y absorción

La corrección del agua se realizó considerando la diferencia entre la humedad natural y la absorción de cada agregado.

Para el agregado fino:

$$Agua_{AF} = 700.56 \times \frac{3.20 - 2.10}{100}$$

$$Agua_{AF} = 7.71\ kg$$

El agregado fino aporta 7.71 L de agua a la mezcla.

Para el agregado grueso:

$$Agua_{AG} = 1005.84 \times \frac{1.10 - 1.80}{100}$$

$$Agua_{AG} = -7.04\ kg$$

El agregado grueso absorbe aproximadamente 7.04 L de agua.

Balance final:

$$Agua_{balance} = 7.71 - 7.04 = 0.67\ L$$

$$Agua_{final} = 205 - 0.67$$

$$Agua_{final} = 204.33\ L/m^3$$

Tabla 16

Corrección del agua efectiva

Material	Peso seco	Humedad	Absorción	Balance de agua
Agregado fino	700.56 kg/m³	3.20 %	2.10 %	+7.71 L
Agregado grueso	1005.84 kg/m³	1.10 %	1.80 %	-7.04 L
Balance neto	—	—	—	**+0.67 L**
Agua de diseño	—	—	—	205.00 L
Agua final a añadir	—	—	—	**204.33 L**

Nota. El agregado fino aporta agua libre a la mezcla, mientras que el agregado grueso absorbe parte del agua de mezclado. Por ello, el agua final a añadir se ajustó a 204.33 L/m³.

Diseño de mezcla final para 1 m³

Material	Dosificación en peso húmedo	Proporción respecto al cemento
Cemento	366.07 kg/m³	1.00
Agregado fino húmedo	722.98 kg/m³	1.98
Agregado grueso húmedo	1016.90 kg/m³	2.78
Agua final a añadir	204.33 L/m³	0.56

Nota. La dosificación fue corregida por humedad y absorción de los agregados. La relación agua/cemento efectiva se mantuvo en 0.56.

Dosificación por bolsa de cemento de 42.5 kg

Tabla 17

Dosificación por bolsa de cemento de 42.5 kg

Material	Cantidad por bolsa
Cemento	42.50 kg
Agregado fino húmedo	84.15 kg
Agregado grueso húmedo	118.15 kg
Agua final	23.73 L

Nota. Esta dosificación permite preparar la mezcla en laboratorio o en campo manteniendo las proporciones obtenidas en el diseño.

Dosificación para 1 probeta cilíndrica de 15 cm × 30 cm

Tabla 18

Dosificación unitaria para cada probeta

Material	Cantidad para 1 probeta
Cemento	1.94 kg
Agregado fino húmedo	3.83 kg
Agregado grueso húmedo	5.39 kg
Agua final	1.08 L

La proporción:

1 : 1.98 : 2.78 : 0.56

Por cada 1 parte de cemento, se emplean 1.98 partes de agregado fino, 2.78 partes de agregado grueso y 0.56 L de agua.

con relación:

a/c=0.56

Separación y dilución del material bacteriano

A. Para Preparar suspensión 10^6 UFC/mL

En un frasco limpio:

Tabla 19

Cálculo de la suspensión 10^6 UFC/mL

Componente	Cantidad
Fungisei puro	10 mL
Agua limpia	990 mL
Total	1000 mL

Preparación en un litro de Fungisei Total = 10^6 UFC/mL

B. Preparar suspensión 10^4 UFC/mL

Primero preparas la suspensión 10^6 como arriba.

Luego en otro frasco:

Tabla 20

Cálculo de la suspensión 10^4 UFC/mL

Componente	Cantidad
Suspensión 10^6 UFC/mL	10 mL
Agua limpia	990 mL

Componente	Cantidad
Total	1000 mL

Preparación en un litro de Fungisei Total = 10^4 UFC/mL

Resultado:

10^4 UFC/mL

C. Para suspensión 10^8 UFC/mL

No se diluye con agua sino se reemplaza directamente al agua para la mezcla:

Tabla 21

Cálculo de la suspensión 10^8 UFC/mL

Componente	Cantidad
Fungisei puro	162.5 mL
Agua limpia para esa suspensión	0 mL

Resultado:

10^8 UFC/mL

Entonces total de

Calculo para 3 probetas para la elaboración de tandas

Para 3 probetas =3250 mL

Utilizando 162.5mL de suspensión bacteriana

$3250 - 162.5 = 3087.5$ mL

Tabla 22

Cálculo de solución bacteriana por grupo de 3

Grupo	Suspensión bacteriana	Agua limpia	Agua total
Control	0 mL	3250 mL	3250 mL
10^4 UFC/mL	162.5 mL de suspensión 10^4	3087.5 mL	3250 mL
10^6 UFC/mL	162.5 mL de suspensión 10^6	3087.5 mL	3250 mL
10^8 UFC/mL	162.5 mL de Fungisei puro	3087.5 mL	3250 mL

Nota. Con las disoluciones se mantiene la relación a/c.

Las concentraciones bacterianas de 10^4, 10^6 y 10^8 UFC/mL corresponden a la cantidad de unidades formadoras de colonias presentes en cada mililitro de suspensión incorporada. Para su preparación se utilizó el producto comercial Fungisei, cuya concentración declarada es 1×10^8 UFC/mL. La concentración de 10^8 UFC/mL se empleó directamente del producto comercial, mientras que las concentraciones de 10^6 y 10^4 UFC/mL se obtuvieron mediante diluciones sucesivas en agua.

Para cada tanda de tres probetas se consideró un volumen total de agua de 3250 mL. En los tratamientos bacterianos se reemplazó el 5 % del agua total, equivalente a 162.5 mL, por suspensión bacteriana de la concentración correspondiente. El volumen restante, 3087.5 mL, correspondió a agua limpia. De esta forma, el volumen total de agua se mantuvo constante y no se alteró la relación agua/cemento del diseño.

4.3. Resultados del concreto en estado fresco

4.3.1. Asentamiento (Slump)

El ensayo de asentamiento se realizó conforme a la norma ASTM C143 con la finalidad de evaluar la trabajabilidad del concreto convencional y del concreto modificado con Bacillus subtilis. Los resultados evidencian una ligera disminución del asentamiento conforme se incrementa la concentración bacteriana, comportamiento atribuible al aumento de sólidos en suspensión dentro de la mezcla.

Tabla 23

Resultados del ensayo de asentamiento

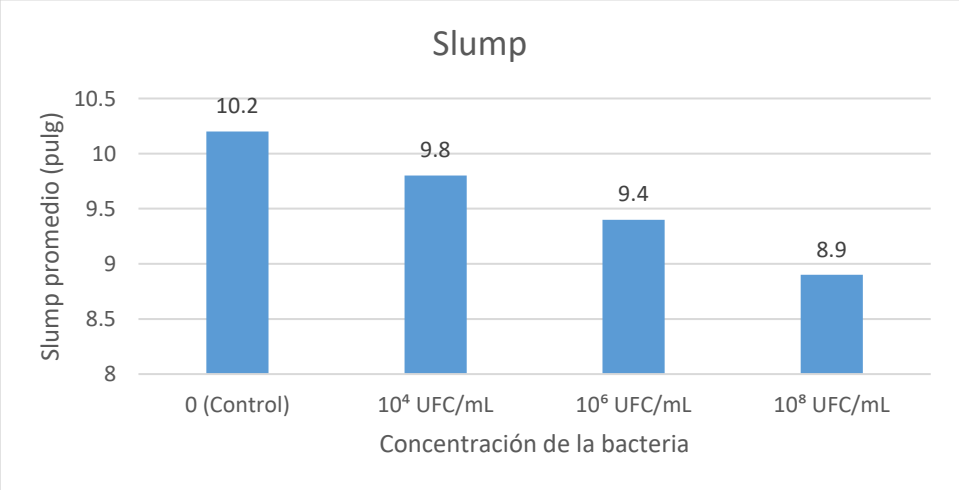
Concentración de *Bacillus subtilis* (UFC/mL)	**Slump promedio (cm)**
0 (Control)	10.2
10^4 UFC/mL	9.8
10^6 UFC/mL	9.4
10^8 UFC/mL	8.9

Interpretación: La Tabla 23 muestra los valores de asentamiento obtenidos en las mezclas de concreto preparadas con distintas concentraciones de Bacillus subtilis. La mezcla patrón, sin incorporación bacteriana, registró un asentamiento promedio de 10.2 cm, lo que evidencia una trabajabilidad adecuada para un concreto convencional. En las mezclas bacterianas se aprecia una reducción gradual del slump conforme aumenta la concentración de Bacillus subtilis. Los valores fueron de 9.8 cm para 10^4 UFC/mL, 9.4 cm para 10^6 UFC/mL

y 8.9 cm para 10^8 UFC/mL. Esta disminución sugiere que la presencia de bacterias y nutrientes puede incrementar ligeramente la cohesión interna de la mezcla, reduciendo su fluidez. Pese a esta variación, los asentamientos registrados se mantienen dentro de un rango aceptable para concretos convencionales. Por ello, la incorporación de Bacillus subtilis no compromete de manera significativa la manejabilidad del concreto bajo las condiciones de laboratorio evaluadas.

Figura 36

Resultados del ensayo de asentamiento



Interpretación: La Figura 36 muestra el comportamiento del asentamiento en las mezclas elaboradas con distintas concentraciones de Bacillus subtilis. La mezcla control alcanzó un slump de 10.2 cm, mientras que los tratamientos con 10^4, 10^6 y 10^8 UFC/mL registraron valores de 9.8 cm, 9.4 cm y 8.9 cm, respectivamente. La gráfica evidencia una disminución progresiva de la trabajabilidad conforme se incrementa la concentración bacteriana. Este cambio puede atribuirse al efecto de las bacterias y sus componentes sobre la

pasta cementante, generando una mezcla ligeramente más cohesiva y con menor fluidez. A pesar de ello, los valores obtenidos continúan siendo adecuados para concretos convencionales, por lo que la adición de Bacillus subtilis no representa una limitación importante durante el mezclado, colocación y compactación del concreto.

4.4. F'c del concreto

4.4.1. Resultados a los 7 días

Tabla 24

F'c a 7 días

Concentración (UFC/mL)	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio (MPa)
0	15.6	16	15.8	15.8
10^4 UFC/mL	16.4	16.7	16.5	16.5
10^6 UFC/mL	17.2	17.5	17.3	17.3
10^8 UFC/mL	17	17.1	17.2	17.1

Interpretación: La Tabla 24 expone los resultados de f'c obtenidos a los 7 días de curado en las mezclas con distintas concentraciones de Bacillus subtilis. El concreto patrón, sin adición bacteriana, alcanzó una resistencia promedio de 15.8 MPa, valor que sirve como referencia para comparar el comportamiento de los tratamientos modificados. Las mezclas con incorporación bacteriana presentaron valores superiores al grupo control. La concentración de 10^4 UFC/mL obtuvo 16.5 MPa, la de 10^6 UFC/mL alcanzó 17.3 MPa y la de 10^8 UFC/mL registró 17.1 MPa. Esta mejora sugiere que la presencia de Bacillus subtilis favorece el desarrollo inicial de resistencia, posiblemente por la precipitación microbiana de carbonato de calcio, proceso que contribuye al

relleno de microvacíos y a una matriz cementante más densa. El mayor resultado se presentó en la concentración de 10^6 UFC/mL, lo que permite considerar esta dosificación como la más favorable para mejorar la resistencia temprana del concreto bajo las condiciones evaluadas.

4.4.2. Resultados a los 14 días

Tabla 25

F'c a 14 días

Concentración (UFC/mL)	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio (MPa)
0	21.2	21.5	21.3	21.3
10^4 UFC/mL	22	22.4	22.1	22.2
10^6 UFC/mL	23.1	23.4	23.2	23.2
10^8 UFC/mL	22.8	23	22.9	22.9

Interpretación: En la Tabla 25 se presentan los resultados del ensayo de f'c del concreto a los 14 días de curado para las diferentes concentraciones de Bacillus subtilis. Se observa que la mezcla control (0 UFC/mL) alcanzó una resistencia promedio de 21.3 MPa, correspondiente al comportamiento del concreto convencional sin adición bacteriana. Al incorporar Bacillus subtilis, se evidencia un incremento en la resistencia, registrándose 22.2 MPa para la concentración de 10^4 UFC/mL, 23.2 MPa para 10^6 UFC/mL y 22.9 MPa para 10^8 UFC/mL. Estos resultados muestran que la presencia de bacterias contribuye al mejoramiento progresivo de la resistencia mecánica del concreto, debido al proceso de bioprecipitación de carbonato de calcio que favorece la densificación de la matriz cementante y el sellado de microfisuras internas. Asimismo, se observa que la mayor resistencia promedio se obtiene con la concentración de 10^6 UFC/mL, lo

que sugiere que este nivel bacteriano presenta un comportamiento óptimo para mejorar las propiedades mecánicas del concreto en edades intermedias de curado.

