

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

**INFLUENCIA DEL BIOREPARADOR *Priestia megaterium* EN LA
RESISTENCIA A FLEXIÓN Y PERMEABILIDAD DEL CONCRETO
FISURADO EN RESERVORIOS DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA
DIEGO QUISPE TITO Y PUCUTO, CUSCO - 2024**

PRESENTADO POR:

Br. DENNIS MORALES HUAMAN

Br. KARIN LIDIA PUMASUPA HUAYANA

**PARA OPTAR AL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

ASESOR:

Ing. JOSÉ FELIPE AZPILCUETA
CARBONELL

CO-ASESOR:

Blgo. LUGÓ MIRANDA BARRIGA

CUSCO – PERÚ

2026



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el **Asesor** ING. JOSE FELIPE AZPILCUETA CARBONELL quien aplica el software de detección de similitud al trabajo de investigación/tesis titulada:

"INFLUENCIA DEL BIOREPARADOR *Priestia megaterium* EN LA RESISTENCIA A FLEXIÓN Y PERMEABILIDAD DEL CONCRETO FISURADO EN RESERVORIOS DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA DIEGO QUISPE TITO Y PUCUTO, CUSCO - 2024"

Presentado por: MORALES HUAMAN DENNIS, DNI N°: 75258228

presentado por: PUMASUPA HUAYANA KARIN LIDIA, DNI N° 78376761;

Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO CIVIL

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de **7%**.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo con Ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 11 de agosto de 2026



Firmado digitalmente por:
AZPILCUETA CARBONELL JOSE
FELIPE FIR 23881345 hard
Motivo: Soy el autor del
documento
Fecha: 11/08/2026 08:49:30-0500

Firma

Post firma: Ing. José Felipe Azpilcueta Carbonell

Nro. de DNI: 23881345

ORCID del Asesor: 0000-0003-3954-4737

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid: 27259: 613703142**
3. <https://unsaac.turnitin.com/viewer/submissions/oid:27259:613703142?locale=es-MX>

DENNIS - KARIN MORALES - PUMASUPA

INFLUENCIA DEL BIOREPARADOR Priestia megaterium EN LA RESISTENCIA A FLEXIÓN Y PERMEABILIDAD DEL CONCRET...



Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:613703142

Fecha de entrega

11 ago 2026, 6:33 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

11 ago 2026, 6:41 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS BIOREPARADOR Priestia megaterium-1.pdf

Tamaño del archivo

9.6 MB

169 páginas

27.852 palabras

157.043 caracteres

7% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 12 palabras)

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 5%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 6%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

A Dios y a Jesús, por guiarme y darme la fortaleza necesaria para alcanzar este logro. A mi madre, a mi padre y a mis hermanos, quienes han sido el pilar fundamental de mi vida, brindándome siempre su amor, apoyo y confianza. Este logro también les pertenece, porque sin ustedes no habría sido posible llegar hasta aquí.

Dennis Morales Huaman

A Dios, por ser mi guía, mi fortaleza y por concederme la capacidad de superarme y culminar esta importante etapa de mi vida. A mis queridos padres Ciles y Herminia, tías y tíos Julia, Delfina, Horacio, Rogelio, Pascual. A mis abuelitas, Mama Lidia y Mama Cristina los seres más valiosos que Dios puso en mi camino. A mis hermanas Pamela, Luzmarina. También a mis primas, Flor Luz Hodely, José, Clever, Darwin, gracias por ser parte de este logro

Karin Lidia Pumasupa Huayana

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a nuestro asesor, Ing. José Felipe Azpilcueta Carbonell, por su invaluable orientación, dedicación y permanente apoyo durante el desarrollo de esta investigación. Su experiencia, conocimientos y constante disposición para guiarnos fueron fundamentales para la culminación exitosa de este trabajo. Así mismo, a nuestro Co-Aesor Lugo Miranda Barriga por compartir generosamente sus conocimientos y su disposición fueron valiosos aportes y fundamentales para enriquecer este trabajo y alcanzar los objetivos planteados.

Asimismo, agradecemos a los miembros del jurado, dictaminantes y replicantes, por el tiempo dedicado a la revisión de esta tesis, por sus valiosos aportes, observaciones y sugerencias, las cuales contribuyeron a fortalecer la calidad del presente trabajo de investigación.

Expresamos también nuestro profundo agradecimiento a la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, especialmente a la Facultad de Ingeniería Civil, por brindarnos una formación académica de excelencia y proporcionarnos los conocimientos, valores y herramientas necesarias para afrontar los desafíos de nuestra profesión.

Agradecemos a la Institución Educativa Diego Quispe Tito y Pucuto, por las facilidades brindadas para el desarrollo de la presente investigación y por permitirnos realizar el trabajo de campo en sus instalaciones.

Finalmente, expresamos nuestro más profundo agradecimiento a nuestras familias, quienes, con su amor, comprensión, sacrificio y apoyo incondicional, fueron el principal impulso para alcanzar esta meta. Su confianza y motivación nos permitieron superar cada desafío presentado durante este proceso.

RESUMEN

La investigación evalúa la influencia del bioreparador *Priestia megaterium* en la recuperación de la resistencia a flexión y la reducción de la permeabilidad del concreto fisurado, bajo condiciones representativas de los reservorios de la institución educativas Diego Quispe Tito y Pucuto.

Se desarrolló una investigación aplicada, de nivel descriptivo-comparativo, enfoque cuantitativo y diseño cuasiexperimental. Se emplearon 12 vigas de concreto con resistencia a compresión de 280 kg/cm²: seis para flexión y seis para permeabilidad, distribuidas entre muestras de control y muestras bioreparadas. Las fisuras fueron inducidas mediante flexión y las vigas tratadas se sumergieron 56 días en una solución con esporas de *Priestia megaterium*, lactato de calcio, silicato de sodio, extracto de levadura y gluconato de sodio. La reparación se basó en la precipitación bacteriana de carbonato de calcio.

Los resultados evidenciaron una restitución parcial de la resistencia a flexión del 2.67 %, con un promedio de 0.08 MPa, mientras que las muestras sin tratamiento no registraron recuperación. Respecto a la permeabilidad, las vigas bioreparadas redujeron el flujo de agua en 70.2 %, pasando de 1.51 ml/s a 0.45 ml/s. El tratamiento permitió el sellado parcial de fisuras de hasta 0.8 mm; sin embargo, la recuperación mecánica fue limitada debido a que el carbonato de calcio se concentró principalmente en las aberturas y no restituyó completamente la continuidad estructural. En conclusión, *Priestia megaterium* mejora principalmente la impermeabilidad del concreto fisurado y contribuye de manera limitada a la recuperación de su resistencia a flexión.

Palabras clave: *Priestia megaterium*, Bioreparador, Carbonato de Calcio, Resistencia a Flexión, Permeabilidad.

ABSTRACT

The research evaluates the influence of the biorepair agent *Priestia megaterium* on the recovery of flexural strength and the reduction of permeability in cracked concrete under conditions representative of the reservoirs at the Diego Quispe Tito and Pucuto educational institutions.

An applied research study was conducted at a descriptive-comparative level, using a quantitative approach and a quasi-experimental design. Twelve concrete beams with a compressive strength of 280 kg/cm² were used: six for flexural testing and six for permeability testing, distributed between control and biorepaired specimens. Cracks were induced by flexural loading, and the treated beams were immersed for 56 days in a solution containing *Priestia megaterium* spores, calcium lactate, sodium silicate, yeast extract, and sodium gluconate. The repair mechanism was based on the bacterial precipitation of calcium carbonate.

The results showed a partial recovery of flexural strength of 2.67%, with an average value of 0.08 MPa, whereas the untreated specimens showed no recovery. Regarding permeability, the biorepaired beams reduced water flow by 70.2%, from 1.51 ml/s to 0.45 ml/s. The treatment enabled the partial sealing of cracks up to 0.8 mm; however, mechanical recovery was limited because calcium carbonate accumulated mainly within the crack openings and did not fully restore structural continuity. In conclusion, *Priestia megaterium* primarily improves the impermeability of cracked concrete and contributes to a limited extent to the recovery of its flexural strength.

Keywords: *Priestia megaterium*, Biorepair Agent, Calcium Carbonate, Flexural Strength, Permeability.

ÍNDICE

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTOS	II
RESUMEN	III
ABSTRACT	IV
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	3
1. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA.....	3
1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	3
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.2.1. <i>Problema General</i>	4
1.2.2. <i>Problemas Específicos</i>	4
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.3.1. <i>Justificación Teórica</i>	4
1.3.2. <i>Justificación Práctica</i>	5
1.3.3. <i>Justificación Metodológica</i>	5
1.3.4. <i>Justificación Social</i>	6
1.3.5. <i>Justificación Ambiental</i>	6

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	7
1.4.1. <i>Objetivo Principal</i>	7
1.4.2. <i>Objetivos Específicos</i>	7
CAPITULO II	8
2. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO.....	8
2.1.1. <i>Antecedentes Internacionales</i>	8
2.1.2. <i>Antecedentes Nacionales</i>	10
2.1.3. <i>Antecedentes Locales</i>	11
2.2. Bases teóricas.....	12
2.2.1. <i>Bioreparador</i>	12
2.2.2. <i>Bacteria de la Especie Priestia megaterium</i>	12
2.2.3. <i>Esporulación de Bacterias</i>	12
2.2.4. <i>Biomíneralización de Carbonato de Calcio (CaCO₃)</i>	12
2.2.5. <i>Concreto</i>	15
2.2.6. <i>Propiedades Mecánicas del Concreto</i>	16
2.2.7. <i>Permeabilidad del Concreto</i>	20
2.2.8. <i>Fisuras y Grietas</i>	20
2.2.9. <i>Fisuras en el Concreto Endurecido</i>	21
2.2.10. <i>Métodos de Reparación de Fisuras</i>	23