4.4.3. Resultados a los 28 días

Tabla 26

F'c a 28 días

Concentración (UFC/mL)	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio (MPa)
0	25.4	25.6	25.5	25.5
10^4 UFC/mL	26.3	26.6	26.4	26.4
10^6 UFC/mL	27.8	28.1	27.9	27.9
10^8 UFC/mL	27.2	27.4	27.3	27.3

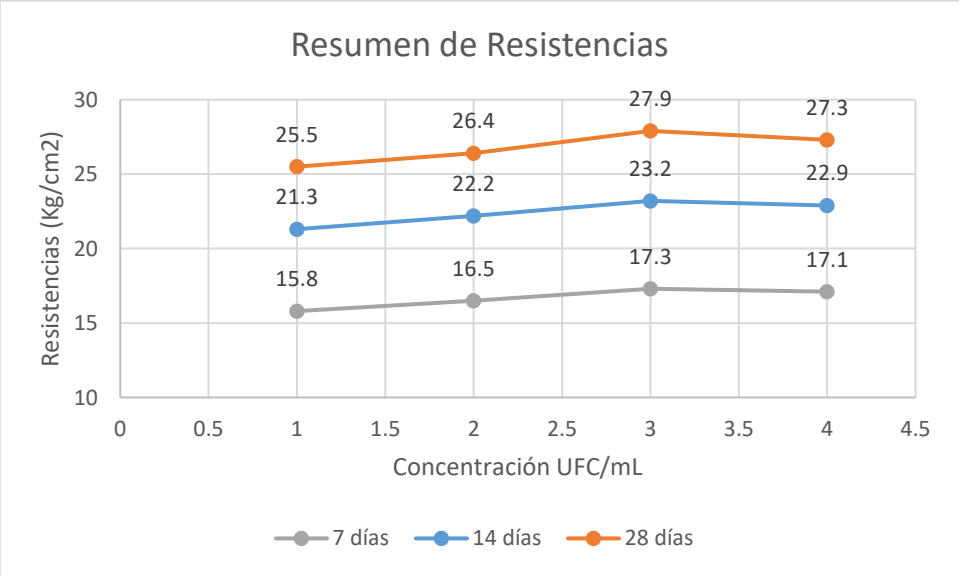
Interpretación: En la Tabla 26 se presentan los resultados del ensayo de f'c del concreto a los 28 días de curado para las diferentes concentraciones de Bacillus subtilis. Se observa que la mezcla control (0 UFC/mL) alcanzó una resistencia promedio de 25.5 MPa, valor característico del concreto convencional sin incorporación bacteriana. Al añadir Bacillus subtilis, se evidencia un incremento en la resistencia mecánica, obteniéndose 26.4 MPa para la concentración de 10^4 UFC/mL, 27.9 MPa para 10^6 UFC/mL y 27.3 MPa para 10^8 UFC/mL. Estos resultados indican que la incorporación de bacterias favorece el mejoramiento de la resistencia del concreto a edades mayores, probablemente debido al proceso de bioprecipitación de carbonato de calcio, que contribuye a la densificación de la matriz cementante y al relleno de microfisuras. Asimismo, se observa que la mayor resistencia promedio corresponde a la concentración de 10^6 UFC/mL, lo que sugiere que este nivel bacteriano proporciona el efecto más

favorable en el desarrollo de las propiedades mecánicas del concreto a los 28 días de curado.

4.4.4. Resumen de las resistencias alcanzadas

Figura 37

Resumen de las resistencias alcanzadas



Interpretación: En la Figura 37 se presenta el resumen de las resistencias a la compresión alcanzadas por el concreto con diferentes concentraciones de Bacillus subtilis a las edades de 7, 14 y 28 días de curado. Se observa que, en todas las edades evaluadas, las mezclas que incorporan bacterias presentan valores de resistencia superiores al concreto control, evidenciando una mejora progresiva en el desempeño mecánico del material. Asimismo, se aprecia que la concentración de 10^6 UFC/mL registra los mayores valores de resistencia en comparación con las demás dosificaciones bacterianas, lo que sugiere que este nivel de concentración proporciona un efecto más favorable en la densificación de la matriz del concreto. Este

comportamiento podría explicarse por la capacidad de Bacillus subtilis para inducir la formación de carbonato de calcio mediante su actividad biológica. Los cristales generados tienden a ocupar microvacíos y sellar pequeñas fisuras presentes en la matriz cementicia, originando una estructura interna más compacta. Como consecuencia, el concreto puede desarrollar una mayor resistencia mecánica y mejorar su desempeño frente a agentes que afectan su durabilidad.

4.5. Evaluación de la capacidad de autorreparación

Para evaluar la capacidad de autorreparación, se generaron microfisuras controladas y se midió el ancho inicial y final de las mismas tras periodos de curado húmedo.

Tabla 27

Ancho de fisura y % de autorreparación (28 días)

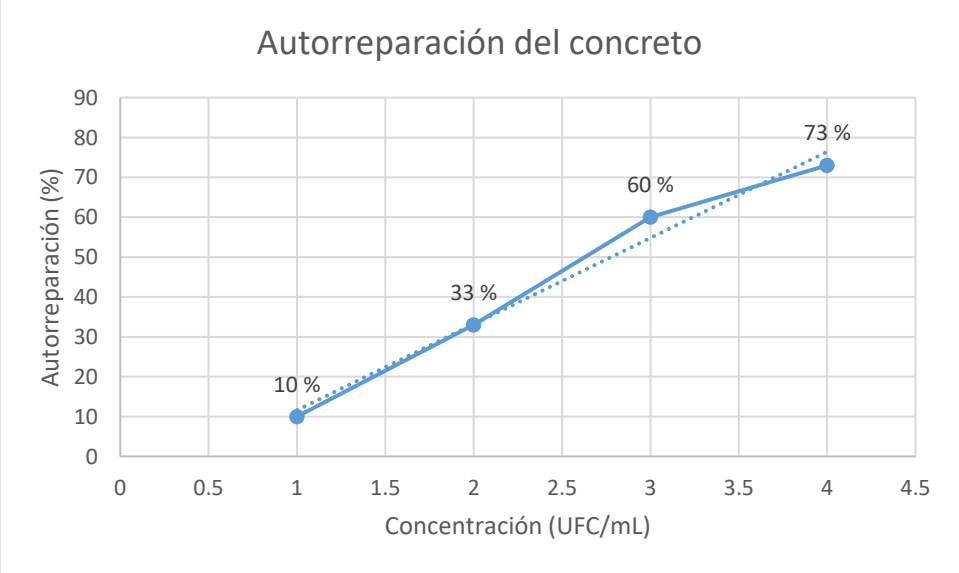
Concentración (UFC/mL)	Fisura inicial (mm)	Fisura final (mm)	Autorreparación (%)
0	0.3	0.27	10
10^4 UFC/mL	0.3	0.2	33
10^6 UFC/mL	0.3	0.12	60
10^8 UFC/mL	0.3	0.08	73

Interpretación: En la Tabla 27 se presentan los resultados del ancho de fisura inicial, el ancho de fisura final y el % de autorreparación del concreto a los 28 días, considerando diferentes concentraciones de Bacillus subtilis. Se observa que todas las probetas presentan una fisura inicial de 0.3 mm, permitiendo evaluar de manera uniforme el efecto de la bacteria en el proceso de

autorreparación. En la mezcla control (0 UFC/mL), la fisura se reduce ligeramente hasta 0.27 mm, alcanzando un 10 % de autorreparación, lo cual se atribuye únicamente a procesos naturales de hidratación del cemento. Sin embargo, al incorporar Bacillus subtilis se evidencia una mayor capacidad de sellado de fisuras, registrándose 33 % de autorreparación para 10^4 UFC/mL, 60 % para 10^6 UFC/mL y 73 % para 10^8 UFC/mL. Estos resultados indican que el aumento de la concentración bacteriana favorece significativamente el proceso de autorreparación del concreto, debido a la bioprecipitación de carbonato de calcio, que permite el relleno progresivo de las fisuras. Asimismo, la mayor eficiencia de autorreparación se observa en la concentración de 10^8 UFC/mL, evidenciando el efecto positivo de la actividad bacteriana en la recuperación de la integridad del material.

Figura 38

Ancho de fisura y % de autorreparación (28 días)



Interpretación: En la Figura 38 se presenta la variación del ancho de fisura y el % de autorreparación del concreto a los 28 días, considerando diferentes concentraciones de Bacillus subtilis. Se observa que, a medida que aumenta la concentración bacteriana, el ancho de fisura final disminuye progresivamente, lo que evidencia una mayor capacidad de sellado en las probetas con incorporación de bacterias. Mientras que el concreto control muestra una reducción mínima de la fisura, las mezclas con Bacillus subtilis presentan mayores %s de autorreparación, destacando especialmente la concentración de 10^8 UFC/mL, que registra el mayor nivel de cierre de fisuras. Este comportamiento confirma que la actividad bacteriana favorece el proceso de bioprecipitación de carbonato de calcio, permitiendo el relleno de las fisuras y mejorando la capacidad de autorreparación del concreto.

4.6. Discusión de resultados

Los resultados de la investigación permitieron analizar la influencia de Bacillus subtilis en el comportamiento mecánico y en la capacidad de autorreparación del concreto convencional, considerando concentraciones bacterianas de 10^4, 10^6 y 10^8 UFC/mL.

La evaluación inicial de los agregados confirmó que el material fino y grueso cumplió con las condiciones físicas exigidas para la elaboración de concreto. Los valores de humedad, peso específico, absorción, módulo de finura, desgaste Los Ángeles y tamaño máximo nominal se ubicaron dentro de rangos técnicamente aceptables. Esta condición permitió trabajar con materiales adecuados y reducir la posibilidad de que las variaciones observadas en el concreto se debieran a deficiencias de los agregados.

Respecto a la resistencia a la compresión, las mezclas con Bacillus subtilis superaron al concreto patrón en las edades de 7, 14 y 28 días. A los 7 días, el concreto control registró 15.8 MPa, mientras que la concentración de 10^6 UFC/mL alcanzó 17.3 MPa. A los 14 días, la resistencia aumentó de 21.3 MPa a 23.2 MPa; a los 28 días, la misma concentración llegó a 27.9 MPa, frente a 25.5 MPa del concreto convencional. Este último valor representa un incremento aproximado de 9.41 %.

El mejor desempeño se obtuvo con la concentración de 10^6 UFC/mL, lo que sugiere una dosificación más favorable para mejorar la resistencia del concreto. Este comportamiento puede relacionarse con la precipitación microbiana de carbonato de calcio, proceso mediante el cual la actividad de Bacillus subtilis favorece la formación de depósitos minerales capaces de ocupar poros y microvacíos. Como resultado, la matriz cementicia adquiere mayor densidad y desarrolla una mejor capacidad resistente.

Los resultados obtenidos coinciden con los reportados por Mondal et al. (2017), quienes encontraron incrementos de hasta 32 % en la resistencia a la compresión mediante la incorporación de Bacillus subtilis. Asimismo, Mondal y Ghosh (2018) señalaron que las concentraciones intermedias favorecen un mejor desarrollo de la resistencia mecánica, mientras que Quevedo y Sánchez (2021) determinaron que la incorporación de Bacillus subtilis en concreto de 210 kg/cm² incrementó significativamente la resistencia a la compresión respecto al concreto convencional. De igual manera, Crespo Ortega y López Ramos (2024) reportaron incrementos en la resistencia del concreto al emplear Bacillus subtilis,

confirmando que la bioprecipitación de carbonato de calcio contribuye a mejorar el desempeño mecánico del material.

Respecto a la capacidad de autorreparación, los resultados mostraron que el concreto patrón únicamente alcanzó un 10 % de cierre de fisura, mientras que las mezclas con incorporación de Bacillus subtilis obtuvieron %s de 33 %, 60 % y 73 % para las concentraciones de 10^4, 10^6 y 10^8 UFC/mL, respectivamente. Estos resultados demuestran que la capacidad de autorreparación aumenta conforme se incrementa la concentración bacteriana, siendo la concentración de 10^8 UFC/mL la que presentó el mejor comportamiento. La disminución progresiva del ancho de fisura confirma que la actividad biológica de Bacillus subtilis favorece la precipitación de carbonato de calcio, permitiendo el sellado de las fisuras y mejorando la integridad del concreto.

Estos resultados son consistentes con los obtenidos por Mondal y Ghosh (2018), quienes reportaron una mayor eficiencia en el cierre de fisuras al incrementar la concentración bacteriana. Asimismo, Yamasamit et al. (2023) obtuvieron %s de autorreparación de hasta 77.78 %, valor cercano al 73 % alcanzado en la presente investigación. De igual forma, Santos (2021) evidenció que Bacillus subtilis permitió una reducción significativa del ancho de fisuras mediante procesos de biomineralización, confirmando la eficacia de esta bacteria en el desarrollo de concretos autorreparables.

En términos generales, los resultados evidencian que la concentración óptima depende de la propiedad evaluada. La concentración de 10^6 UFC/mL presentó el mejor comportamiento en la resistencia a la compresión, mientras

que la concentración de 10^8 UFC/mL mostró la mayor capacidad de autorreparación. Este comportamiento confirma que la incorporación de Bacillus subtilis produce un efecto favorable sobre la resistencia mecánica y la autorreparación del concreto convencional, aceptándose la hipótesis general de la investigación.