2.3. MARCO CONCEPTUAL	27
2.4. HIPOTESIS.....	28
2.4.1. <i>Hipótesis General</i>	28
2.4.2. <i>Hipótesis Específicas</i>	28
2.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES E INDICADORES	28
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	29
CAPITULO III.....	30
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	30
3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO: LOCALIZACIÓN POLÍTICA	30
3.2. TIPO Y ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN.....	30
3.2.1. <i>Tipo de Investigación</i>	30
3.2.2. <i>Enfoque de Investigación</i>	31
3.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN	31
3.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	31
3.5. UNIDAD DE ANALISIS	32
3.6. POBLACION DE ESTUDIO	32
3.7. TAMAÑO DE LA MUESTRA	32
3.8. TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	
34	
CAPITULO IV.....	35

4.	METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	35
4.1.	ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS DE ESTUDIO.....	35
4.1.1.	<i>Reservorio de la Institución Educativa Diego Quispe Tito</i>	<i>35</i>
4.1.2.	<i>Reservorio de Pucuto</i>	<i>38</i>
4.2.	OBTENCIÓN DE ESPORAS BACTERIANAS	48
4.2.1.	<i>Preparación de medios de cultivo.....</i>	<i>49</i>
4.2.2.	<i>Esterilización con rayos UV</i>	<i>53</i>
4.2.3.	<i>Inoculación de bacterias Priestia megaterium</i>	<i>54</i>
4.2.4.	<i>Crecimiento en masa de bacterias en tubos y frascos de vidrio.....</i>	<i>58</i>
4.2.5.	<i>Tinción Gram</i>	<i>62</i>
4.2.6.	<i>Esporulación de bacterias Priestia megaterium.....</i>	<i>62</i>
4.2.7.	<i>Decantación de esporas por centrifugación</i>	<i>63</i>
4.2.8.	<i>Lectura de la concentración de esporas en espectrofotómetro</i>	<i>64</i>
4.3.	SOLUCIÓN BIOREPARADORA	66
4.4.	SELECCIÓN DE MATERIALES	69
4.4.1.	<i>Agregado Grueso</i>	<i>69</i>
4.4.2.	<i>Agregado Fino</i>	<i>73</i>
4.5.	DISEÑO DE MEZCLA (MÉTODO ACI 211.1)	76
4.5.1.	<i>Condiciones de Diseño</i>	<i>76</i>
4.5.2.	<i>Características de los Materiales</i>	<i>77</i>

4.5.3.	<i>Resistencia de diseño</i>	78
4.5.4.	<i>Contenido de Aire Atrapado</i>	78
4.5.5.	<i>Relación de Agua / Cemento</i>	79
4.5.6.	<i>Determinación del Contenido de Material Aglutinante: Cemento</i>	79
4.5.7.	<i>Peso del Agregado Grueso</i>	79
4.5.8.	<i>Volumen Absoluto de los Componentes</i>	80
4.5.9.	<i>Cálculo del Peso de Agregado Fino</i>	80
4.5.10.	<i>Dosificación de los Materiales en Estado Seco</i>	80
4.5.11.	<i>Corrección por humedad</i>	81
4.5.12.	<i>Aporte de Agua a la Mezcla</i>	81
4.5.13.	<i>Agua Efectiva</i>	82
4.5.14.	<i>Pesos Corregidos</i>	82
4.6.	PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES	83
4.6.1.	<i>Prueba de revenimiento</i>	83
4.6.2.	<i>Vaciado de concreto en moldes de vigas</i>	83
4.6.3.	<i>Vaciado de concreto en moldes cilíndricos</i>	84
4.6.4.	<i>Desmolde y curado</i>	84
4.7.	ENSAYOS EXPERIMENTALES.....	86
4.7.1.	<i>Ensayo de resistencia a compresión de probetas cilíndricas</i>	86
4.7.2.	<i>Ensayos de Resistencia a Flexión de Vigas</i>	88

4.7.3. Prueba de permeabilidad del concreto fisurado	91
4.7.4. Ensayos en Elementos en Vigas Tratadas con Bioreparador.....	95
4.7.5. Visualización del Carbonato de Calcio en Estereoscopio.....	99
CAPÍTULO V.....	102
5. RESULTADOS.....	102
5.1. RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXIÓN (MODULO DE ROTURA)	102
5.1.1. Resultados del momento de agrietamiento y último	105
5.1.2. Determinación de momento de agrietamiento teórico.....	106
5.1.3. Determinación del momento de agrietamiento con datos experimentales	107
5.2. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE PERMEABILIDAD	107
5.3. RESULTADO DE LA EVALUACIÓN DEL MATERIAL PRECIPITADO EN LA FISURA	112
5.4. PRUEBA DE HIPÓTESIS	113
5.4.1. Prueba de Hipótesis de la Resistencia a la Flexión Inicial y Recuperada	113
5.4.2. Prueba de Hipótesis de la Permeabilidad entre el Concreto Bioreparado y el Concreto Fisurado en Estado Inicial.....	114
5.4.3. Prueba de hipótesis de la Resistencia a la Flexión entre el Concreto Bioreparado y el Concreto sin Tratamiento	115
5.4.4. Prueba de Hipótesis de la Permeabilidad entre el Concreto Bioreparado y el Concreto sin Tratamiento	117

5.5. ANALISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN (MODULO DE ROTURA) DE VIGAS DE CONTROL Y VIGAS BIOREPARADAS..	118
5.6. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA PERMEABILIDAD DE VIGAS DE CONTROL Y VIGAS BIOREPARADAS	119
CAPÍTULO VI.....	120
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	120
6.1. CONCLUSIONES	120
6.2. RECOMENDACIONES.....	121
7. BIBLIOGRAFÍA	122
8. ANEXOS	125
ANEXO A. FORMATOS DE EVALUACIÓN DE DATOS.....	125
<i>ANEXO A1: FORMATO DE ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS</i>	<i>125</i>
<i>ANEXO A2: FORMATOS PARA ENSAYOS DE AGREGADOS</i>	<i>128</i>
<i>ANEXO A3: FORMATOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXIÓN</i>	<i>133</i>
<i>ANEXO A4: FORMATO DE LA PRUEBA DE PERMEABILIDAD</i>	<i>134</i>
ANEXO B: MATRIZ DE OPERACIONALIZACION DE VARIABLES.....	135
ANEXO C: MATRIZ DE CONSISTENCIA	136
ANEXO D: CERTIFICADOS.....	137
<i>ANEXO D1: CERTIFICADO DE USO DE LABORATORIO FIC-UNSAAC</i>	<i>137</i>

<i>ANEXO D2: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN.....</i>	<i>138</i>
ANEXO E: PLANOS DE LOS RESERVORIOS EXPLORADOS.....	139
<i>ANEXO E1: PLANO DEL REVERSORIO PUCUTO.....</i>	<i>139</i>
<i>ANEXO E2: PLANO DEL RESERVORIO DE LA I.E. DIEGO QUISPE TITO.....</i>	<i>141</i>
ANEXO F: REGISTRO FOTOGRÁFICO.....	143

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Matriz de operacionalización de variables.....	29
Tabla 2	Cantidad de vigas para el ensayo de resistencia a flexión	33
Tabla 3	Cantidad de vigas para el ensayo de permeabilidad	33
Tabla 4	Insumos para la solución A.....	67
Tabla 5	Insumos para la solución B.....	67
Tabla 6	Análisis granulométrico del agregado grueso.....	69
Tabla 7	Peso específico y absorción del agregado grueso	71
Tabla 8	Peso unitario suelto y compacto del agregado grueso	72
Tabla 9	Contenido de humedad del agregado grueso	72
Tabla 10	Propiedades de los agregados	77
Tabla 11	Resistencias de diseño	78
Tabla 12	Aire atrapado.....	78
Tabla 13	Determinación volumétrica de los componentes	80
Tabla 14	Estimación de los componentes en estado seco	81
Tabla 15	Corrección por humedad.....	81
Tabla 16	Aporte de agua	82
Tabla 17	Pesos corregidos de los materiales para 1 m ³	82
Tabla 18	Resistencia del concreto 280 kg/cm ²	88
Tabla 19	Dimensiones de las vigas tipo 15 x 15 x 60 cm.....	102
Tabla 20	Módulo de rotura de vigas a los 28 días de vaciado de concreto.....	103
Tabla 21	Resistencia recuperada a flexión en vigas reparadas con CaCO ₃ a los 56 días	104
Tabla 22	Resistencia a flexión de vigas fisuradas sin tratamiento a los 56 días.....	105

Tabla 23	Momento de agrietamiento y último de las vigas a los 28 días de edad del concreto	107
Tabla 24	Dimensiones de la viga 10 x 10 x 34 cm	108
Tabla 25	Permeabilidad de vigas de concreto fisuradas antes de aplicar bioreparador.....	108
Tabla 26	Permeabilidad de vigas reparadas con CaCO_3 a los 56 días.....	109
Tabla 27	Permeabilidad de vigas fisuradas sin tratamiento a los 56 días.....	110
Tabla 28	Reacción química de las muestras de material precipitado en la fisura.....	112
Tabla 29	Prueba de hipótesis de la resistencia a flexión.....	113
Tabla 30	Prueba t de muestras emparejadas para la permeabilidad del concreto bioreparado y el concreto fisurado en estado inicial.....	115
Tabla 31	Prueba de hipótesis para la resistencia a la flexión entre el concreto reparado y el concreto sin tratamiento.....	116
Tabla 32	Prueba de hipótesis de la permeabilidad del concreto fisurado y el concreto sin tratamiento	117

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Precipitación de carbonato de calcio inducida microbiológicamente	14
Figura 2	Curva esfuerzo-deformación típica del concreto	16
Figura 3	Ensayo de tracción indirecta	17
Figura 4	Ensayo de resistencia a flexión	19
Figura 5	Curvas esfuerzo - deflexión.....	19
Figura 6	Clasificación de fisuras en el concreto	21
Figura 7	Fisura por corrosión del acero	22
Figura 8	Inyección de resinas epoxi	24
Figura 9	Reparación de la fisura por el método de perfilado y sellado	25
Figura 10	Reparación mediante perforación y obturación	25
Figura 11	Reservorio elevado	35
Figura 12	Fisura asociada al paso transversal de tubería muro de concreto.....	36
Figura 13	Fisura por retracción en muro	37
Figura 14	Desprendimiento de tarrajeo	38
Figura 15	Fisura por retracción en losa de fondo	39
Figura 16	Fisuras por retracción en muro	40
Figura 17	Fisuras por retracción en losa de techo	41
Figura 18	Retracción por vaciado en tiempos diferentes en muros.....	42
Figura 19	Desmembramiento del recubrimiento	43
Figura 20	Presencia de cangrejeras.....	44
Figura 21	Fisuramiento de muro y techo por variación de rigidez.....	45
Figura 22	Fisuramiento por variación de temperatura.....	46

Figura 23	Fisura por junta fría en muro.....	47
Figura 24	Eflorescencia en muro	48
Figura 25	Flujo de obtención de esporas	48
Figura 26	Procedimiento de preparación de medio de cultivo Agar BHI	50
Figura 27	Esterilización de tubos con medio de cultivo solido BHI y placas Petri.....	51
Figura 28	Procedimiento de preparación de caldo de cultivo BHI.....	53
Figura 29	Esterilización rayos UV en cámara de flujo laminar.....	54
Figura 30	Desembalaje de la cepa bacteriana <i>Priestia megaterium</i> provista por Gen Lab.....	55
Figura 31	Vertido del medio de cultivo Agar BHI en placas Petri.....	56
Figura 32	Inoculación de bacterias de <i>Priestia megaterium</i>	57
Figura 33	Incubación de bacterias <i>Priestia megaterium</i>	58
Figura 34	Repique de bacterias <i>Priestia megaterium</i>	59
Figura 35	Incubación de las bacterias.....	60
Figura 36	Subcultivo de bacterias entre tubos	61
Figura 37	Tinción Gram	62
Figura 38	Baño isotérmico.....	63
Figura 39	Decantación del medio de cultivo	64
Figura 40	Equivalencias de la escala de turbidez de McFarland frente a absorbancia espectrofotométrica.....	65
Figura 41	Lectura de la concentración de esporas en espectrofotómetro	66
Figura 42	Solución A y B	68
Figura 43	Solución bioreparadora compuesta por A + B	68
Figura 44	Curva granulométrica del agregado grueso.....	70

Figura 45	Análisis granulométrico del agregado fino	73
Figura 46	Análisis granulométrico del agregado fino	74
Figura 47	Peso específico y absorción correspondientes al agregado fino	75
Figura 48	Peso unitario suelto y compacto del agregado grueso.....	75
Figura 49	Contenido de humedad del agregado fino.....	76
Figura 50	Revenimiento del concreto.....	83
Figura 51	Vaciado de vigas de 10x10x34 cm.....	85
Figura 52	Desencofrado de vigas de concreto.....	85
Figura 53	Curado de vigas y probetas de concreto.....	86
Figura 54	Ensayo de resistencia a compresión de probetas.....	87
Figura 55	Maquina universal de ensayos Instron 600DX	89
Figura 56	Ensayo de resistencia a flexión de vigas	91
Figura 57	Prueba de permeabilidad de vigas de 10 x 10 x 34 cm	94
Figura 58	Ensayo de resistencia a flexión de vigas	95
Figura 59	Visualización del carbonato de calcio (CaCO_3).....	96
Figura 60	Visualización del carbonato de calcio en la sección transversal de la viga	97
Figura 61	Prueba de permeabilidad de vigas de 10 x 10 x 34 cm	98
Figura 62	Visualización del carbonato de calcio.....	98
Figura 63	Espécimen seleccionado para la visualización de carbonato de calcio	99
Figura 64	Imagen estereoscópica del carbonato de calcio precipitado.....	100
Figura 65	Espécimen seleccionado para visualización en estereoscopio	100
Figura 66	Imagen estereoscópica de carbonato de calcio precipitado inducido por actividad bacteriana	101

Figura 67	Módulo de rotura de vigas.....	103
Figura 68	Resistencia recuperada a flexión de vigas reparadas	104
Figura 69	Comparativa de los resultados de la resistencia a flexión de vigas.....	105
Figura 70	Permeabilidad de vigas fisuradas antes de aplicar bioreparador.....	109
Figura 71	Permeabilidad de vigas reparadas despues de aplicar bioreparador	110
Figura 72	Permeabilidad de vigas fisuradas sin tratamiento a los 56 días	111
Figura 73	Comparación de la permeabilidad de las vigas fisuradas en condición inicial, después de la reparación con CaCO_3 y sin tratamiento	111
Figura 74	Reacción efervescente del carbonato de calcio	112

INTRODUCCIÓN

Las obras hidráulicas representan infraestructuras de gran importancia para el abastecimiento de agua. Estas estructuras están conformadas por elementos como muros, losas, columnas y vigas, cuya función es resistir los esfuerzos y garantizar la estanqueidad durante el almacenamiento del recurso hídrico.

Sin embargo, la fisuración del concreto constituye uno de los problemas más frecuentes y de mayor impacto en la durabilidad. Las fisuras pueden originarse por diversas causas, entre ellas sobrecargas, variaciones térmicas, retracción por secado, asentamiento diferencial y deficiencias durante el proceso constructivo. La aparición de fisuras en estos elementos compromete significativamente la integridad estructural e hidráulica, dado que se produce una pérdida de la capacidad para resistir esfuerzos y un incremento de la permeabilidad, facilitando el ingreso de agua y agentes agresivos (cloruros y sulfatos) que aceleran la corrosión del acero de refuerzo.

Ante esta situación, la reparación del concreto fisurado mediante bacterias bioreparadoras se presenta como una alternativa que permite el sellado de fisuras a través de la precipitación de carbonato de calcio inducida por *Priestia megaterium*. Este enfoque posibilita recuperar la resistencia a flexión y reducir la permeabilidad del concreto fisurado, contribuyendo a recuperar la estanqueidad de la estructura en contacto con el recurso hídrico.

Por lo tanto, la presente investigación aplica una solución bioreparadora compuesta por lactato de calcio, silicato de sodio, extracto de levadura, gluconato de sodio y esporas de *Priestia megaterium*, mediante la técnica de inmersión durante 56 días, en vigas de concreto simple fisuradas de dimensiones 15 x 15 x 60 cm para ensayos de flexión y 10 x 10 x 34 cm para la prueba de permeabilidad, con el propósito de evaluar la recuperación de la resistencia a flexión y la reducción de la permeabilidad del concreto fisurado.

Asimismo, el estudio busca generar información técnica que permita comprender el comportamiento del concreto fisurado tratado con una solución bioreparadora bajo condiciones controladas de laboratorio. La evaluación de la resistencia a flexión y la permeabilidad permite analizar dos aspectos fundamentales en obras hidráulicas: la capacidad mecánica del elemento y su comportamiento frente al paso del agua. De esta manera, los resultados obtenidos podrán contribuir al desarrollo de alternativas sostenibles para la reparación y mantenimiento de estructuras de concreto expuestas a condiciones de humedad permanente, fortaleciendo el conocimiento sobre el uso de microorganismos en la conservación del concreto.

La presente investigación se organiza en seis capítulos. En el capítulo primero aborda el planteamiento del problema, justificación y objetivos de la investigación. En el capítulo segundo, se presentan los antecedentes de investigación, las bases teóricas que sustentan las variables de estudio, el marco conceptual, la formulación de hipótesis y operacionalización de variables. En el capítulo tercero aborda la metodología de investigación en el cual se identifica el ámbito de estudio, tipo, nivel y diseño de la investigación, así como la población y muestra. En el capítulo cuarto, presenta la metodología de trabajo en el cual aborda los reservorios estudiados, producción de la solución bioreparadora, elaboración de muestras de concreto y procedimientos experimentales. En el capítulo quinto, se presentan los resultados obtenidos y discusión, en los cuales se muestran los datos recopilados del ensayo de resistencia a flexión y la prueba de permeabilidad. En el capítulo sexto, se presentan las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

CAPITULO I

1. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

A nivel mundial, el concreto es el material de construcción más utilizado en infraestructuras como puentes, presas, reservorios y edificios. Sin embargo, estas estructuras están sujetas a deterioros que pueden comprometer la pérdida de las propiedades mecánicas e hidráulicas.

En el Perú, según los reportes oficiales de la Contraloría General de la República del Perú correspondientes al año 2024 sobre el estado situacional de los reservorios de agua potable en los departamentos de Ancash, Cusco, Huánuco y San Martín, se ha identificado el deterioro del concreto debido a la presencia de fisuras y grietas en los elementos estructurales, lo que afecta el estado funcional de estas obras hidráulicas.

En la presente investigación se identificó que los reservorios de la Institución Educativa Diego Quispe Tito y de Pucuto presentan fisuras en sus elementos de concreto. Debido a que estas estructuras están destinadas al almacenamiento de agua, dichas fisuras pueden favorecer la filtración, la pérdida de estanqueidad y el incremento de la permeabilidad. Como consecuencia, el agua puede ingresar a través de las fisuras, favoreciendo la corrosión del acero de refuerzo, el deterioro del concreto, la disminución de la durabilidad de la estructura y la pérdida de la resistencia a flexión. Ante esta problemática, la presente investigación busca contribuir a la generación de nuevos conocimientos respecto a la aplicación de bacterias bioreparadoras que inducen a la precipitación de carbonato de calcio (CaCO_3) como mecanismo de sellado de fisuras.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. *Problema General*

PG: ¿Cómo influye el bioreparador *Priestia megaterium* en la resistencia a flexión y permeabilidad del concreto fisurado, en comparación con el concreto sin bioreparador bajo características representativas de los reservorios de la Institución Educativa Diego Quispe Tito y Pucuto?

1.2.2. *Problemas Específicos*

PE1: ¿En qué medida el bioreparador *Priestia megaterium* impacta en la resistencia a flexión del concreto fisurado, bajo características representativas de los reservorios de la Institución Educativa Diego Quispe Tito y Pucuto?

PE2: ¿Cuál es el efecto del bioreparador *Priestia megaterium* en la permeabilidad del concreto fisurado bajo características representativas de los reservorios de la Institución Educativa Diego Quispe Tito y Pucuto?