Tabla 28

Discusión de resultados de la presente investigación

Autor / año	Bacteria y concentración	Variable evaluada	Resultado principal
Santos (2021)	*Bacillus subtilis*, 10^9 cells/mL	Reparación de fisuras y resistencia a la compresión	Evidenció que el uso de *Bacillus subtilis* favorece la reparación de agrietamientos en el concreto mediante procesos de biomineralización.
Crespo Ortega y López Ramos (2024)	*Bacillus subtilis* 10^3 UFC/mL y *Bacillus cereus* 10^5–10^7 UFC/mL	F'c y reparación de fisuras	*Bacillus subtilis* a 10^3 UFC/mL incrementó la resistencia en 6.57 % y reparó fisuras en 19.01 %, demostrando efecto positivo en concreto con bacterias.
Adaluz (2026)	*Bacillus subtilis*, 10^4, 10^6 y 10^8 UFC/mL	F'c y autorreparación de fisuras	La mayor resistencia a los 28 días se obtuvo con 10^6 UFC/mL, alcanzando 27.9 MPa; mientras que la mayor autorreparación se obtuvo con 10^8 UFC/mL, alcanzando 73 % de cierre de fisura.

Nota. Elaboración propia con base en los antecedentes del marco teórico y los resultados experimentales de la investigación.

Los estudios revisados muestran que el uso de bacterias en el concreto, principalmente Bacillus subtilis, puede contribuir al control de fisuras mediante mecanismos de biomineralización y formación de carbonato de calcio. Santos (2021) evidenció su aplicación en procesos de reparación de grietas, mientras que Crespo Ortega y López Ramos (2024) reportaron mejoras en la resistencia

mecánica y en el sellado de fisuras. Los resultados de esta investigación mantienen esa misma tendencia, ya que la incorporación de Bacillus subtilis permitió alcanzar una resistencia de 27.9 MPa con 10^6 UFC/mL y un cierre de fisura de 73 % con 10^8 UFC/mL, demostrando su aporte en el desempeño mecánico y autorreparable del concreto.

CONCLUSIONES

CONCLUSIÓN GENERAL

La incorporación de Bacillus subtilis generó un efecto positivo en el comportamiento mecánico y en la capacidad de autorreparación del concreto convencional. Las mezclas bacterianas alcanzaron mayores resistencias a la compresión que el concreto patrón y mostraron mejores %s de cierre de fisuras. Este desempeño se relaciona con la bioprecipitación de carbonato de calcio, proceso que contribuye al sellado de microfisuras y a la densificación de la matriz cementicia. Bajo las condiciones evaluadas, el uso de Bacillus subtilis representa una alternativa técnicamente viable para mejorar la resistencia y durabilidad del concreto en el distrito de San Miguel, Puno, 2025.

CONCLUSIONES ESPECÍFICAS

Primera conclusión específica

La caracterización de los agregados permitió verificar que tanto el material fino como el grueso reúnen condiciones adecuadas para la elaboración del concreto convencional. El agregado fino presentó 3.20 % de humedad natural, peso específico SSD de 2.57, peso específico seco de 2.52, absorción de 2.10 %, módulo de finura de 2.65 y 1.80 % de material pasante por el tamiz N.º 200. El agregado grueso registró 1.10 % de humedad natural, peso específico SSD de 2.64, absorción de 1.80 %, desgaste Los Ángeles de 22.5 % y tamaño máximo nominal de 19 mm. Estos valores se encuentran dentro de rangos aceptables para mezclas de concreto, por lo que los agregados empleados resultaron aptos para el estudio.

Segunda conclusión específica

La resistencia a la compresión mejoró con la incorporación de Bacillus subtilis en comparación con la mezcla patrón. El mejor resultado se obtuvo con la concentración de 10^6 UFC/mL, alcanzando 27.9 MPa a los 28 días, frente a los 25.5 MPa del concreto convencional. Este incremento, equivalente aproximadamente al 9.41 %, demuestra que una concentración intermedia de bacteria favorece el desarrollo de la resistencia mecánica del concreto.

Tercera conclusión específica

La capacidad de autorreparación aumentó conforme se incrementó la concentración bacteriana. La mezcla patrón presentó solo 10 % de cierre de fisura, mientras que las mezclas con 10^4, 10^6 y 10^8 UFC/mL alcanzaron 33 %, 60 % y 73 %, respectivamente. La concentración de 10^8 UFC/mL mostró el mejor desempeño en el sellado de fisuras, evidenciando mayor eficiencia del proceso de precipitación de carbonato de calcio inducido por la actividad bacteriana.

RECOMENDACIONES

PRIMERA: A los futuros investigadores se recomienda ampliar el rango de estudio de Bacillus subtilis incorporando concentraciones intermedias y superiores, así como evaluar edades adicionales de curado, tales como 56 y 90 días, con el fin de analizar el comportamiento a largo plazo del concreto bacteriano y determinar con mayor precisión la concentración óptima para resistencia y autorreparación.

SEGUNDA: A los profesionales y tesistas del área de tecnología del concreto se recomienda complementar la incorporación de Bacillus subtilis con el uso de aditivos químicos como superplastificantes, reductores de agua o materiales puzolánicos, para mejorar la trabajabilidad de las mezclas bacterianas sin afectar el desarrollo de la resistencia ni la capacidad de sellado de fisuras.

TERCERA: A quienes deseen profundizar en esta línea de investigación se sugiere evaluar el comportamiento del concreto bacteriano frente a otras propiedades de durabilidad, tales como absorción, permeabilidad, ataque por sulfatos, carbonatación y ciclos térmicos, especialmente bajo condiciones climáticas severas como las del altiplano puneño, a fin de validar su aplicabilidad en estructuras reales y en viviendas de la región.

BIBLIOGRAFÍA

ASTM International. (2021). *ASTM C39/C39M: Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens*. ASTM International.

Biderman, C., et al. (2023). *[Título de la investigación no consignado en el texto]*. [Datos editoriales por completar].

Cámara Peruana de la Construcción. (2022). *[Reporte sobre autoconstrucción en el Perú]*. CAPECO.

Chávez, [Iniciales], & Llatas, [Iniciales]. (2019). *[Título de la investigación no consignado en el texto]*. [Datos editoriales por completar].

Contraloría General de la República. (2023). *Informes de control sobre obras públicas ejecutadas en Puno*. Contraloría General de la República del Perú.

De Belie, N., & Van Tittelboom, K. (2013). *[Estudio sobre autorreparación de materiales cementicios]*. [Datos editoriales por completar].

Flores, [Iniciales], & Pari, [Iniciales]. (2020). *[Título de la investigación no consignado en el texto]*. [Datos editoriales por completar].

Garay, [Iniciales], & Quispe, [Iniciales]. (2015). *[Título de la investigación no consignado en el texto]*. [Datos editoriales por completar].

García, [Iniciales], & Ramírez, [Iniciales]. (2020). *[Título de la investigación no consignado en el texto]*. [Datos editoriales por completar].

Hearn, N. (1998). Self-sealing, autogenous healing and continued hydration: What is the difference? *Materials and Structures, 31*, 563–567.

Huamán, [Iniciales], & Carpio, [Iniciales]. (2021). *[Título de la investigación no consignado en el texto]*. [Datos editoriales por completar].

Huanca, [Iniciales], & Ticona, [Iniciales]. (2021). *[Título de la investigación no consignado en el texto]*. [Datos editoriales por completar].

Instituto Nacional de Calidad. (2021). *[Informe o norma sobre calidad de agregados y concreto]*. INACAL.

Instituto Vial Provincial de San Román. (2022). *[Informe sobre agregados locales y calidad de materiales en San Román]*. Instituto Vial Provincial de San Román.

Jonkers, H. M. (2011). Bacteria-based self-healing concrete. *HERON, 56*(1/2), 1–12.

Mamani, [Iniciales], & Huarcaya, [Iniciales]. (2018). *[Título de la investigación no consignado en el texto]*. [Datos editoriales por completar].

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

Neville, A. M. (2011). *Properties of concrete* (5th ed.). Pearson Education.

Quispe, [Iniciales], & Humpiri, [Iniciales]. (2021). *[Título de la investigación no consignado en el texto]*. [Datos editoriales por completar].

Rivera, [Iniciales]. (2020). *[Título de la investigación no consignado en el texto]*. [Datos editoriales por completar].

Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción. (2020). *[Informe sobre fallas en edificaciones y supervisión técnica]*. SENCICO.

Universidad Nacional del Altiplano. (2020). *[Informe o investigación sobre edificaciones y concreto en San Miguel]*. UNA.

Van Tittelboom, K., & De Belie, N. (2013). Self-healing in cementitious materials: A review. *Materials, 6*(6), 2182–2217.

Wang, [Iniciales], et al. (2022). *[Título de la investigación no consignado en el texto]*. [Datos editoriales por completar].

Xu, [Iniciales], et al. (2021). *[Título de la investigación no consignado en el texto]*. [Datos editoriales por completar].

Zhang, [Iniciales], et al. (2020). *[Título de la investigación no consignado en el texto]*. [Datos editoriales por completar].

ANEXOS

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

ANEXO 01

MATRIZ DE CONCISTENCIA

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

Matriz de consistencia

Título: EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE LA BACTERIA BACILLUS SUBTILIS EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y LA AUTORREPARACIÓN DE UN CONCRETO CONVENCIONAL EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL – PUNO, 2025

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	INDICE DE MEDIDA	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN
Problema general: ¿De qué manera la incorporación de la bacteria Bacillus subtilis influye en la resistencia mecánica y la autorreparación del concreto convencional en el distrito de San Miguel – Puno, 2025?	**Objetivo general:** Determinar el efecto de la incorporación de la bacteria Bacillus subtilis en la resistencia mecánica y la autorreparación del concreto convencional en el distrito de San Miguel – Puno, 2025.	**Hipótesis general:** La incorporación de la bacteria Bacillus subtilis influye positivamente en la resistencia mecánica y en la autorreparación del concreto convencional en el distrito de San Miguel – Puno, 2025.	**Variable independiente:** Incorporación de la bacteria Bacillus subtilis.	Nivel de concentración bacteriana incorporada al concreto.	**UFC/mL**	**Enfoque:** Cuantitativo **Tipo:** Aplicada **Nivel:** Explicativa **Diseño:** Cuasiexperimental **Métodos:** Cuasiexperimental **Técnicas:** Ensayos de laboratorio (ASTM / NTP) **Instrumentos:** Manquina universal de compresión Microscopio digital o vernier
Problema específico 1: ¿Cuáles son las propiedades físicas de los agregados fino y grueso utilizados en la elaboración del concreto convencional en el distrito de San Miguel – Puno, 2025?	**Específicos** Caracterizar las propiedades físicas de los agregados fino y grueso utilizados en la elaboración del concreto convencional en el distrito de San Miguel – Puno, 2025..	**Específicos** Las propiedades físicas de los agregados fino y grueso utilizados son adecuadas para la elaboración de concreto convencional.	**Variables dependientes:** Resistencia a la compresión del concreto	Resistencia promedio a la compresión.	MPa F`c	Regla milimetrada o lupa graduada
Problema específico 2: ¿Cómo varía la resistencia a la compresión del concreto con incorporación de la bacteria Bacillus subtilis en diferentes concentraciones?	Comparar la resistencia a la compresión del concreto con incorporación de la bacteria Bacillus subtilis en diferentes concentraciones en el distrito de San Miguel – Puno, 2025.	La incorporación de la bacteria Bacillus subtilis mejora la resistencia a la compresión del concreto convencional en comparación con el concreto patrón.	Capacidad de autorreparación del concreto	Ancho inicial de fisura, ancho final de fisura y porcentaje de autorreparacion.	%	Ficha de registro de datos experimentales
Problema específico 3: ¿Cuál es la capacidad de autorreparación del concreto con incorporación de Bacillus subtilis a los 28 días de curado?	Evaluar la capacidad de autorreparación del concreto con incorporación de Bacillus subtilis a los 28 días de curado en el distrito de San Miguel – Puno, 2025.	La incorporación de Bacillus subtilis mejora la capacidad de autorreparación del concreto, evidenciada mediante la reducción del ancho de fisuras a los 28 días de curado.				