PE3: ¿De qué manera varía la permeabilidad y resistencia a flexión entre el concreto reparado por *Priestia megaterium* y el concreto fisurado sin bioreparador, bajo características representativas de los reservorios de la Institución Educativa Diego Quispe Tito y Pucuto?

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. *Justificación Teórica*

Esta investigación aporta nuevos conocimientos a la biotecnología del concreto, enfocada en la bioreparación del concreto fisurado mediante la precipitación de carbonato de calcio (calcita) inducida por bacterias *Priestia megaterium*. Aunque diversas investigaciones han estudiado el empleo de diferentes géneros de bacterias como aditivos del concreto autorreparable (bioconcreto),

existe un vacío de conocimiento científico respecto a la aplicación de *Priestia megaterium* como método de reparación del concreto fisurado y su efecto en la recuperación de la resistencia a flexión y la reducción de la permeabilidad.

1.3.2. Justificación Práctica

La fisuración del concreto en estructuras hidráulicas representa un problema crítico, puesto que permite el paso de agua a través de las fisuras, incrementando la permeabilidad del concreto; como consecuencia, favorece a la corrosión del acero de refuerzo, la pérdida de estanqueidad y de la vida útil. En este contexto, la presente investigación evalúa la efectividad de la bacteria bioreparadora *Priestia megaterium* para la reparación de fisuras en concreto simple mediante la precipitación inducida de carbonato de calcio. Esta tecnología biológica busca sellar las fisuras, recuperar sus propiedades mecánicas del concreto y reducir la permeabilidad, En ese sentido, la investigación podrá servir como referencia para la implementación de tecnologías de bioreparación contribuyendo al desarrollo de soluciones innovadoras y prácticas en el campo de la ingeniería civil.

1.3.3. Justificación Metodológica

En el presente trabajo de investigación se justifica metodológicamente por su carácter cuasiexperimental, por lo cual se realizaron ensayos en laboratorio para evaluar el efecto de la bacteria *Priestia megaterium*, la cual induce a la precipitación de carbonato de calcio en las fisuras del concreto. Con ese fin, se elaboraron vigas rectangulares de concreto simple, las cuales fueron sometidos a ensayos de flexión y permeabilidad, de acuerdo con las normativas establecidas.

Los resultados obtenidos proporcionaron evidencia científica que permitió corroborar el comportamiento del concreto reparado con bacterias, estableciendo comparaciones tanto con el estado de la viga previo a la aplicación de bioreparador como con la condición con tratamiento,

validando su efectividad como alternativa para el sellado de fisuras. De esta manera, la metodología aplicada asegura la reproducibilidad del estudio y proporciona una base sólida para futuras investigaciones relacionadas con el uso de bioreparadores en estructuras de concreto.

1.3.4. Justificación Social

El presente trabajo de investigación se justifica socialmente debido a su impacto en la población, ya que responde a la necesidad de encontrar soluciones innovadoras para el sellado de las fisuras del concreto en estructuras hidráulicas. Las fisuras pueden comprometer la calidad del agua almacenada, dado que facilita la infiltración de agentes agresivos como óxidos provenientes de la corrosión del acero e iones cloruro, los cuales representan un riesgo para la salud humana. Así mismo, las fisuras generan pérdidas del recurso hídrico por filtración, afectando el abastecimiento del agua para el consumo humano.

La aplicación de bacterias *Priestia megaterium* que inducen la precipitación de carbonato de calcio que efectúan la reparación del concreto fisurado, pueda contribuir a solucionar el problema generado en estructuras hidráulicas. De este modo, reduce la pérdida del recurso hídrico, beneficiando a la población y promoviendo el empleo de materiales sostenibles en la construcción.

1.3.5. Justificación Ambiental

El presente trabajo de investigación se justifica ambientalmente debido a su contribución a la sostenibilidad en la reparación del concreto fisurado en obras hidráulicas. El método de sellado de fisuras que emplea esta investigación ofrece una alternativa ecológica a los métodos convencionales de reparación, mediante la aplicación de la bacteria *Priestia megaterium* con la finalidad de recuperar la resistencia a flexión y reducir la permeabilidad del concreto fisurado.

Estas bacterias representan una solución amigable con el medio ambiente, puesto que no producen sustancias nocivas, contribuyendo al desarrollo de tecnologías de reparación sostenibles. Asimismo, al favorecer la recuperación parcial del desempeño del concreto, este método puede contribuir a prolongar la vida útil de las estructuras y reducir la necesidad de intervenciones de reparación convencionales, promoviendo un uso más eficiente de los recursos.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo Principal

OG: Evaluar la influencia del bioreparador *Priestia megaterium* en la resistencia a flexión y permeabilidad del concreto fisurado, en comparación con el concreto sin bioreparador bajo características representativas de los reservorios de la Institución Educativa Diego Quispe Tito y Pucuto.

1.4.2. Objetivos Específicos

OE1: Evaluar el impacto del bioreparador *Priestia megaterium* en la resistencia a flexión del concreto fisurado, bajo características representativas de los reservorios de la Institución Educativa Diego Quispe Tito y Pucuto

OE2: Evaluar el efecto del bioreparador *Priestia megaterium* en la permeabilidad del concreto fisurado bajo características representativas de los reservorios de la Institución Educativa Diego Quispe Tito y Pucuto

OE3: Analizar la variación de la permeabilidad y resistencia a flexión entre el concreto reparado por *Priestia megaterium* y el concreto fisurado sin bioreparador, bajo características representativas de los reservorios de la Institución Educativa Diego Quispe Tito y Pucuto

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

2.1.1. *Antecedentes Internacionales*

Jonkers (2011) en su investigación titulada “Bacteria-based self-healing concrete” presentó una investigación pionera sobre el concreto autorreparable mediante bacterias. El **objetivo** fue realizar un concreto con la capacidad de autoreparación de grietas por medio de la integración de bacterias precipitadores de carbonato de calcio. Empleo una **metodología** cuantitativa aplicativa con enfoque de diseño experimental y consistió en incorporar las bacterias alcalófilas y nutrientes encapsulados dentro de la mezcla del concreto, estos quedaban inactivas hasta que se presentara una grieta y diera paso al agua u otras sustancias, una vez activadas precipitaban carbonato de calcio, sellando así las fisuras. Finalmente, **concluyó** que el concreto con bacterias vistas en microscopio y en ensayos de permeabilidad presenta una autoreparación frente a un concreto convencional, también permitió el sellado de forma eficiente a grietas de tamaño 0.15mm de ancho aproximadamente.

Sangadji et al. (2013) desarrollaron una investigación titulada “Injecting a Liquid Bacteria-Based Repair System to Make Porous Network Concrete Healed”, cuyo **objetivo** fue analizar la efectividad de un método de reparación basado en bacterias alcalófilas aplicada por inyección líquida para el sellado de fisuras y la reducción de la permeabilidad del concreto. El estudio adoptó una **metodología** de diseño experimental para evaluar la eficacia del método de reparación bacteriana aplicado mediante la inyección líquida, analizando variables como el sellado de fisuras y la reducción de la permeabilidad del concreto. Los autores **concluyeron** de que el uso de sistemas de reparación basados en bacterias aplicadas mediante inyección líquida representa una alternativa

prometedora para el mantenimiento de estructuras de concreto, dado que a los 28 días de inyección permitió una reducción de permeabilidad del 99 % en muestras con tratamiento bacteriano en condición húmeda, mientras que las muestras con tratamiento en condición seca registraron la reducción del 60 %, resultados que fueron atribuidos a la precipitación de carbonato de calcio.

Tziviloglou, Wiktor, Jonkers y Schlangen (2016) presentaron un estudio titulado “Bacteria-based self-healing concrete to increase liquid tightness of cracks” sobre un mortero con capacidad de autoreparación biológica que reduce la permeabilidad. El **objetivo** de esta investigación fue evaluar las situaciones reales del comportamiento de las bacterias del género *Bacillus* y nutrientes encapsulados para la reparación de fisuras en especímenes de mortero, mediante el proceso conocido como biomineralización que consiste en inducir las bacterias a la precipitación de carbonato de calcio (calcita), el cual contribuye a mejorar la durabilidad de estructuras de concreto, así como también la reducción de la permeabilidad. La **metodología** que utilizaron fue cuantitativa aplicada con un enfoque de diseño experimental porque desarrollaron muestras de mortero con bacterias y mediante pruebas de laboratorio estimaron su capacidad de autoreparación llegando a la **conclusión** que la incorporación de bacterias de género *Bacillus* a los 28 y 56 días sometidos a ciclos húmedo-seco permitió obtener una reducción de permeabilidad del 76% y 98% respectivamente, mientras que el otro grupo de los especímenes de mortero incorporadas con bacterias sumergidas en agua tuvieron una reducción del 69 % a los 28 días y del 91 % a los 56 días. Así mismo, la resistencia a compresión del mortero incorporado con bacterias a los 3, 7 y 28 días alcanzaron resistencias inferiores al mortero convencional, mientras que la resistencia a flexión a los 3 y 28 días se obtuvieron valores próximos al mortero convencional, a los 7 días disminuyó respecto al mortero de control.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Oblitas Benavides (2023) realizó la investigación titulada “Mejoramiento de la capacidad autorreparable del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con la incorporación de bacterias *Bacillus megaterium*”, en la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. El **objetivo** de esta investigación fue de evaluar el efecto de la incorporación de bacterias en las propiedades mecánicas y la capacidad autorreparable del concreto. La **metodología** consistió en elaborar mezclas de concreto con diferentes concentraciones bacterianas para luego evaluar variables como resistencia a compresión, resistencia a flexión, permeabilidad y módulo de elasticidad. Finalmente se **concluyó** que la incorporación de bacterias aumentó la resistencia a compresión cerca del 29% y la resistencia a flexión en un 22% a los 28 días por lo que las bacterias mejoran tanto su capacidad de autoreparación como su resistencia mecánica.