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

ANEXO 02

ENSAYOS DE LABORATORIO

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

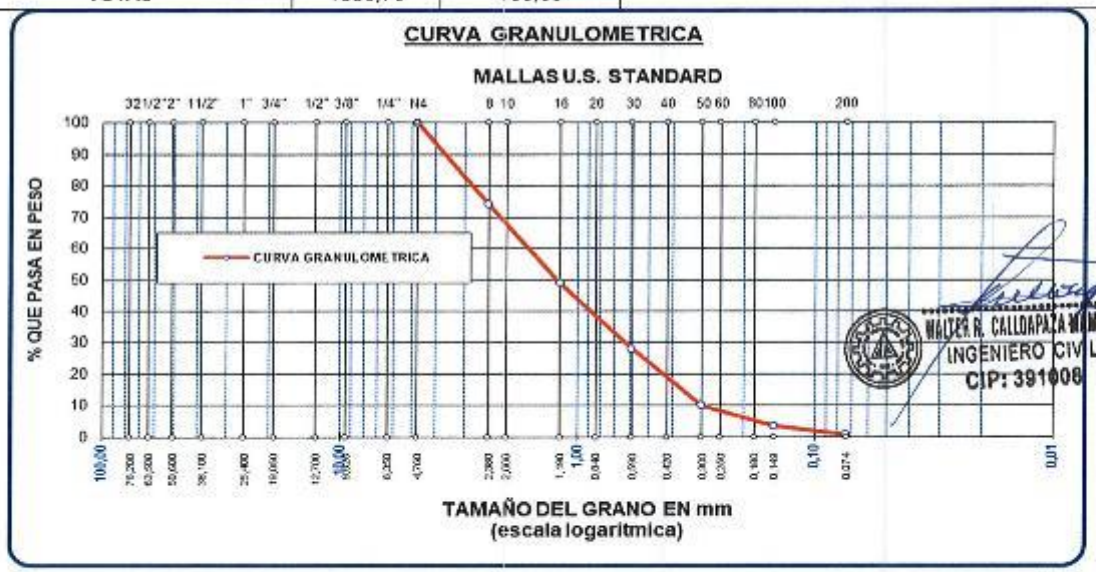
TESIS : EFECTOS DE LA INCORPORACION DE LA BACTERIA BACILLUS SUBTILIS EN LAS PROPIEDADES MECANICAS Y LA AUTORREPARACION DE UN CONCRETO CONVECIONAL EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL – PUNO, 2025.

SOLICITANTE : Bach. ADALUZ MEYLIN GUTIERREZ COAQUIRA

MUESTRA : CANTERA ISLA

AGREGADO FINO

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	MATERIAL OBTENIDO	
3"	76,200					GRAVA GRUESA	GRAVA
2 1/2"	63,500						
2"	50,600						
1 1/2"	38,100						
1"	25,400						
3/4"	19,050						
1/2"	12,700					GRAVA FINA	
3/8"	9,525						
1/4"	6,350						
No4	4,760	1,50	0,11	0,11	99,89	ARENA GRUESA	ARENA
No8	2,380	359,30	25,91	26,01	73,99		
No10	2,000						
No16	1,190	349,40	25,19	51,21	48,79	ARENA MEDIA	
No20	0,840						
No30	0,590	288,30	20,79	72,00	28,00		
No40	0,420					ARENA FINA	
No 50	0,300	250,00	18,03	90,02	9,98		
No60	0,250						
No80	0,180						
No100	0,149	89,20	6,43	96,45	3,55		
No200	0,074	39,50	2,85	99,30	0,70		
BASE		9,70	0,70	100,00	0,00	LIMOS	
TOTAL		1386,90	100,00				



WALTER R. CALLOAPAZA MAMANI
INGENIERO CIVIL
CIP: 391008

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

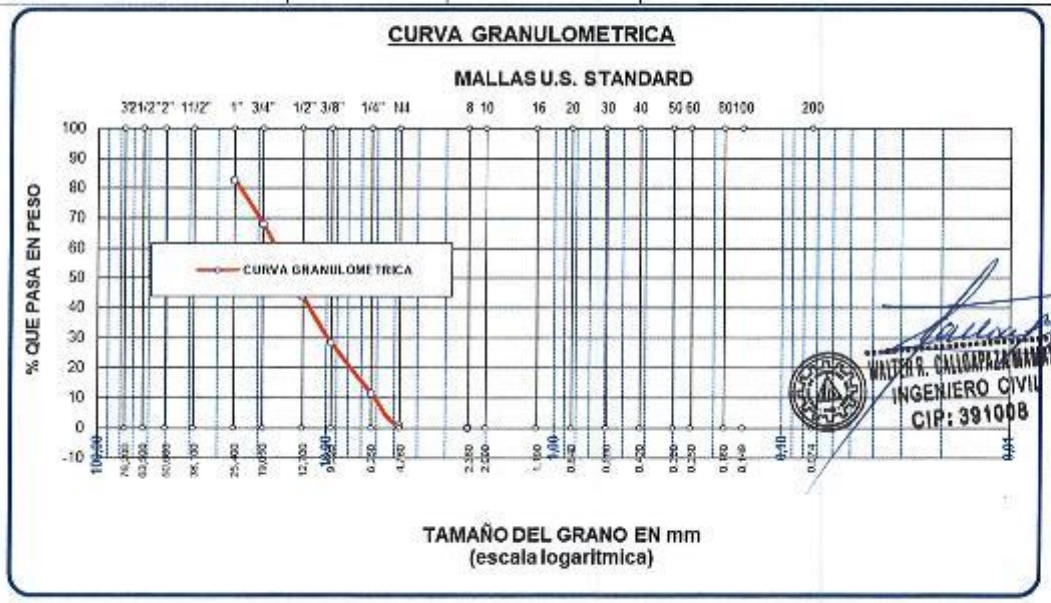
TESIS : EFECTOS DE LA INCORPORACION DE LA BACTERIA BACILLUS SUBTILIS EN LAS PROPIEDADES MECANICAS Y LA AUTORREPARACION DE UN CONCRETO CONVECIONAL EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL – PUNO, 2025.

SOLICITANTE : Bach. ADALUZ MEYLIN GUTIERREZ COAQUIRA

MUESTRA : CANTERA ISLA

AGREGADO GRUESO

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	MATERIAL OBTENIDO	
3"	76,200					GRAVA GRUESA	GRAVA
2 1/2"	63,500						
2"	50,600						
1 1/2"	38,100						
1"	25,400	1730,00	17,33	17,33	**82,67**		
3/4"	19,050	1470,00	14,73	32,06	**67,94**		
1/2"	12,700	2450,00	24,55	56,61	**43,39**	GRAVA FINA	
3/8"	9,525	1525,00	15,28	71,89	**28,11**		
1/4"	6,350	1675,00	16,78	88,68	**11,32**		
No4	4,760	1060,00	10,62	99,30	0,70	ARENA GRUESA	ARENA
No8	2,380	70,00	0,70	100,00	0,00		
No10	2,000						
No16	1,190					ARENA MEDIA	
No20	0,840						
No30	0,590						
No40	0,420					ARENA FINA	
No 50	0,300						
No60	0,250						
No80	0,180						
No100	0,149						
No200	0,074						
BASE		0,00	0,00	100,00	**0,00**	LIMOS	
TOTAL		9980,00	100,00				



WALTER R. CALLOAPAZA MAMANI
INGENIERO CIVIL
CIP: 391008

TESIS UANCV

ENSAYO DE PESO ESPECIFICO Y ABSORCION (NTP 400.022/ASTM C128)

TESIS : **EFECTOS DE LA INCORPORACION DE LA BACTERIA BACILLUS SUBTILIS EN LAS PROPIEDADES MECANICAS Y LA AUTORREPARACION DE UN CONCRETO CONVECIONAL EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL – PUNO, 2025.**

SOLICITANTE : **Bach. ADALUZ MEYLIN GUTIERREZ COAQUIRA**

MUESTRA : **CANTERA ISLA**

AGREGADO FINO

N°	Descripción	und.	Cantidad
1	Peso de la muestra superficialmente seca	gr.	500,00
2	Peso del picnómetro + peso del agua	gr.	707,10
3	Peso de la arena superficialmente seca + peso del picnómetro + peso del agua	gr.	**1009,93**
4	Peso de la arena secada al horno + peso de la tara	gr.	602,35
5	Peso de la tara	gr.	112,16
6	Peso de la arena secada al horno (4-5)	gr.	490,19
	Resultados		
1	Peso específico aparente (6/(2+1-3))	gr/cm3	2,49
2	Porcentaje de absorción ((1-6)/6)	%	2,00

AGREGADO GRUESO

N°	Descripción	und.	Cantidad
1	Peso de la muestra secada al horno	gr.	587,69
2	Peso de la muestra saturada superficialmente seca	gr.	600,01
3	Peso de la probeta aforado + peso del agua	gr.	**1503,61**
4	Peso de la probeta + peso del agua + peso de la muestra satur. super. Seca	gr.	1869
5	Peso de la tara	gr.	115,11
6	Peso de la muestra secada al horno + peso de la tara	gr.	702,8
	resultados		
1	Peso específico aparente (6/(2+1-3))	gr/cm3	2,50
2	Porcentaje de absorción ((1-6)/6)	%	2,10

WALTER R. CALLOMPAZA MAMANI
INGENIERO CIVIL
CIP: 391008

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV

ENSAYO DE PESO UNITARIO Y VARILLADO (NTP 400.017 / ASTM C29)

TESIS : EFECTOS DE LA INCORPORACION DE LA BACTERIA BACILLUS SUBTILIS EN LAS PROPIEDADES MECANICAS Y LA AUTORREPARACION DE UN CONCRETO CONVECIONAL EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL – PUNO, 2025.

SOLICITANTE : Bach. ADALUZ MEYLIN GUTIERREZ COAQUIRA

MUESTRA : CANTERA ISLA

PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO

PESO UNITARIO SUELTO AF				
Descripción	Und.	N° de muestras		
		1	2	3
Peso del material + molde	g	19045	19050	19040
Peso del molde	g	10010	10010	10010
Peso del material	g	**9035**	**9040**	**9030**
Volumen del molde	cm3	5559,84	5559,84	5559,84
Peso unitario	g/cm3	1,625	1,626	1,624
Promedio	g/cm3	1,625		

PESO UNITARIO VARILLADO DEL AGREGADO FINO

PESO UNITARIO VARILLADO AF				
Descripción	Und.	N° de muestras		
		1	2	3
Peso del material + molde	g	20050	20010	20025
Peso del molde	g	10010	10010	10010
Peso del material	g	**10040**	**10000**	**10015**
Volumen del molde	cm3	5559,84	5559,84	5559,84
Peso unitario	g/cm3	1,806	1,799	1,801
Promedio	g/cm3	1,802		

WALTER R. CALLOHPAZA MAMANI
INGENIERO CIVIL
CIP: 391008

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

ENSAYO DE PESO UNITARIO Y VARILLADO (NTP 400.017 / ASTM C29)

TESIS : EFECTOS DE LA INCORPORACION DE LA BACTERIA BACILLUS SUBTILIS EN LAS PROPIEDADES MECANICAS Y LA AUTORREPARACION DE UN CONCRETO CONVECIONAL EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL – PUNO, 2025.

SOLICITANTE : Bach. ADALUZ MEYLIN GUTIERREZ COAQUIRA

MUESTRA : CANTERA ISLA

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO

PESO UNITARIO SUELTO AG				
Descripción	Und.	N° de muestras		
		1	2	3
Peso del material + molde	g	18440	18380	18420
Peso del molde	g	10010	10010	10010
Peso del material	g	**8430**	**8370**	**8410**
Volumen del molde	cm3	5559,84	5559,84	5559,84
Peso unitario	g/cm3	1,516	1,505	1,513
Promedio	g/cm3	1,511		

PESO UNITARIO VARILLADO DEL AGREGADO GRUESO

PESO UNITARIO VARILLADO AG				
Descripción	Und.	N° de muestras		
		1	2	3
Peso del material + molde	g	19320	19325	19330
Peso del molde	g	10010	10010	10010
Peso del material	g	**9310**	**9315**	**9320**
Volumen del molde	cm3	5559,84	5559,84	5559,84
Peso unitario	g/cm3	1,675	1,675	1,676
Promedio	g/cm3	1,675		

WALTER R. CALLOHUANCA MAMANI
INGENIERO CIVIL
CIP: 391008

ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD (NTP 339.185 / ASTM C566)

TESIS : EFECTOS DE LA INCORPORACION DE LA BACTERIA BACILLUS SUBTILIS EN LAS PROPIEDADES MECANICAS Y LA AUTORREPARACION DE UN CONCRETO CONVECIONAL EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL – PUNO, 2025.

SOLICITANTE : Bach. ADALUZ MEYLIN GUTIERREZ COAQUIRA

MUESTRA : CANTERA ISLA

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO

CARACTERISTICAS		M - 01	M - 02
RECIPIENTE (N°)		**01**	**02**
1. Peso de recipiente	grs	28,60	29,15
2. Peso recipiente + muestra húmeda	grs	351,5	329,6
3. Peso recipiente + muestra seca	grs	311,9	289,9
4. Peso de agua	cc	10,97	10,64
5. Peso de la muestra seca neta	grs	283,30	260,70
6. Contenido de humedad	%	3,87	4,08
PROMEDIO DE CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	**3,98**	

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO

CARACTERISTICAS		M - 01	M - 02
RECIPIENTE (N°)		**01**	**02**
1. Peso de recipiente	grs	0,00	0,00
2. Peso recipiente + muestra húmeda	grs	382,5	376,2
3. Peso recipiente + muestra seca	grs	375,0	367,0
4. Peso de agua	cc	7,50	9,20
5. Peso de la muestra seca neta	grs	375,00	367,00
6. Contenido de humedad	%	2,00	2,51
PROMEDIO DE CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	**2,25**	

WALTER A. CALLOAPAZA MAMANI
INGENIERO CIVIL
CIP: 391008

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA ABRASION O DESGASTE LOS ANGELES (NTP 400.019 / ASTM C131)

TESIS : EFECTOS DE LA INCORPORACION DE LA BACTERIA BACILLUS SUBTILIS EN LAS PROPIEDADES MECANICAS Y LA AUTORREPARACION DE UN CONCRETO CONVECIONAL EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL – PUNO, 2025.

SOLICITANTE : Bach. ADALUZ MEYLIN GUTIERREZ COAQUIRA

MUESTRA : CANTERA ISLA

AGREGADO GRUESO

N° de Malla		CANTIDAD			MATERIAL RETENIDO EN EL TAMIZ N° 12	% DE DESGASTE DE ABRASION	METODO	CANTIDAD DE ESFERAS
PASANTE	RETENIDO	PESO	UNIDAD	%del total inicial				
1 ½"	1"	1262	gr.	25,21%			A	12
1"	¾"	1248	gr.	24,93%				
¾"	½"	1254	gr.	25,05%				
½"	⅜"	1242	gr.	24,81%				
Total inicial en peso		**5006**	**gr.**		**4108 gr.**	**898 gr.**		
Total en porcentaje			**%**	100,00%		**17,94%**		

OBSERVACIONES : tamaños menores (500 REVOLUCIONES)

WALTER R. CALLOAPAZA MAMANI
INGENIERO CIVIL
CIP: 391008

ENSAYO DE ASENTAMIENTO (SLUMP)-(NTP 339.035 / ASTM C143)

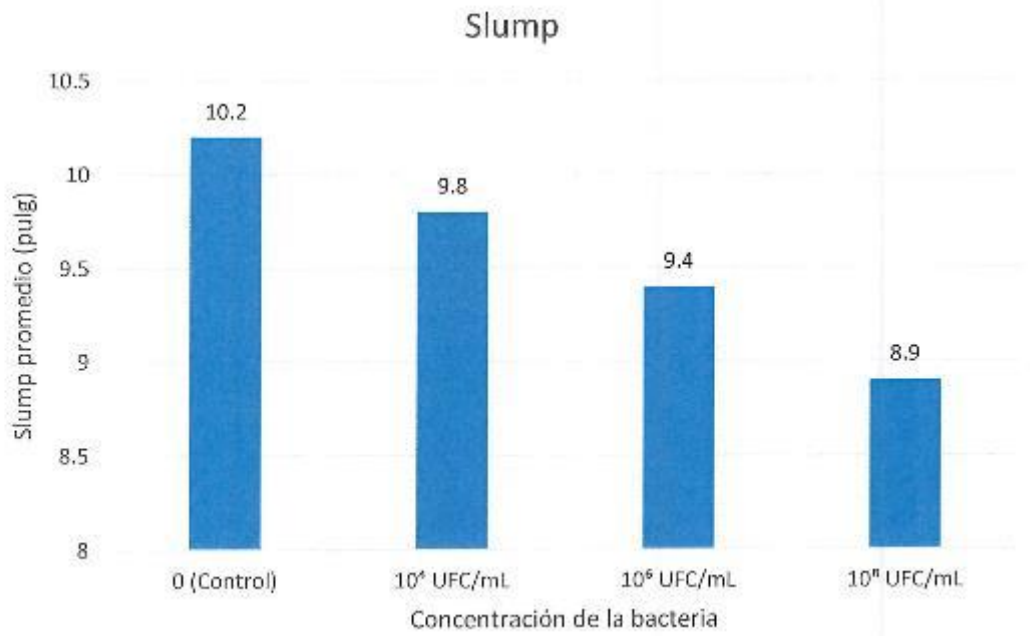
TESIS : EFECTOS DE LA INCORPORACION DE LA BACTERIA BACILLUS SUBTILIS EN LAS PROPIEDADES MECANICAS Y LA AUTORREPARACION DE UN CONCRETO CONVECIONAL EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL – PUNO, 2025.

SOLICITANTE : Bach. ADALUZ MEYLIN GUTIERREZ COAQUIRA

MUESTRA : CANTERA ISLA

RESULTADOS DEL EMSAYO DE ASENTAMIENTO (AGREGADO GRUESO)

Concentración de *Bacillus subtilis* (UFC/mL)	Slump promedio (cm)
0 (Control)	10,2
10^4 UFC/mL	9,8
10^6 UFC/mL	9,4
10^8 UFC/mL	8,9



WALTER R. CALLOAPAZA MAMANI
INGENIERO CIVIL
CIP: 391008

TESIS UANCV

ENSAYO A LA RESISTENCIA A LA COMPRESION (NTP 339.034 / ASTM C39)

TESIS : EFECTOS DE LA INCORPORACION DE LA BACTERIA BACILLUS SUBTILIS EN LAS PROPIEDADES MECANICAS Y LA AUTORREPARACION DE UN CONCRETO CONVECIONAL EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL – PUNO, 2025.

SOLICITANTE : Bach. ADALUZ MEYLIN GUTIERREZ COAQUIRA

MUESTRA : CATERA ISLA

Resistencia a la compresión del concreto a 7 dias

Concentración (UFC/mL)	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio (MPa)
0	15,6	16	15,8	15,8
10^4 UFC/mL	16,4	16,7	16,5	16,5
10^6 UFC/mL	17,2	17,5	17,3	17,3
10^8 UFC/mL	17	17,1	17,2	17,1

Resistencia a la compresión del concreto a 14 dias

Concentración (UFC/mL)	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio (MPa)
0	21,2	21,5	21,3	21,3
10^4 UFC/mL	22	22,4	22,1	22,2
10^6 UFC/mL	23,1	23,4	23,2	23,2
10^8 UFC/mL	22,8	23	22,9	22,9

Resistencia a la compresión del concreto a los 28 dias

Concentración (UFC/mL)	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio (MPa)
0	25,4	25,6	25,5	25,5
10^4 UFC/mL	26,3	26,6	26,4	26,4
10^6 UFC/mL	27,8	28,1	27,9	27,9
10^8 UFC/mL	27,2	27,4	27,3	27,3

WALTER R. CALLOAPAZA MAMANI
INGENIERO CIVIL
CIP: 391008

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

ENSAYO DE CAPACIDAD DE AUTORREPARACION

TESIS : EFECTOS DE LA INCORPORACION DE LA BACTERIA BACILLUS SUBTILIS EN LAS PROPIEDADES MECANICAS Y LA AUTORREPARACION DE UN CONCRETO CONVECIONAL EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL – PUNO, 2025.

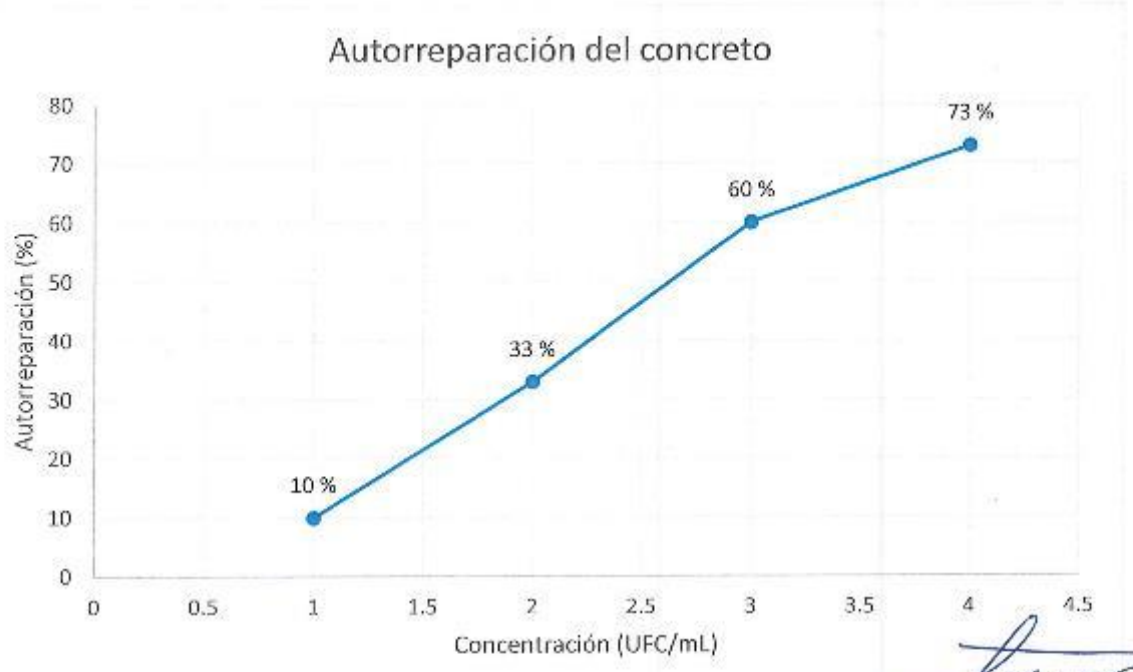
SOLICITANTE : Bach. ADALUZ MEYLIN GUTIERREZ COAQUIRA

MUESTRA : CANTERA ISLA

EVALUACION DE LA CAPACIDAD DE AUTORREPARACION

Ancho de fisura y porcentaje de autorreparación (28 días)

Concentración (UFC/mL)	Fisura inicial (mm)	Fisura final (mm)	Autorreparación (%)
0	0,3	0,27	10
10^4 UFC/mL	0,3	0,2	33
10^6 UFC/mL	0,3	0,12	60
10^8 UFC/mL	0,3	0,08	73



WALTER R. CALLOAPAZA MAMANI
INGENIERO CIVIL
CIP: 391008

TESIS UANCV
FICHA TECNICA
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"
VERSIÓN MARZO 2021

Fungisei

OMRI LISTED For Organic Use

AGENTE DE CONTROL BIOLÓGICO MICROBIANO

Reg. PBA - ACBM N° 006-SENASA

I. DATOS DE LA EMPRESA

Empresa Comercializadora: MONTANA S.A.
Fabricado por: SEIPASA, S.A.
Para: MONTANA S.A.
Titular de Registro: AGRILAB PERU SRL Jirón Sáenz Peña 344 Dpto. 105 Lima, PERÚ
Número de Registro: N° 006-SENASA-PBA-ACBM

II. IDENTIDAD

Composición: *Bacillus subtilis* (Cepa IAB/BS03)
Concentración: 1x10 UFC/ml
Formulación: SL, Concentrado soluble
Clase de Uso: Fungicida Agrícola

III. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS

III.A DEL INGREDIENTE ACTIVO

- **Humectabilidad:** No aplica.
- **Persistencia a espuma:** No aplica.
- **Suspensibilidad:** No aplica.
- **Análisis granulométrico en húmedo:** 98% mínimo.
- **Análisis granulométrico en seco:** No aplica.
- **Estabilidad de la emulsión:** No aplica.
- **Corrosividad:** No aplica
- **Incompatibilidad con otros productos:** Es compatible con la mayoría de los productos fitosanitarios.

III.B DEL FORMULADO

- **Densidad Relativa:** 1.28 ±0.05 g/ml
- **Estado Físico:** Líquido soluble
- **Color:** Marrón terroso.
- **pH:** 6 - 7
- **Olor:** Característico
- **Inflamabilidad:** No inflamable.
- **Explosividad:** No explosivo.
- **Corrosividad:** No corrosivo.

IV. PROPIEDADES BIOLÓGICAS

Modo de Acción

Fungisei es un biofungicida que actúa por contacto previniendo y controlando enfermedades fúngicas de las plantas.

Mecanismo de Acción

Fungisei produce un grupo de lipopéptidos de amplio espectro y elevada actividad que controlan el daño producido por hongos. Su modo de acción se basa en la interrupción de la pared celular provocando una ruptura de la membrana celular de los patógenos. Así mismo evita la germinación de las esporas previniendo la instalación del patógeno y destruye el tubo germinativo. Fungisei tiene un efecto como inductor de defensas creando una resistencia sistémica de la planta a la enfermedad (RSI), promoviendo los mecanismos de defensa natural de la planta durante prolongados

V. TOXICIDAD

Toxicidad: Ligeramente peligroso

- **DL50oral aguda (ratas):** >2000 mg/kg de peso corporal.
- **DL50dermal aguda (ratas):** >2000 mg/kg de peso corporal.
- **CL50 (4 horas) inhalatoria (ratas):** >2.43 mg/L de aire
- **Irritación dermal (conejos):** No irrita.
- **Irritación ocular (conejos):** No irrita.
- **Sensibilización cutánea (conejillos de india):** No sensibilizante.

VI. ECOTOXICIDAD E IMPACTO AMBIENTAL DEL INGREDIENTE ACTIVO

- **Toxicidad en Aves**

Coturnix japonica, DL_{50}: > 5000 mg i.a. por kg de peso corporal por día.

- **Toxicidad en organismos acuáticos**

Cyprinus carpio, CL_{50} (96 horas): > 100 mg i.a/L

- En abejas la toxicidad del producto formulado DL_{50} (Toxicidad Aguda Oral) no es posible de calcular, debido a la baja mortalidad durante los ensayos.
  DL_{50}(Toxicidad Aguda por contacto): no es posible de calcular, debido a la baja mortalidad durante los ensayos.