Ruiz Humareda y Valverde Tapia (2020) realizaron la investigación titulada “Incorporación de bacterias *Bacillus subtilis* para mejorar la capacidad autorreparable del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, Lima – 2020”. El **objetivo** del autor era determinar cómo la adición de bacterias influye en la capacidad de autoreparación del concreto y sus propiedades mecánicas. La **metodología** fue cuantitativa experimental y consistió en elaborar mezclas de concreto con bacterias *Bacillus subtilis* y evaluar su comportamiento mediante ensayos de laboratorio para analizar el sellado de fisuras, influencia en el pH y su resistencia. Los resultados mostraron que la presencia de bacterias favorece el sellado de grietas y mejora las propiedades del concreto, contribuyendo a incrementar su durabilidad. En **conclusión**, la incorporación de bacterias presenta como una alternativa viable para desarrollar concretos con mayor capacidad de autoreparación. Los resultados reportados muestran una tendencia consistente hacia una mejora de las propiedades del concreto mediante la incorporación de bacterias.

2.1.3. *Antecedentes Locales*

Mendoza Nina (2018) desarrolló la investigación titulada “*Análisis de la permeabilidad del agua en el concreto mediante la aplicación de bacterias (Bioconcreto), Cusco – 2018*”, presentada en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. El **objetivo** de este estudio fue evaluar la permeabilidad del concreto fisurado mediante la aplicación de las bacterias *Bacillus subtilis*.

La **metodología** del estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, nivel correlacional - explicativo y diseño experimental. Para llegar a los objetivos, se elaboraron muestras de concreto convencional y bioconcreto con la aplicación de bacterias capaces de precipitar carbonato de calcio mediante un proceso de biomineralización. Posteriormente, los prismas fueron sometidas a ensayos de permeabilidad para comparar el comportamiento entre el concreto convencional y el concreto reparado.

Los resultados evidenciaron que el concreto que contenía bacterias tuvo una menor permeabilidad a comparación del concreto convencional. Esto se debe a que la actividad bacteriana favorece la formación de carbonato de calcio en las fisuras del concreto, lo cual contribuye al sellado de dichas discontinuidades y reduce el paso del agua a través del material.

En **conclusión**, el estudio determinó que la aplicación de bacterias en el concreto fisurado mejoró su comportamiento frente a la infiltración de agua, al recuperar parcialmente la estanqueidad mediante la precipitación de carbonato de calcio. Asimismo, observó que las primeras evidencias de la formación de carbonato de calcio fueron a los 11 días de tratamiento, mientras que a los 86 días se evidenció el sellado total de fisuras con anchos menores o iguales a 1 mm.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Bioreparador

El bioreparador es una combinación o mezcla de dos tipos de soluciones que integran esporas de bacterias, las cuales actúan como agentes intermediarias para la síntesis de carbonato de calcio (CaCO_3), en este proceso emplea el lactato de calcio y nitrato de calcio que son fuentes de nutrientes para las bacterias para generar calcita, la cual tiene la capacidad para sellar fisuras de hasta 1 mm de ancho (Mendoza & Sánchez, 2017).

2.2.2. Bacteria de la Especie *Priestia megaterium*

La bacteria *Priestia megaterium* fue originalmente identificada como *Bacillus megaterium*. Se trata de una bacteria gram positiva, capaz de formar esporas y principalmente aeróbica que se puede encontrar en distintos entornos, entre ellos, el tejido vegetal, arrozales, suelos, alimentos secos o deshidratados, miel, agua del mar y muestras de sangre (Hwang et al., 2022).

2.2.3. Esporulación de Bacterias

La falta de nutrientes genera el estrés en la bacteria y se da lugar al proceso de esporulación que es un mecanismo de diferenciación de bacteria a espora (Aldazábal, 2016).

La espora es estado latente de bacterias que les permite sobrevivir en ambientes de ausencia de nutrientes y humedad por periodos largos de tiempo (años). En caso de que la espora se encuentre en un medio con disponibilidad de nutrientes necesarios, esta puede activarse y dar inicio a su crecimiento vegetativo (Aldazábal, 2016).

2.2.4. Biomineralización de Carbonato de Calcio (CaCO_3)

La espora es estado latente de bacterias que les permite sobrevivir en ambientes de ausencia de nutrientes y humedad por periodos largos de tiempo (años). En caso de que la espora se

encuentre en un medio con disponibilidad de nutrientes necesarios, esta puede activarse y dar inicio a su crecimiento vegetativo (Aldazábal, 2016).

El carbonato de calcio (CaCO_3) más conocido como calcita es uno de los minerales más abundantes en la naturaleza que forman parte de los 4% de la corteza terrestre, habitualmente desempeña función de cementante en rocas como el mármol, caliza y tiza (Rodríguez, 2010).

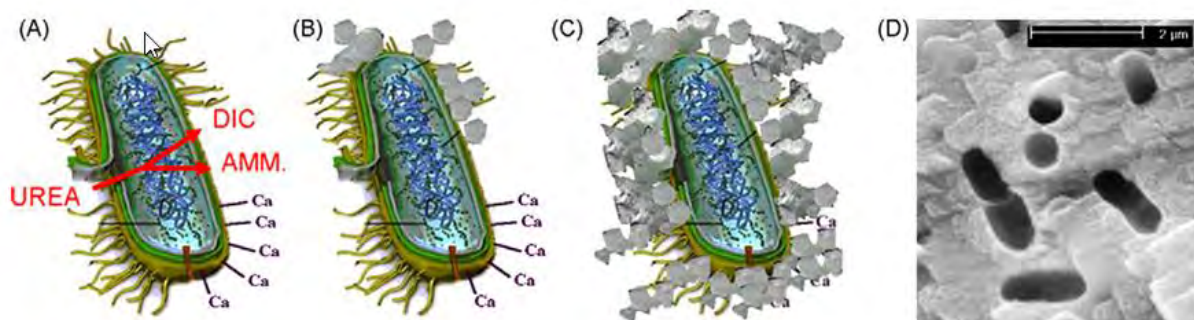
La formación del carbonato de calcio ocurre a través de un proceso de biomineralización por medio de actividades metabólicas llevado a cabo por algunas bacterias en diferentes ambientes naturales que conforman formaciones geológicas, suelos, océanos, aguas dulces y lagos salinos (Giraldo, 2017).

La precipitación de carbonato de calcio inducida microbiológicamente (Microbially Induced Carbonate Precipitation: MICP) es el resultado de las interacciones metabólicas y biológica del medio ambiente. El MICP es un proceso que ocurre a raíz de una solución sobresaturada que integran células microbianas e interacciones bioquímicas. Durante este proceso, los organismos tienen la capacidad de secretar el ion carbonato (CO_3^{2-}) el cual reacciona con los iones de calcio (Ca^{2+}) que induce a la precipitación de minerales (Giraldo, 2017).

La formación de carbonato de calcio se puede atribuir a mecanismos como la fotosíntesis, la reducción de sulfatos y la hidrólisis de urea. Este último resulta relevante, ya que produce elevadas concentraciones de carbonato en un período corto de tiempo y genera un pH alcalino que permite la precipitación de cristales de calcita (Giraldo, 2017).

Figura 1

Precipitación de carbonato de calcio inducida microbiológicamente

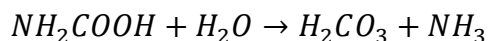
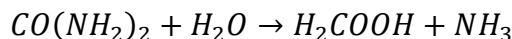


Nota. Fuente: (De Muynck et al., 2010)

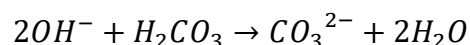
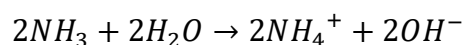
En la Figura 1, se observa la precipitación de carbonato inducida por el mecanismo de hidrólisis de la urea, donde los iones de calcio en la solución son atraídos hacia la pared celular de la bacteria, lo cual se debe a la carga negativa que esta presenta. La incorporación de urea a los organismos bacterianos libera carbono inorgánico disuelto y amonio en el microambiente de bacterias (A). La existencia de iones de calcio ocasiona una supersaturación, lo que da lugar a la precipitación de carbonato de calcio (CaCO_3) en la pared celular de las bacterias (B). Con el paso de tiempo las células bacterianas quedan encapsuladas limitando la transferencia de nutrientes, provocando la muerte celular (C). En la figura (D) se muestran las impresiones morfológicas de las células bacterianas implicadas en la precipitación de carbonato de calcio (De Muynck et al., 2010).

La hidrólisis de la urea da inicio al proceso a la formación de carbonatos. La urea se disgrega por la enzima ureasa, que se comporta como catalizador para la producción de amonio y carbonato, este proceso provoca el incremento del pH y la concentración de carbonato en el ambiente bacteriano. Un mol de urea se hidroliza intracelularmente en un mol de carbamato y un

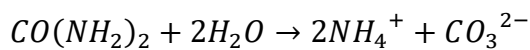
mol de amoníaco, espontáneamente se hidroliza en un mol de amoníaco y ácido carbónico (De Muynck et al., 2010).



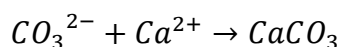
En consecuencia, se compensa el agua para formación de bicarbonato y dos moles ionizados de amonio e hidróxido.



La reacción de manera global:



La precipitación de carbonato de calcio se produce cuando el carbonato (CO_3^{2-}) se encuentra en presencia de iones de calcio (Ca^{2+}).



2.2.5. Concreto

El concreto es una mezcla conformada de agregados, agua, aire, material cementante y en algunos casos, aditivos. En su estado plástico puede adoptar cualquier forma, mientras que en estado endurecido tiene la capacidad de resistir esfuerzos mecánicos (Matallana, 2019).

El concreto es el recurso más empleado en la construcción y está conformado principalmente de un medio aglutinante en el que integran partículas o fragmentos de agregados.

Generalmente, se elabora mediante la mezcla del cemento Portland, agregados y agua (Mehta & Monteiro, 2001).