Comportamiento en suelo, agua y aire

Bacillus subtilis cepa IAB/BS03 es un microorganismo cosmopolita, ampliamente distribuido por ecosistemas a lo largo del planeta. Puede encontrarse en diversos medios, incluyendo prácticamente la totalidad de los medios agrarios. Por lo tanto, el comportamiento del microrganismo Bacillus subtilis cepa IAB/BS03 en el suelo, agua y aire no presenta ningún riesgo, ya que es análogo al mismo microrganismo cuyo origen no es debido a la aplicación del producto y se encuentra en forma natural y en mayor cantidad en el medio.

VII. RECOMENDACIONES DE USO

CULTIVO	PLAGA		DOSIS (L/200L)	PC (días)	LMR (ppm)
	Nombre Común	Nombre Científico			
Pimiento	Oidiosis	*Leveillula taurica*	0.4 - 0.6	N.A.	N.A.
Vid	Oidiosis	*Erysiphe necator*	0.4 - 0.6	N.A.	N.A.
Arándano	Podredumbre gris/Moho gris	*Botrytis cinerea*	0.4 - 0.6	N.A.	N.A.
Palto	Muerte regresiva	*Lasiodiplodia theobromae*	0.6 - 0.8	N.A	N.A.

PC: Período de Carencia / LMR: Límite Máximo de Residuos / N.A.: No aplica

VIII. CONDICIONES DE APLICACIÓN

Aplicar de manera preventiva o al observar los primeros síntomas de la enfermedad.

Se recomienda un máximo de 5 aplicaciones alternadas por campaña con un intervalo entre aplicaciones de 7 a 10 días. Se recomienda rotar con fungicidas de diferente mecanismo de acción para evitar el desarrollo de resistencia.

MONTANA
Av.Javier Prado Este 6210 Oficina 401 La Molina. Lima - Perú
Telf: (511) 419-3000 / e-mail: info@corpmontana.com
www.corpmontana.com

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

Se recomienda acidificar el medio ligeramente (pH 6) antes de la disolución del producto en el tanque de la aplicación.

II. COMPATIBILIDAD

Fungisel es compatible con la mayoría de productos fitosanitarios de uso común. Antes de realizar una mezcla, se recomienda previamente realizar pruebas de compatibilidad.

III. REINGRESO A UN ÁREA TRATADA

No ingresar a las áreas tratadas sin ropa de protección adecuada, durante las primeras 4 horas después de la aplicación.

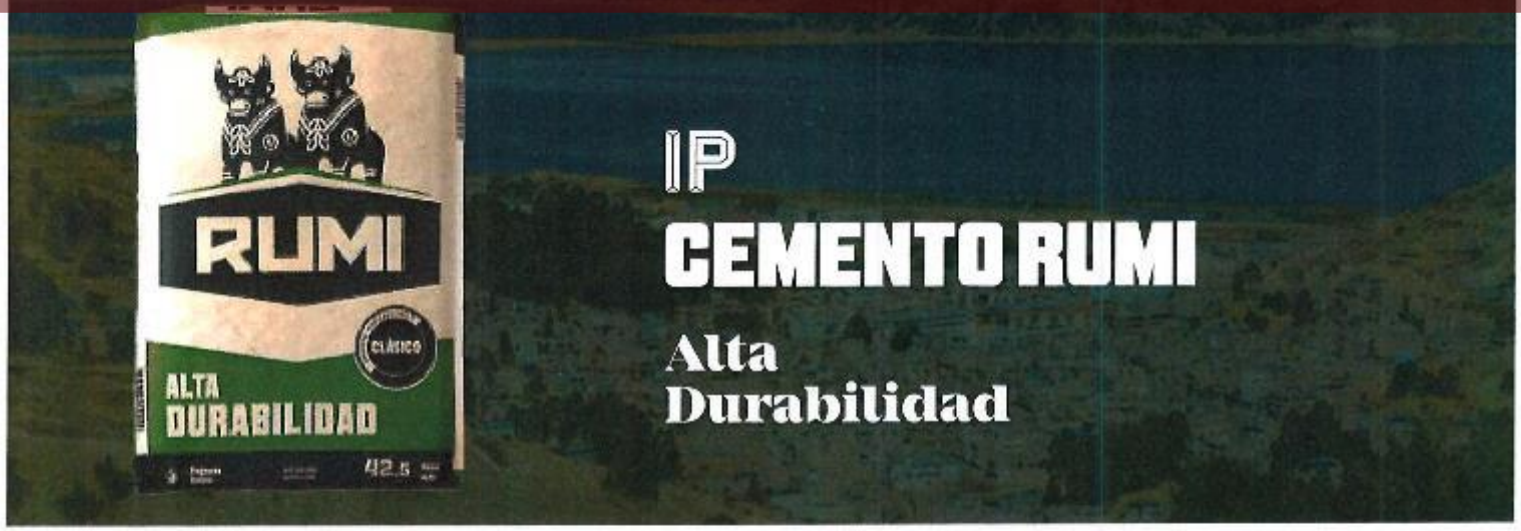
IV. FITOTOXICIDAD

No es fitotóxico usado a las dosis y en los cultivos recomendados en la etiqueta del producto.

MONTANA
Av.Javier Prado Este 6210 Oficina 401 La Molina. Lima - Perú
Telf: (511) 419-3000 / e-mail: info@corpmontana.com
www.corpmontana.com

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
FICHA TÉCNICA 2022 V-1
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"



IP
CEMENTO RUMI
Alta Durabilidad

DESCRIPCIÓN

EL CEMENTO CLÁSICO DE ALTA DURABILIDAD RUMI IP es un cemento elaborado bajo los más estrictos estándares de la industria cementera, colaborando con el medio ambiente, debido a que en su producción se reduce ostensiblemente la emisión de CO_2, contribuyendo a la reducción de los gases con efecto invernadero.

Es un producto fabricado a base de Clinker de alta calidad, puzolana natural de origen volcánico de alta reactividad y yeso. Esta mezcla es molida industrialmente en molinos de última generación, logrando un alto grado de finura. La fabricación es controlada bajo un sistema de gestión de calidad certificado con ISO 9001 y de gestión ambiental ISO 14001, asegurando un alto estándar de calidad.

Sus componentes y la tecnología utilizada en su fabricación, hacen que el CEMENTO DE ALTA DURABILIDAD RUMI TIPO IP, tenga propiedades especiales que otorgan a los concretos y morteros cualidades únicas de ALTA DURABILIDAD, permitiendo que el concreto mejore su resistencia e impermeabilidad y también pueda resistir la acción del intemperismo, ataques químicos (aguas saladas, sulfatadas, ácidas, desechos industriales, reacciones químicas en los agregados, etc.), abrasión, u otros tipos de deterioro.

Puede ser utilizado en cualquier tipo de obras de infraestructura y construcción en general. Especialmente para OBRAS DE ALTA EXIGENCIA DE DURABILIDAD.

DURABILIDAD

"Es aquella propiedad del concreto endurecido que define la capacidad de éste para resistir la acción agresiva del medio ambiente que lo rodea, permitiendo alargar su vida útil".

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

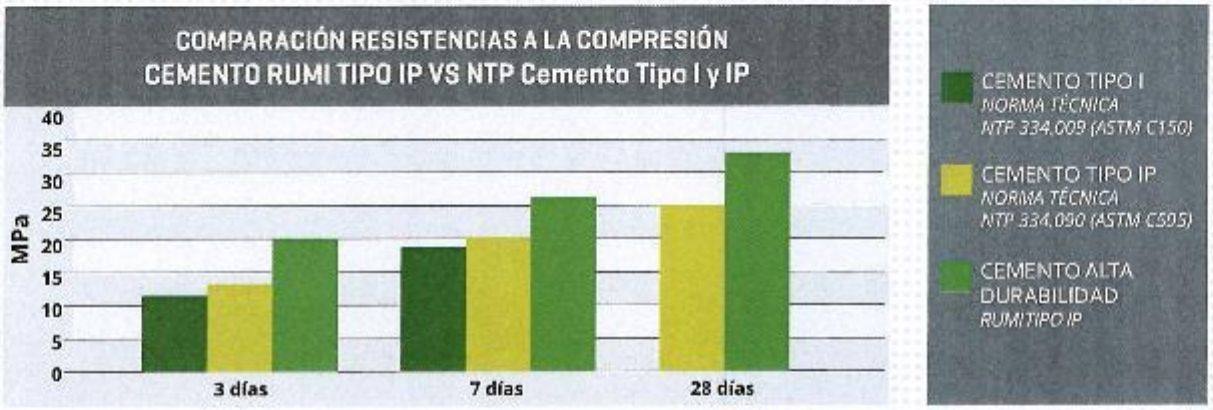
REQUISITOS	CEMENTO RUMI TIPO IP		REQUISITOS NORMA NTP 334.090 ASTM C-595	
REQUISITOS QUÍMICOS				
MgO (%)			6.00 Máx.	
SO_3 (%)	1.5 a 3.0		4.00 Máx.	
Pérdida por ignición (%)	1.5 a 4.0		5.00 Máx.	
REQUISITOS FÍSICOS				
Peso específico (gr/cm3)	2.75 a 2.85		-	
Expansión en autoclave (%)	0.07 a 0.03		-0.20 a 0.80	
Fraguado Vicat inicial (minutos)	170 a 270		45 a 420	
Contenido de aire	2.5 a 8.0		12 Máx	
Resistencia a la compresión	Kgf/cm2	MPa	Kgf/cm2	MPa
3 días	175 a 200	17.1 a 19.6	133 Min	13
7 días	225 a 255	22 a 25	204 Min	20
28 días	306 a 340	30 a 33.3	255 Min	25
Resistencia a los sulfatos	%		%	
% Expansión a los 6 meses	< 0.04		0,05 Máx	
% Expansión a 1 año	< 0.05		0,10 Máx	

REQUISITOS NORMA NTP 334.009 ASTM C-150 (CEMENTO TIPO I)	
Kgf/cm²	MPa
122 Min	12Mín
194 Min	19 Min
-	-

RUMI

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

COMPARATIVO CON REQUISITOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE NORMAS TÉCNICAS



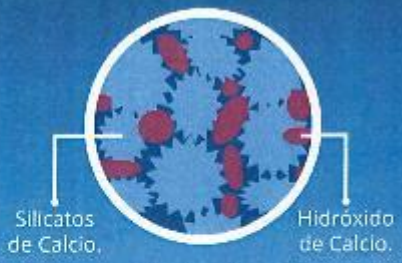
OTRAS PROPIEDADES

1 ALTA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Debido a su contenido de puzolana natural de origen volcánico, la cual tiene mayor superficie específica interna en comparación con otros tipos de puzolanas, hacen que el CEMENTO DE ALTA DURABILIDAD RUMI IP desarrolle con el tiempo resistencias a la compresión superiores a las que ofrecen otros tipos de cemento.

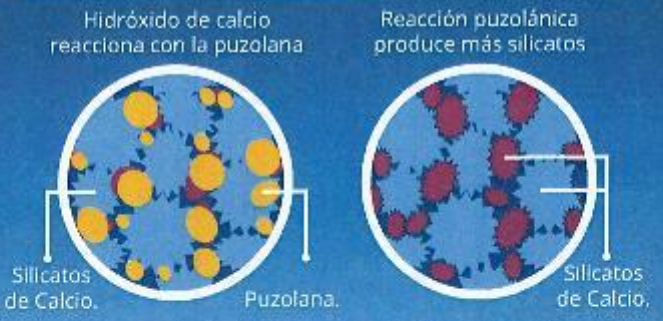
Los silicatos de la puzolana reaccionan con el hidróxido de calcio liberado de la reacción de hidratación del cemento formando silicatos cálcicos que son compuestos hidráulicos que le dan una resistencia adicional al cemento, superando a otros tipos de cemento que no contienen puzolana.

CON CEMENTO TIPO I



El cemento Tipo I produce un 75% de silicatos de calcio (resistencia), el otro 25 % es hidróxido de calcio que no ofrece resistencia y es susceptible a los ataques químicos, produciendo erosiones y/o expansiones.

CON CEMENTO DE ALTA DURABILIDAD RUMI IP



La puzolana que contiene el cemento ALTA DURABILIDAD RUMI IP, reacciona con el hidróxido de calcio, produciendo más silicatos de calcio, lo que otorga mayor resistencia, sellando los poros haciendo un concreto más impermeable.



2 RESISTENCIA AL ATAQUE DE SULFATOS Y CLORUROS

El hidróxido de calcio, liberado en la hidratación del cemento, reacciona con los sulfatos produciendo sulfato de calcio deshidratado que genera una expansión del 18% del sólido y produce también etringita que es el compuesto causante de la fisuración del concreto.

Debido a la capacidad de la puzolana de Rumipara fijar este hidróxido de calcio liberado y a su mayor impermeabilidad, el CEMENTO ALTA DURABILIDAD RUMI IP es resistente a los sulfatos, cloruros y al ataque químico de otros iones agresivos.