2.2.6. *Propiedades Mecánicas del Concreto*

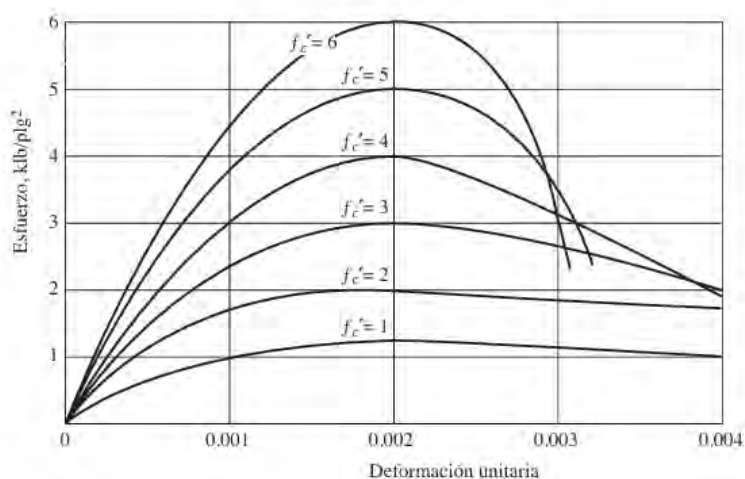
2.2.6.1. Resistencia a la compresión

Es la capacidad del concreto para soportar esfuerzos de compresión, siendo esta la propiedad más importante, debido a su gran resistencia a este tipo de esfuerzos. La medida de la resistencia a compresión es una de las pruebas de mayor relevancia, ya que sus resultados constituyen un criterio para determinar la calidad del concreto (Matallana, 2019).

Las curvas esfuerzo-deformación unitario en la Figura 2 representan el comportamiento del concreto con resistencias variables, el cual es aproximadamente lineal cuando se encuentra entre un tercio y la mitad de la resistencia a compresión. Fuera de este intervalo, el comportamiento no es lineal (McCormac & Brown, 2017).

Figura 2

Curva esfuerzo-deformación típica del concreto



Nota. Fuente: (McCormac & Brown, 2017).

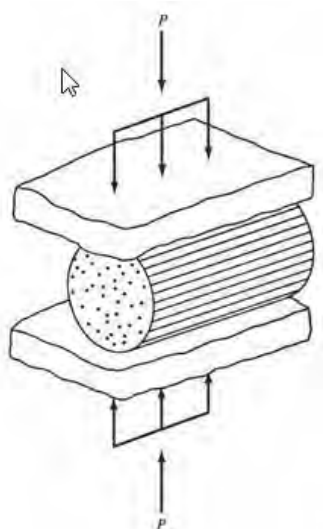
2.2.6.2. Resistencia a la tracción

El concreto tiene la capacidad a una resistencia a la tracción aproximadamente dentro del 8% y el 15% de la resistencia a compresión, esto es debido a que contiene gran cantidad de microfisuras. En caso de que el concreto este sometido a esfuerzos de compresión, no resulta ser un problema ya que la carga aplicada termina de cerrar las microfisuras, permitiendo la transmisión de esfuerzos compresivos. Sin embargo, este comportamiento no sucede cuanto está sometido a cargas de tracción (McCormac & Brown, 2017).

La resistencia se puede determinar mediante el ensayo de tracción indirecto (*split-cylinder test*), también conocido como ensayo brasileño, que consiste en generar esfuerzos de tracción a partir de un cilindro elástico sometido a carga de manera aproximadamente uniforme en dirección ortogonal al plano donde se aplica la carga (Nilson & Darwin, 1997).

Figura 3

Ensayo de tracción indirecta



Nota. Fuente: (McCormac & Brown, 2017).

La resistencia a la tracción (f_t) del concreto corresponde al esfuerzo de tracción en el cual el cilindro se fractura y puede calcularse mediante la siguiente ecuación, en donde P es la carga máxima, D el diámetro y L corresponde a la longitud del cilindro.

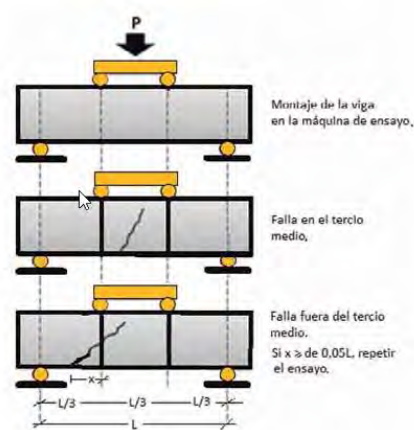
$$f_t = \frac{2P}{\pi LD}$$

2.2.6.3. Resistencia a flexión (Modulo de rotura)

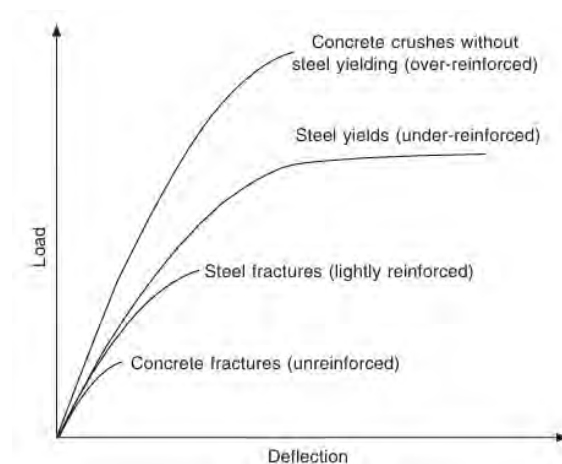
Es la propiedad que permite resistir esfuerzos de flexión que generan tracción en un lado del eje neutro y compresión en el lado opuesto, actuando como componentes normales a la sección transversal. Su función es resistir el momento flector (Nilson & Darwin, 1997).

Es la medida de la resistencia a la falla por momento de una viga rectangular o losa de hormigón. La resistencia a esfuerzos de flexión se expresa en términos de Modulo de Rotura (MR) en unidades de libras por pulgada cuadrada (MPA). Este valor se determina mediante de ensayos de laboratorio basados en la norma ASTM C78 que establece la aplicación de la carga en los puntos tercios, o la norma ASTM C293 que especifica su aplicación en el punto medio de la viga con una sección transversal de 150 x 150 mm y luz mínima equivalente a tres veces el espesor (NRMCA, s. f.).

El módulo de rotura es aproximadamente equivale al 10% y/o 20% de resistencia ultima a compresión. Este valor está relacionado por la geometría, el volumen y tipo de agregado grueso empleado; no obstante, la relación óptima para una muestra específica se determina mediante ensayos y un diseño de la mezcla. En términos estructurales, un módulo de rotura mayor indica una mejor capacidad del concreto para soportar cargas de flexión antes de alcanzar la falla, por ello es importante su evaluación.

Figura 4*Ensayo de resistencia a flexión**Nota.* Fuente: (Matallana, 2019).

El comportamiento de la viga de concreto se representa mediante la curva carga-deflexión, mostrando una respuesta aproximadamente lineal elástica hasta el inicio de la fisuración y la viga falla de manera abrupta sin aviso previo. Este tipo de falla se clasifica como frágil, ya que ocurre de manera repentina y experimentado poca deformación antes del colapso.

Figura 5*Curvas esfuerzo - deflexión**Nota.* Fuente: (Newman & Choo, 2003).

2.2.6.4. Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad se define como la razón entre el esfuerzo al cual está sometido entre la deformación unitaria en el rango elástico de la curva esfuerzo-deformación del concreto y esta propiedad representa la rigidez del material (Matallana, 2019).

2.2.6.5. Módulo de Poisson

El módulo de Poisson es la razón de las deformaciones unitarias unilaterales entre la deformación axial. Este valor depende de varios factores como de la resistencia a compresión, edad del concreto, contenido de humedad y los agregados (Kosmatka et al., 2004).

2.2.7. *Permeabilidad del Concreto*

La permeabilidad se define como la capacidad para permitir el tránsito de agua que fluye a través del concreto bajo condiciones de presión o la capacidad para resistir la penetración del agua o alguna sustancia ya sea líquido, gases o iones. Esta propiedad del concreto depende de varios factores, como de la calidad y permeabilidad de pasta, granulometría y permeabilidad de los agregados, así como la proporción relativa de la pasta y del agregado (Kosmatka et al., 2004).

2.2.8. *Fisuras y Grietas*

2.2.8.1. Fisuras

Las fisuras son aberturas que se manifiestan en la superficie del concreto y su aparición se debe a cambios de temperatura y de humedad (Sotomayor, 2020).

2.2.8.2. Grietas

Las grietas son aberturas que abarcan todo el espesor del concreto y su aparición está ligada a sobrecargas, movimiento del suelo, reparto defectuoso de cargas y variaciones térmicas (Sotomayor, 2020).

Figura 6*Clasificación de fisuras en el concreto*

Clasificación	Ancho (e)	Nivel de repercusión en la estructura
Microfisuras	$e \leq 0.05\text{mm}$	Nivel muy bajo.
Fisuras	$0.1 < e \leq 0.2\text{mm}$	Nivel bajo. Tener cuidado con ambientes marinos u otros agresivos donde pueda desencadenarse la corrosión del acero.
Macrofisura	$0.2 < e \leq 0.4\text{mm}$	Nivel moderado. Podría existir repercusiones estructurales, se requiere estudio de vulnerabilidad para el diagnóstico y alternativas de reparación y/o reforzamiento en caso lo amerite.
Grietas	$0.4 < e \leq 1.0\text{mm}$	Nivel alto. Podría existir reducción de la capacidad sismorresistente. Se requiere estudio de vulnerabilidad para el diagnóstico, y alternativas de reparación y/o reforzamiento en lo aplicable.
	$e > 1.0\text{mm}$	Nivel muy alto. Posible reducción significativa de la capacidad sismorresistente. Se requiere estudio de vulnerabilidad para el diagnóstico y determinar la posibilidad de salvar la estructura. Dependiendo de los daños encontrados, se debe evaluar la evacuación y apuntalamiento de la edificación.

Nota: Fuente: (Sotomayor, 2020).

2.2.9. Fisuras en el Concreto Endurecido

2.2.9.1. Fisuras por retracción por secado

Este tipo de fisuras se ocasiona por la variación en el volumen de concreto, el cual es causada por la pérdida de humedad y por las restricciones impuestas durante la colocación, estas condiciones generan esfuerzos de tracción que, al superar la resistencia del concreto, dan lugar a la aparición de fisuras (ACI 224, 1993).

2.2.9.2. Fisuras por tensiones térmicas

Las variaciones de temperatura en un elemento de concreto se deben a las diferentes velocidades de pérdida de calor de hidratación o a las condiciones climáticas, que pueden calentar o enfriar ciertas zonas del material de manera desigual. Estas diferencias térmicas generan cambio de volumen, lo que induce tensiones y como resultado, la formación de fisuras (ACI 224, 1993).

2.2.9.3. Fisuras por reacción química

Las fisuras se originan por la formación de compuestos expansivos resultantes de la reacción química de los materiales para la elaboración del concreto o entre el contacto de ciertos materiales y el concreto endurecido (ACI 224, 1993).

2.2.9.4. Fisuras por meteorización

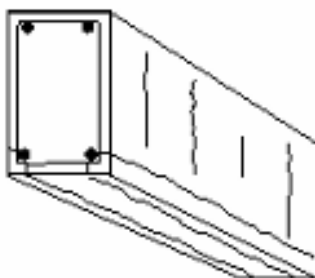
Las condiciones climáticas o naturales de calentamiento y enfriamiento, humedecimiento y secado, congelamiento y deshielo generan cambios de volumen en la estructura del concreto, lo que induce a la aparición de fisuras (ACI 224, 1993).

2.2.9.5. Fisuras por corrosión del refuerzo de acero

Este tipo de fisuras se produce por el incremento del volumen del acero, provocado por las altas tensiones generadas alrededor de este debido a los productos de la corrosión. Durante este proceso, se forman hidróxidos de hierro y óxidos, cuyo volumen es significativamente en comparación con el acero en estado íntegro, lo que genera tensiones internas y da lugar a la aparición de fisuras. La corrosión del acero puede ocurrir al contacto con agentes perjudiciales como iones cloruros, humedad y oxígeno o también a la reducción de pH (ACI 224, 1993).

Figura 7

Fisura por corrosión del acero



Nota: Fuente: (Helene & Pereira, 2003).

2.2.9.6. Fisuras por malas prácticas constructivas

Un curado inadecuado puede producir fisuras, ya que la hidratación incompleta del cemento provoca un aumento de contracción, reduce su resistencia con el transcurso del tiempo y disminuye la durabilidad del concreto. Además, otros factores que puede inducir a la aparición de fisuras es el vibrado inadecuado, encofrado deficiente y la incorrecta ubicación de las juntas de contracción (ACI 224, 1993).

2.2.9.7. Fisuras por sobrecarga durante la construcción

Las cargas aplicadas durante la construcción pueden ser significativamente superiores que aquellas a que la estructura deba soportar en su etapa de servicio. Estas sobrecargas suelen ocurrir cuando el concreto no ha llegado a su resistencia y es más vulnerable a daños, lo que puede dar lugar a la formación de fisuras (ACI 224, 1993).

2.2.9.8. Fisuras por error de diseño

La deficiencia en el diseño puede ocasionar fisuras, esto es debido a la falta de criterios constructivos y estructurales que afectan de manera significativa al comportamiento de los elementos de concreto (ACI 224, 1993).

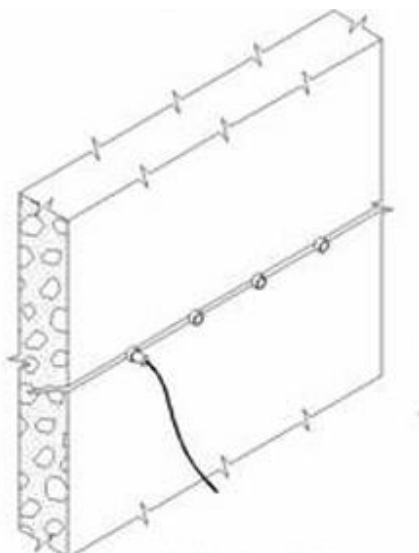
2.2.10. Métodos de Reparación de Fisuras

2.2.10.1. Inyección de resinas epoxi

Es un método de reparación mediante la aplicación de resinas epóxicas a presión en fisuras con aberturas inferiores 0.05 mm. En primera instancia el método consiste en generar orificios o bocas de entrada en la fisura en intervalos poco espaciados, sellar las fisuras de la superficie e inyectar resina epoxi. Se ha usado de manera exitosa para reparar fisuras en presas, edificios, puentes y otras estructuras de concreto (ACI 224, 1993).

Figura 8

Inyección de resinas epoxi



Nota: Fuente: (Helene & Pereira, 2003).

2.2.10.2. Perfilado y sellado

Este método consiste en realizar un perfilado a lo largo de la fisura con el propósito de agrandar como mínimo 6 mm de ancho, posteriormente se llena y se sella con sellador. Este procedimiento es más apropiado para superficies de concreto planas y horizontales, aunque su uso es dable para superficies verticales empleando un sellado no fluido. Es eficaz para reparar fisuras que tienen contacto con el agua, y se emplea tanto en fisuras finas como en aquellos de mayor tamaño. Esta técnica es más sencilla y no requiere de capacitación especializada que exige el método de inyección de resinas epóxidos a presión (ACI 224, 1993).

Figura 9

Reparación de la fisura por el método de perfilado y sellado



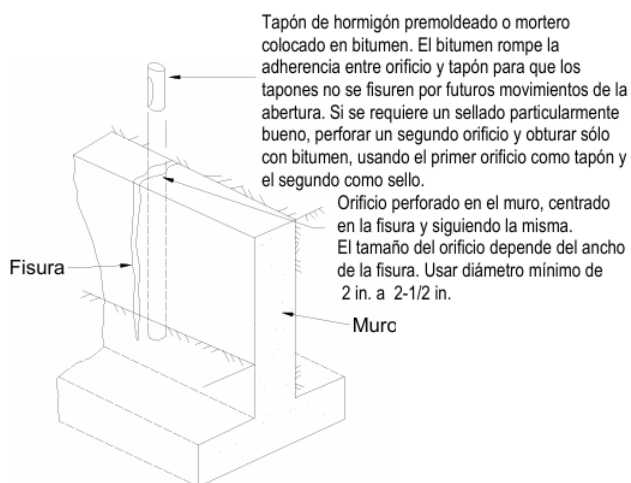
Nota: Fuente: (ACI 224, 1993).

2.2.10.3. Perforación y obturación

Este método consiste en perforar en dirección hacia abajo a lo largo de la fisura y luego rellenarla mediante la aplicación de una pasta de mortero, con el objetivo de generar un tapón o cuña. Solo se emplea esta técnica cuando las fisuras son generalmente rectas y es accesible uno de los extremos (ACI 224, 1993).

Figura 10

Reparación mediante perforación y obturación



Nota: Fuente: (ACI 224, 1993).

2.2.10.3.1.Llenado por gravedad

Este método consiste en la aplicación de monómeros o resinas de reducida viscosidad para rellenar fisuras con aberturas superficiales de 0.03 a 2 mm. El procedimiento comienza con la limpieza de la superficie mediante un chorro de agua o aire. Luego, se vierte el monómero sobre la superficie y, dado que estos materiales penetran lentamente, se distribuye moviéndolo hacia adelante y atrás con el propósito de lograr un máximo sellado de las fisuras (ACI 224, 1993).

2.2.10.4.Llenado con mortero

2.2.10.4.1.Reparación empleando mortero de cemento Portland

Este método se usa particularmente en presas de muro de concreto de gran espesor y en presas de gravedad, aunque el sellado de fisuras no sea estructural sirve para evitar las filtraciones de agua (ACI 224, 1993).

2.2.10.4.2.Llenado con mortero químico

Este método se basa en la mezcla de dos o más componentes químicos, tales como uretanos, silicatos de sodio y acrilamidas que al reaccionar entre sí se forma un gel, espuma o precipitado de sólido. Con este tipo de mortero se han sellado fisuras de aberturas muy pequeñas de hasta 0.05 mm (ACI 224, 1993).

2.2.10.5.Impregnación con polímero

Este método consiste en aplicar un líquido que se compone de monómeros que se polimerizan para obtener un material sólido. Estos monómeros presentan distintos niveles de volatilidad, inflamabilidad y toxicidad que no son adecuados para ser empleados en el proceso de mezclado con el agua. Además, debido a su baja viscosidad, pueden penetrar en el hormigón seco y sellar las fisuras. El monómero más empleado para las reparaciones es el metacrilato de metilo (ACI 224, 1993).

2.2.10.6. Sobrecapas y tratamientos superficiales

Esta técnica consiste en emplear una sobrecapa adherida o tratamiento superficial cuando se verifique que no sufrirán movimientos significativos y se emplean para cubrir fisuras superficiales finas en losas y pavimentos (ACI 224, 1993).

2.3. MARCO CONCEPTUAL

Bioreparador: Es una combinación o mezcla de dos soluciones que integran esporas de bacterias, las cuales inducen la precipitación de carbonato de calcio.

Priestia megaterium: Se trata de una bacteria Gram positiva, capaz de formar esporas y principalmente aeróbica que se puede encontrar en distintos entornos entre ellos el tejido vegetal, arrozales, suelos, alimentos secos o deshidratados, miel, agua del mar y muestras de sangre.

Precipitación de carbonato de calcio: Bacterias que tienen la capacidad de liberar iones de carbonato (CO_3^{2-}) el cual reacciona con los iones de calcio (Ca^{2+}) que induce a la precipitación de minerales.

Resistencia a flexión: Es la capacidad para resistir esfuerzos de flexión, que generan tracción en un lado del eje neutro y compresión en el lado opuesto, actuando como componentes normales a la sección transversal. Su función es resistir el momento flector.

Permeabilidad: Paso de agua a través del concreto cuando este se encuentra sometido a presión o la capacidad para resistir la penetración del agua o alguna sustancia ya sea líquido, gases o iones.

2.4. HIPOTESIS

2.4.1. *Hipótesis General*

HG: La reparación por *Priestia megaterium* recupera la resistencia a flexión del concreto fisurado y reduce la permeabilidad; en comparación con el concreto sin bioreparador bajo características representativas de los reservorios de la Institución Educativa Diego Quispe Tito y Pucuto.