Resultados de laboratorio demuestran que el CEMENTO ALTA DURABILIDAD RUMI IP, tiene mayor resistencia a los sulfatos que el cemento Tipo V.



3 MAYOR IMPERMEABILIDAD

El CEMENTO ALTA DURABILIDAD RUMI IP, produce mayor cantidad de silicatos cálcicos, debido a la reacción de los silicatos de la puzolana con los hidróxido de calcio producidos en la hidratación del cemento disminuyendo la porosidad capilar, así el concreto se hace más impermeable y protege a la estructura metálica de la corrosión.

4 REDUCE LA REACCIÓN NOCIVA ÁLCALI - AGREGADO

La puzolana de Yura remueve los álcalis de la pasta de cemento antes que estos puedan reaccionar con los agregados evitando así la fisuración del concreto debido a la reacción expansiva álcali – agregado, ante la presencia de agregados álcali reactivos.

El ensayo de expansión del mortero es un requisito opcional de los cementos portland puzolánicos y se solicita cuando el cemento es utilizado con agregados álcali reactivos.

El CEMENTO ALTA DURABILIDAD RUMI IP cumple con este requisito opcional demostrado en ensayos de laboratorio. Así se demuestra la efectividad de su puzolana en controlar la expansión causada por la reacción entre los agregados reactivos y los álcalis del cemento.

5 RECOMENDACIONES DE USO

- Curado adecuado con abundante agua.
- Mantener humectada la superficie para lograr la mayor resistencia y evitar fisuramiento por excesivo secado.
- Tomar precauciones para el adecuado curado en vaciados cuando se presentan bajas temperaturas.
- Asesorarse siempre con un profesional de la construcción/ingeniero civil.

RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD

El contacto con este producto provoca irritación cutánea e irritación ocular grave, evite el contacto directo en piel y mucosas.

En caso de contacto con los ojos, lavar con abundante agua limpia.

En caso de contacto con la piel, lavar con agua y jabón.

Para su manipulación es obligatorio el uso de los siguientes elementos de protección:

BENEFICIOS AMBIENTALES

- Menor emisión de gases de efecto invernadero durante su fabricación
- Cemento fabricado con menor emisión de CO_2.


Botas Impermeables


Protección Respiratoria


Guantes Impermeables


Protección Ocular

ALMACENAMIENTO

Para mantener el cemento en óptimas condiciones, se recomienda:

- Almacenar en un ambiente seco, bajo techo, separado del suelo y de las paredes.
- Protegerlos contra la humedad o corriente de aire húmedo.
- En caso de almacenamiento prolongado, cubrir el cemento con polietileno.
- No apilar más de 10 bolsas o en 2 pallet de altura.

PRESENTACIONES DISPONIBLES

Bolsas 25 Kg	Ergonómico. Ideal para proyectos pequeños y pocas áreas de almacenamiento.
Bolsas 42.5 Kg	Ideal para proyectos medianos y pequeños, o con accesos complicados y pocas áreas de almacenamiento.
Big Bag 1.0 TM	Para proyectos de constructoras que tienen planta de concreto. Facilita la manipulación de grandes volúmenes.
Big Bag 1.5 TM	Para proyectos mineros y de gran construcción, requiere la utilización de equipos de carga.
Granel	Abastecido en bombonas para descargar en silos contenedores.

NORMAS TÉCNICAS

NORMA DE PAIS	NORMA	DENOMINACIÓN	
NORMA TÉCNICA PERUANA	NTP 334.090	Cemento Portland Puzolánico	TIPO IP
NORMA CHILENA	NCh 148 0f.68	Cemento Puzolánico	GRADO CORRIENTE
NORMA AMERICANA	ASTM C595	Portland Pozzolan Cement	TYPE IP
NORMA BOLIVIANA	NB-011	Cemento Puzolánico	TIPO P 30
NORMA ECUATORIANA	NTE INEN 490	Cemento Portland Puzolánico	TIPO IP
NORMA BRASILEÑA	NBR 5736	Cimento Portland pozolânico	TIPO CP IV 32
NORMA COLOMBIANA	NTC 121 - 321	Cemento Portland	TIPO UG

DURACIÓN

Almacenar y consumir de acuerdo a la fecha de producción utilizando el más antiguo. Se recomienda que el cemento sea utilizado antes de 90 días de la fecha de envasado indicada en la bolsa, luego de esa fecha, verifique la calidad del mismo.



RUMI

Cuidemos juntos el medio ambiente.
Big Bag: Se sugiere desechar como basura común.
Bolsas: Se sugiere reciclar el envase.

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

PyS EQUIPOS

CERTIFICADO DE CALIDAD

El equipo identificado en el presente documento ha sido inspeccionado, y revisado de acuerdo con procedimientos estándar, se establece y se encuentra que está dentro de las tolerancias prescritas.

NOMBRE DEL PRODUCTO: *PRENSA DE CONCRETO.*

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO: *La máquina de prueba de compresión hidráulica se utiliza para la prueba de compresión de hormigón y otros materiales de construcción, carga manual, visualización digital del valor de la presión y la relación de carga.*

CARACTERÍSTICAS:

Carga manual, Cubierta protectora
Capacidad de carga máxima: 2000 kN
Espacio de compresión: 360 mm
Carrera del pistón: 120 mm
Tamaño de las placas de compresión superiores: 300 mm
Tamaño de las placas de compresión inferiores: 300 mm
Dimensión (marco de carga: 900×400×1250 mm
Energía: 220V, 50Hz /60Hz, 1.3kW

MODELO: *STYE-2000*

SERIE: *230494*

FECHA: 09/09/2025

Aprobado: Amed Castillo
Control de Calidad

Calle 4, Mz.F1 Lt.05 Urb. Virgen del Rosario - Lima 31
945 183 033 / 945 181 317 / 970 055 989
apoyo@pys.pe / metrologia@pys.pe / ventas@pys.pe

FORNEY BAKER OHAUS SOLOTEST

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

SERVICIOS DE CALIBRACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS DE LABORATORIO

LABORATORIO DE FUERZA

LM-1647-2024

Solicitante	:	**GEOESTUDIO J & M S.A.C.**
Dirección	:	JR. VILCANOTA NRO. K-4A URB. MARIANO MELGAR PUNO - SAN ROMAN - JULIACA
Equipo	:	PRENSA DE CONCRETO
Marca	:	PYS EQUIPOS
Modelo	:	STYE-2000
Serie	:	230494
Capacidad Máxima	:	2000 kN
Identificación	:	No indica
Procedencia	:	China
Tipo de Indicación	:	Digital
Marca	:	No indica
Modelo	:	RFP-03
N° serie	:	No indica
Div. De escala	:	0.01 kN
Fecha de calibración	:	2025-09-09
Lugar	:	**LABORATORIO DE PYS EQUIPOS** CALLE 4 , MZ. F1 LT.05 URB. VIRGEN DEL ROSARIO - LIMA

Los resultados del certificado son válidos sólo para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento.

P Y S EQUIPOS E.I.R.L. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento o equipo después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

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

Método utilizado : La calibración se efectuó siguiendo los lineamientos en el documento de referencia de la norma UNE - EN ISO 7500-1 "*Verificación de maquinas de Ensayo Unoiaxiales Estáticos.Parte 1: Máquinas de ensayo de tracción/compresión. Verificación y calibración del sistema de medida de fuerza - Julio 2006*

LABORATORIO DE METROLOGÍA PyS EQUIPOS VºBº

Revisado y firmado digitalmente por:
Eler Pozo S.
Dpto. Metrología

Calibrado y firmado digitalmente por:
Amed Castillo E.
Dpto. Metrología

"PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL Y/O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE PYS EQUIPOS E.I.R.L."

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

PyS EQUIPOS

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

SERVICIOS DE CALIBRACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS DE LABORATORIO

Condiciones ambientales:

	Inicial	Final
Temperatura (°C)	20.5	20.2
Humedad Relativa (%)	60	60

Patrones de referencia:

Trazabilidad	Patrones de calibración	Numero de certificado
Patron trazables al HOTTINGER BALDWIN MESSTECKNIK GmbH - Alemania	Celda de carga calibrada a 1000 kN con incertidumbre del orden de 0.6%	LEDI - PUCP INF-LE 331 -23A

Resultados de medición:

Condiciones en que se entrega el equipo:

Tabla de indicaciones registradas del equipo patrón de 10%carga a 100%carga después del ajuste correspondiente

Indicación de la maqina *(Fi)*			Indicación del equipo patrón *(ascendente)*			
%	kNF	kgF	F1 (KgF)	F2 (kgF)	F3 (kgF)	Fpromedio
10	100	10197	10180	10200	10210	10200
20	200	20394	20420	20440	20450	20440
30	300	30591	30590	30610	30620	30610
40	400	40788	40780	40800	40790	40790
50	500	50985	50970	51010	51010	51010
60	600	61182	61200	61210	61240	61210
70	700	71379	71390	71400	71420	71400
80	800	81576	81580	81620	81640	81620
90	900	91773	91780	91810	91830	91810
100	1000	101970	101970	101990	102040	101990
Error relativo (Fo)			0	0	0	

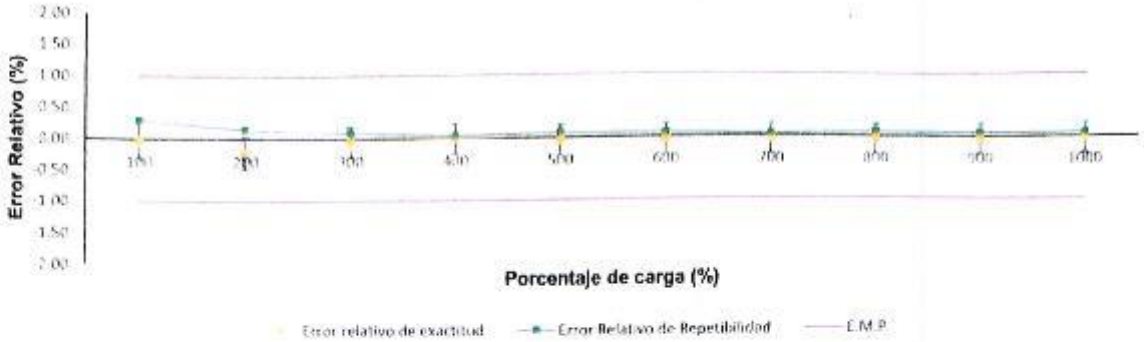
Indicación de la maqina *(Fi)*			Errores Relativos		*Resolución Relativa a(%)*	*Incertidumbre Expandida U(%)*
%	kNF	kgF	*Exactitud q (%)*	*Repetibilidad b (%)*		
10	100	10197	-0.03	0.29	0.010	0.30
20	200	20394	-0.23	0.15	0.005	0.26
30	300	30591	-0.06	0.10	0.003	0.25
40	400	40788	0.00	0.05	0.002	0.24
50	500	50985	-0.05	0.08	0.002	0.25
60	600	61182	-0.05	0.07	0.002	0.24
70	700	71379	-0.03	0.04	0.001	0.24
80	800	81576	-0.05	0.07	0.001	0.24
90	900	91773	-0.04	0.05	0.001	0.24
100	1000	101970	-0.02	0.07	0.001	0.24

"PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL Y/O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE PYS EQUPOS E.I.R.L."

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

Gráfica de errores



Incertidumbre:

La incertidumbre expandida de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura k=2, el cual corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95%.
La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Observaciones:

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación CALIBRADO.
- El equipo no indica clase, sin embargo, cumple con el criterio para máquinas de ensayo uniaxiales de clase 1.0 según la norma UNE-EN ISO 7500-1.

FIN DEL DOCUMENTO

"PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL Y/O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE PYS EQUIPOS E.I.R.L."

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

PyS
EQUIPOS

CERTIFICADO DE CALIDAD

El material identificado en el presente documento ha sido inspeccionado, y revisado de acuerdo con procedimientos estándar, se establece y se encuentra que está dentro de las tolerancias prescritas.

ESPECIFICACIONES DE LAS NORMAS:
Norma de ensayo: ASTM C- 1231

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO:

Plato de retención maquinado:	*6" diámetro.*
Incluye un juego de almohadillas:	*60 durómetros.*
Marca de la almohadilla:	*FORNEY – USA.*

NOMBRE DEL PRODUCTO: *EQUIPO DE ECONOCAP DE 6"*

MARCA DEL PRODUCTO: *PYS EQUIPOS.*

CODIGO DEL PRODUCTO: *PYS311*

SERIE DEL PRODUCTO: *145*

FECHA: 09/09/2025

Aprobado: Amed Castillo
Control de Calidad

Calle 4, Mz.F1 Lt.05 Urb. Virgen del Rosario - Lima 31
945 183 033 / 945 181 317 / 970 055 989
ventas@pys.pe

FORNEY BAKER OHAUS SOLOTEST

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

Product Certification
This is to Certify

that the material herein identified has been inspected and calibrated (when applicable) in accordance with standard procedures set forth and is found to be within the prescribed tolerances.

PRODUCT MANUFACTURE: FORNEY, LLC

MANUFACTURING SPECIFICATIONS: ASTM C1231 D2000
AASTHO T22
EN 933-8

PRODUCT DESCRIPTION: PAD CAP, 6 IN (15.2 CM), 60 DUROMETERS

MODEL: LA-0149

DIAMETER: 6 IN

DATE: 09/09/2025

FORNEY REPRESENTATIVE

This Certificate is issued as a statement of the fact that on this date the above instruments(s) had an accuracy as indicated. It should not be construed or regarded as a Guarantee or Warranty of any kind (in favor of the client, the client's customers, or the public at large) that the instrument(s) will continue to retain the same percentage (%) of accuracy or efficiency as determined on the date, when the calibration, and adjustments if required was performed and reported by "FORNEY INCORPORATED", since the calibrator has absolutely no control over the future operation, damage, maintenance repairs and overall condition of the instrument(s) and hereby expressly disclaims any and all liability for damage or loss sustained by all parties arising or resulting from deterioration, obsolescence, malfunction, or sub-standard performance of said instrument(s): which shall be deemed to be and which shall remain the sole responsibility of the machines regular custodian, owner and/or manufacturer.

FORNEY

WORLD EXPERTS IN MATERIAL TESTING
1565 Broadway Ave., Hermitage, PA 16148
Phone 724-346-7400 Fax: 724-346-7408
email – sales@forneyonline.com

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

Laboratorio de Estructuras Antisísmicas - LEDI

PUCP

INFORME TÉCNICO

EXPEDIENTE : INF- LE 331 – 23 A

SOLICITANTE : **PYS EQUIPOS E.I.R.L.**
Calle 4 Mz F1 Lt. 05, Urb. Virgen del Rosario,
San Martín de Porres, Lima
Att.: Sr. Antonio Pozo Solís

TITULO : CALIBRACION DE SISTEMA DE CELDA DE CARGA
Celda de Carga: KELI
Capacidad: 200 t
N° serie: MH20231130
INDICADOR DIGITAL: HIWEIGHT
Modelo: 315-X10
N° serie: 3011231
Resolución: 10 kg

FECHA : San Miguel, 30 de noviembre de 2023.

Ing. Daniel Torrealva D.
Jefe del Laboratorio de
Estructuras Antisísmicas

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Av. Universitaria 1801, San Miguel
T. 51-1 626-2000 anexo 4640
ledi@pucp.pe
www.pucp.edu.pe

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

CALIBRACION DE SISTEMA CELDA DE CARGA

1. GENERALIDADES.

PYS EQUIPOS E.I.R.L. solicitó al Laboratorio de Estructuras de la Pontificia Universidad Católica del Perú efectuar la calibración de un sistema de medición de carga comprendido por una celda de carga y un indicador digital.

Esta operación fue efectuada por personal del Laboratorio de Estructuras el 30 de noviembre de 2023.

2. EQUIPO CALIBRADO.

Celda de carga:
- Marca : KELI
- N° serie : MH20231130
- Capacidad : 200 t (nominal)

Indicador Digital:
- Marca : HIWEIGHT
- Modelo : 315-X10
- N° serie : 3011231
- Capacidad : 200000 kg
- Resolución : 10 kg

3 EQUIPO EMPLEADO.

-Marco de reacción de perfiles mecano.
-Celda de carga, HBM, C3H, N° 87747, 1000 KN, con última calibración de 18 de octubre de 2023.
-Amplificador, HBM-MGCplus1 ch6
-Gata hidráulica, LUKAS, 200 t HP 200/200 FNr.: 300
-Bomba hidráulica manual, LUKAS 841200425

4. PROCEDIMIENTO SEGUIDO.

Para la realización de la calibración se tomó como referencia la norma ASTM E74-18 y de acuerdo con el cliente se procedió a aplicar los valores de carga indicado en la página 3/3.

El proceso de calibración consistió en la aplicación de tres series de carga a la celda mediante una gata hidráulica en serie con la celda patrón

5. RESULTADOS.

En la página 3/3 se presentan los resultados de la calibración efectuada

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

Laboratorio de Estructuras Antisísmicas - LEDI

PUCP

Celda calibrada: KELI
N° serie: MH20231130
Indicador Digital: HIWEIGHT
N° serie: 3011231

Capacidad: 200 t

Modelo: 315-X10
Resolución: 10 kg

Celda patrón: HBM #serie: 87747 Capacidad: 1000 kN
Amplificador usado: MGCplus1 ch6
Informe de Calibración N° 2023-1 87747 de 18 de octubre de 2023

Celdas patrones calibradas en LEDI-PUCP con patrones trazables al HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK GmbH - Alemania
Norma de referencia: ASTM E74-18
Fecha calibración: 2023-11-30
Ejecutores: M. Bernardo L. - S. Llanos I.

PATRON(CARGA) (kg)			INDICADOR DIGITAL HIWEIGHT (kg)		
11183.07	11185.49	11184.28	11230	11250	11210
20355.71	20360.11	20357.91	20410	20450	20360
30547.77	30554.37	30551.07	30600	30640	30550
40740.09	40748.88	40744.48	40780	40840	40730
50932.66	50943.66	50938.16	50950	50990	50910
61125.48	61138.68	61132.08	61140	61180	61090
71318.56	71333.97	71326.27	71290	71420	71260
81511.90	81529.51	81520.70	81460	81550	81450
91705.49	91725.30	91715.40	91640	91690	91620
99350.86	99372.31	99361.59	99260	99330	99250

La ecuación de ajuste por el método de mínimos cuadrados según la norma citada es:

$$\text{DEFLEXIÓN} = A + B\,(\text{CARGA}) + C\,(\text{CARGA})^2$$

Siendo los coeficientes:

A = 45.1046275583
B = 1.0004539659
C = -0.0000000176

Obteniéndose como resultado:

Desviación Standard S =	41.4	kg
LLF =	99.3	kg
U =	307	kg

Nota: DEFLEXIÓN es la lectura directa del indicador digital HIWEIGHT
La Incertidumbre expandida, para k=2, se ha calculado para 100000 kg

Este informe contiene 3 páginas.
Prohibida la reproducción parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Estructuras Antisísmicas
INF-LE: 331-23 A

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

Laboratorio de Estructuras Antisísmicas - LEDI

PUCP

INFORME TÉCNICO

EXPEDIENTE : INF- LE 331 – 23 B

SOLICITANTE : **PYS EQUIPOS E.I.R.L.**
Calle 4 Mz F1 Lt. 05, Urb. Virgen del Rosario,
San Martín de Porres, Lima
Att.: Sr. Antonio Pozo Solís

TITULO : CALIBRACION DE SISTEMA DE CELDA DE CARGA
Celda de Carga: KELI
Capacidad: 10 t
N° serie: 5V51168
INDICADOR DIGITAL: HIGH WEIGHT
Modelo: 315-X5
N° serie: 0215533
Resolución: 0.1 kg

FECHA : San Miguel, 30 de noviembre de 2023.

Ing. Daniel Torrealva D.
Jefe del Laboratorio de
Estructuras Antisísmicas

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Av. Universitaria 1801, San Miguel
T. 51 1 626-2000 anexo 4640
ledi@pucp.pe
www.pucp.edu.pe

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

CALIBRACION DE SISTEMA CELDA DE CARGA

1. GENERALIDADES.

PYS EQUIPOS E.I.R.L. solicitó al Laboratorio de Estructuras de la Pontificia Universidad Católica del Perú efectuar la calibración de un sistema de medición de carga comprendido por una celda de carga y un indicador digital.

Esta operación fue efectuada por personal del Laboratorio de Estructuras el 30 de noviembre de 2023.

2. EQUIPO CALIBRADO.

Celda de carga:
- Marca : KELI
- N° serie : 5V51168
- Capacidad : 10 t (nominal)

Indicador Digital:
- Marca : HIGH WEIGHT
- Modelo : 315-X5
- N° serie : 0215533
- Capacidad : 10000 kg
- Resolución : 0.1 kg

3 EQUIPO EMPLEADO.

-Marco de reacción de perfiles mecano.
-Celda de carga, HBM, U1, N° 95857, 200 KN, con última calibración de 20 de octubre de 2023.
-Amplificador, HBM-MGCplus1 ch3
-Celda de carga, HBM, C3H, N° 6727, 50 KN, con última calibración de 23 de noviembre de 2023.
-Amplificador, HBM-MGCplus1 ch6
-Gata hidráulica, LUKAS, 200 t HP 200/200 FNr.: 300
-Bomba hidráulica manual, LUKAS 841200425

4. PROCEDIMIENTO SEGUIDO.

Para la realización de la calibración se tomó como referencia la norma ASTM E74-18 y de acuerdo con el cliente se procedió a aplicar los valores de carga indicado en la página 3/3.

El proceso de calibración consistió en la aplicación de tres series de carga a la celda mediante una gata hidráulica en serie con la celda patrón.

5. RESULTADOS.

En la página 3/3 se presentan los resultados de la calibración efectuada

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

Laboratorio de Estructuras Antisísmicas - LEDI

PUCP

Celda calibrada KELI
N° serie 5V51168
Indicador Digital HIGH WEIGHT
Numero serie 0215533
Celda patrón: HBM #serie: 95857 Capacidad: 200 kN
Amplificador usado: MGCplus1 ch3
Informe de Calibración N° 2023-1 95857 de 20 de octubre de 2023
Celda patrón: HBM #serie: 6727 Capacidad: 50 kN
Amplificador usado: MGCplus1 ch6
Informe de Calibración N° 2023-1 6727 de 23 de noviembre de 2023
Celdas patrones calibradas en LEDI-PUCP con patrones trazables al
HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK GmbH - Alemania
Norma de referencia: ASTM E74-18
Fecha calibración: 2023-11-30
Ejecutores: S.Llanos I. - M. Huamancayo P.

Capacidad: 10 t
Tipo: -
Modelo: 315-X5
Resolución: 0.1 kg

PATRON (kg)			INDICADOR DIGITAL HIGH WEIGHT (kg)		
999.0	999.0	999.1	997.3	998.1	997.9
1968.0	1968.0	1968.2	1970.4	1971.1	1968.0
2987.9	2987.9	2988.2	2992.0	2994.4	2988.3
4007.8	4007.8	4008.3	4015.8	4017.6	4015.4
4976.8	4976.8	4977.3	4989.7	4985.7	4981.9
6003.2	6002.4	6002.7	6021.5	6020.7	6020.6
7020.9	7020.0	7020.3	7041.8	7040.5	7039.7
8038.6	8037.5	8038.0	8065.5	8059.3	8059.1
9056.3	9055.1	9055.6	9084.1	9080.4	9085.1
9962.1	9960.8	9961.3	9993.8	9994.9	9987.4

La ecuación de ajuste por el método de mínimos cuadrados según la norma citada es:

$$DEFLEXIÓN = A + B\,(CARGA) + C\,(CARGA)^2$$

Siendo los coeficientes:

A = -4.9268076349
B = 1.0030527274
C = 0.0000000580

Obteniéndose como resultado

Desviación Standard S =	2.53	kg
LLF =	6.1	kg
U =	34	kg

Nota: DEFLEXIÓN es la lectura directa del indicador digital HIGH WEIGHT
La Incertidumbre expandida, para k=2, ha sido calculada para 9900 kg

Este informe contiene 3 páginas
Prohibida la reproducción parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Estructuras Antisísmicas
INF-LE: 331-23 B

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital [X] Fecha de entrega: 30/06/2026

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: ADALUZ MEYLIN GUTIERREZ COAQUIRA
Dirección: Jr Huanacauri B2-5 Urb. santa Adriana
DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 71719742
Teléfono: 972262866 email: adguco.conci@gmail.com
Nombres y Apellidos:
Dirección:
DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°:
Teléfono: email:
Facultad y/o Escuela de Posgrado: INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Escuela Profesional o Mención: INGENIERÍA CIVIL
Título o Grado Académico a optar: INGENIERO CIVIL
Asesor: M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA
Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación [ ] Tesis [X] Trabajo de Suficiencia Profesional [ ] Trabajo Académico [ ]

Título: EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE LA BACTERIA BACILLUS SUBTILIS EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y LA AUTORREPARACIÓN DE UN CONCRETO CONVENCIONAL EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL – PUNO, 2025

Palabras claves, (3 a 5 términos): Concreto, bacillus subtilis, resistencia mecánica, resistencia a la compresión, autorreparación.

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV [1, 2]?

1, 2

[1] Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entré otros relacionados.
[2] Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

2. Referencia de tesis:

[ ] Bachiller [X] Titulo [ ] 2da Especialidad [ ] Maestría [ ] Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X)

[X] Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.

[ ] Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a):_____

[ ] No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

¿Quiere permitir usos comérciales de su producción intelectual?

Sí: significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

[ ] Sí autorizo

[X] No autorizo

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción "internacional" o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción "internacional" emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, **la opción "internacional" goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral**. Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

☐ Internacional

☒ Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE MATERIALES – P17



Firma de Autor | huella digital | 30 - JUNIO - 2026 Fecha

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/