2.4.2. *Hipótesis Específicas*

HE1: La reparación por *Priestia megaterium* recupera de manera significativa la resistencia a flexión del concreto fisurado, bajo características representativas de los reservorios de la Institución Educativa Diego Quispe Tito y Pucuto.

HE2: La reparación por *Priestia megaterium* reduce la permeabilidad del concreto fisurado bajo características representativas de los reservorios de la Institución Educativa Diego Quispe Tito y Pucuto.

HE3: El concreto reparado por *Priestia megaterium* recupera la resistencia a flexión y reduce la permeabilidad respecto al concreto fisurado sin tratamiento bacteriano, bajo características representativas de los reservorios de la Institución Educativa Diego Quispe Tito y Pucuto.

2.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES E INDICADORES

Variable X: Bioreparador *Priestia megaterium*

Variable Y1: Resistencia a flexión

Variable Y2: Permeabilidad

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 1

Matriz de operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADOR
Variable X: Bioreparador <i>Priestia megaterium</i>	Es una combinación de dos soluciones que integran esporas de bacterias, las cuales inducen la precipitación de carbonato de calcio (Mendoza & Sánchez, 2017).	Determinación de la concentración de esporas de <i>Priestia megaterium</i> presentes en la solución bioreparadora mediante lectura en espectrofotómetro.	Bacterias <i>Priestia megaterium</i>	Esporas de <i>Priestia megaterium</i> (esporas/L)
Variable Y1: Resistencia a flexión	Es la capacidad para resistir esfuerzos de flexión, que generan tracción en un lado del eje neutro y compresión en el lado opuesto, actuando como componentes normales. Su función es resistir el momento flector (Nilson & Darwin, 1997).	Medición mediante el ensayo de resistencia a flexión según la norma correspondiente en muestras de concreto simple con cargas a los tercios de la luz.	Resistencia a flexión del concreto fisurado	Módulo de rotura (Mpa)
Variable Y2: Permeabilidad	Paso de agua que pasa a través del concreto cuando está sometido bajo presión o la capacidad para resistir la penetración del agua o alguna sustancia ya sea líquido, gases o iones (Kosmatka et al., 2004).	Medición mediante la prueba de permeabilidad de muestras de concreto simple que presenta un orificio circular en la sección transversal a lo largo de toda su longitud.	Permeabilidad del concreto fisurado	Filtración (mL/seg)

Nota: Fuente: elaboración propia

CAPITULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO: LOCALIZACIÓN POLÍTICA

El estudio se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, ubicada en el distrito de Cusco, provincia y departamento de Cusco. En el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil se elaboraron las vigas de concreto simple, así como los ensayos de resistencia a flexión y permeabilidad.

Los estudios biológicos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Microbiología de la Universidad Andina del Cusco, donde se realizó el cultivo de la bacteria *Priestia megaterium*, la producción de esporas y la preparación de la solución bioreparadora.

3.2. TIPO Y ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN

3.2.1. Tipo de Investigación

De acuerdo con Borja Suárez (2012) señala que la investigación aplicada se orienta a la utilización del conocimiento científico para intervenir sobre una realidad una realidad problemática, con el propósito de generar soluciones prácticas que contribuyan a resolver problemas específicos.

Bajo este criterio, la presente investigación se clasifica como **aplicada**, ya que busca generar conocimiento con una finalidad práctica, orientada a evaluar el uso del bioreparador *Priestia megaterium* como alternativa para mejorar el comportamiento del concreto fisurado empleado en obras hidráulicas. En ese sentido, el estudio permite analizar la recuperación parcial de la resistencia a flexión y la reducción de la permeabilidad mediante la precipitación de carbonato de calcio en las fisuras del concreto.

3.2.2. Enfoque de Investigación

El presente trabajo de investigación se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo, debido a que se basa en la medición, registro y análisis de datos numéricos obtenidos mediante ensayos de laboratorio. Para ello, se evaluaron valores de resistencia a flexión y permeabilidad en muestras de concreto fisurado, comparando el comportamiento de muestras control y muestras tratados con el bioreparador *Priestia megaterium*.

3.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Según Borja Suárez (2012), el nivel descriptivo de investigación se orienta a la observación, identificación y descripción de las características de un fenómeno o variable de estudio, permitiendo conocer su comportamiento dentro de un contexto determinado. Este nivel busca recopilar información y analizar las propiedades del objeto de estudio.

La presente investigación es de nivel descriptivo-comparativo, debido a que tiene como propósito describir el comportamiento de la resistencia a flexión y la permeabilidad del concreto fisurado, antes y después de la aplicación del bioreparador compuesto por *Priestia megaterium*.

3.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Según Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), los diseños cuasiexperimentales manipulan deliberadamente al menos una variable independiente para observar su efecto sobre una o más variables dependientes; sin embargo, se diferencian de los diseños experimentales porque las unidades o sujetos de estudio no son asignados aleatoriamente.

La investigación presenta un diseño cuasiexperimental, debido a que se manipuló la variable independiente, correspondiente a la aplicación del bioreparador *Priestia megaterium*. Asimismo, las unidades de estudio no fueron asignadas aleatoriamente.

3.5. UNIDAD DE ANALISIS

Según Borja Suárez (2012), la unidad de análisis corresponde al elemento o componente específico que será objeto de estudio dentro de una investigación, sobre el cual se aplicarán los procedimientos de medición, evaluación, análisis y recopilación de información de las variables planteadas. La determinación de la unidad de análisis permite establecer con precisión qué elemento será evaluado y de dónde se obtendrán los datos necesarios para el desarrollo de la investigación.

El presente trabajo de investigación tiene como unidad de análisis vigas rectangulares de concreto simple fisuradas con una resistencia a compresión de $f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$, elaboradas en laboratorio para representar las características del concreto empleado en los reservorios Diego Quispe Tito y Pucuto.

3.6. POBLACION DE ESTUDIO

Según Borja Suárez (2012), la población está constituida por el conjunto de elementos o unidades que presentan características comunes y que son de interés para el desarrollo de una investigación, debido a que sobre ella se pretende obtener información y establecer conclusiones.

La población de estudio está constituida por dos estructuras de concreto fisurado, con una resistencia a compresión de $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$, en los reservorios de la Institución Educativa Diego Quispe Tito y Pucuto.

3.7. TAMAÑO DE LA MUESTRA

Según Borja Suárez (2012), la muestra es una parte o subconjunto de la población que es seleccionada para ser estudiada, debido a que en una investigación no siempre es posible analizar la totalidad de los elementos que conforman la población. Así mismo, indica que el muestreo no

probabilístico es aquel procedimiento de selección en el cual los elementos de la muestra no son elegidos mediante un mecanismo aleatorio, sino que su incorporación depende de criterios establecidos por el investigador, considerando las características y objetivos del estudio.

Siguiendo ese criterio y dado el nivel de investigación, la muestra fue de tipo no probabilístico y por conveniencia por lo cual se emplearon los criterios debido a que permite registrar y comparar los valores obtenidos en laboratorio para cada variable de estudio.

El tamaño de muestra consta de 12 vigas fisuradas de concreto simple $f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$, representativas del concreto de los reservorios de Diego Quispe Tito y Pucuto, distribuidas en:

- 6 vigas de concreto simple de 15 x 15 x 60 cm
- 6 vigas de concreto de 10 x 10 x 34 cm

Tabla 2

Cantidad de vigas para el ensayo de resistencia a flexión

Vigas con esporas	Vigas control
VF-1	VF-4
VF-2	VF-5
VF-3	VF-6
Total, de vigas	6

Nota: Fuente: Elaboración propia

Tabla 3

Cantidad de vigas para el ensayo de permeabilidad

Vigas con esporas	Vigas control
VP-1	VP-4
VP-2	VP-5
VP-3	VP-6
Total de vigas	6

Nota: Fuente: Elaboración propia

La cantidad de vigas de concreto considerados para los ensayos son los siguientes: 6 vigas 15 x 15 x 60 cm de para el ensayo de resistencia de flexión y 6 vigas de rectangulares 10 x 10 x 34 cm para la prueba de permeabilidad. Cabe precisar que todas las muestras se sometieron al ensayo de resistencia a flexión al cabo de 28 días de edad (sin la aplicación de bacterias). Posteriormente las muestras correspondientes al ensayo de resistencia a flexión y prueba de permeabilidad se sumergieron por 56 días en solución bioreparadora.

3.8. TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Según Borja Suárez (2012), las técnicas de investigación constituyen los procedimientos o métodos que se utiliza en la investigación para obtener información relacionada con las variables de estudio. Estas permiten recolectar datos de manera organizada y de acuerdo con los objetivos planteados en la investigación. Asimismo, los instrumentos de investigación son los medios o herramientas utilizados para aplicar las técnicas de recolección de datos, permitiendo registrar, medir y obtener la información necesaria para el análisis del fenómeno estudiado.

Las técnicas e instrumentos fueron seleccionados en función de las variables, dimensiones e indicadores definidos en la operacionalización, con el objetivo de obtener información cuantitativa sobre el comportamiento de la resistencia a flexión y la permeabilidad del concreto fisurado tratado con el bioreparador *Priestia megaterium*.

Para ello, se emplearon técnicas de análisis documental, observación directa de laboratorio, ensayos mecánicos, ensayos de permeabilidad, artículos científicos, tesis de investigación y registro de los datos en formatos, los cuales permitieron obtener información objetiva y medible regidos en las normas correspondientes y manuales de ensayos.

CAPITULO IV

4. METODOLOGÍA DE TRABAJO

4.1. ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS DE ESTUDIO

4.1.1. *Reservorio de la Institución Educativa Diego Quispe Tito*

El reservorio constituye una estructura hidráulica destinado para la dotación y abastecimiento de agua potable para los estudiantes de la Institución Educativa Diego Quispe Tito ubicado en el distrito de San Sebastián, en la ciudad del Cusco.

En la visita, el reservorio se encuentra en estado de abandono, así mismo que se observaron fisuras que aparentemente comprometen la estructura.

Figura 11

Reservorio elevado



Nota: Fuente: Elaboración propia.

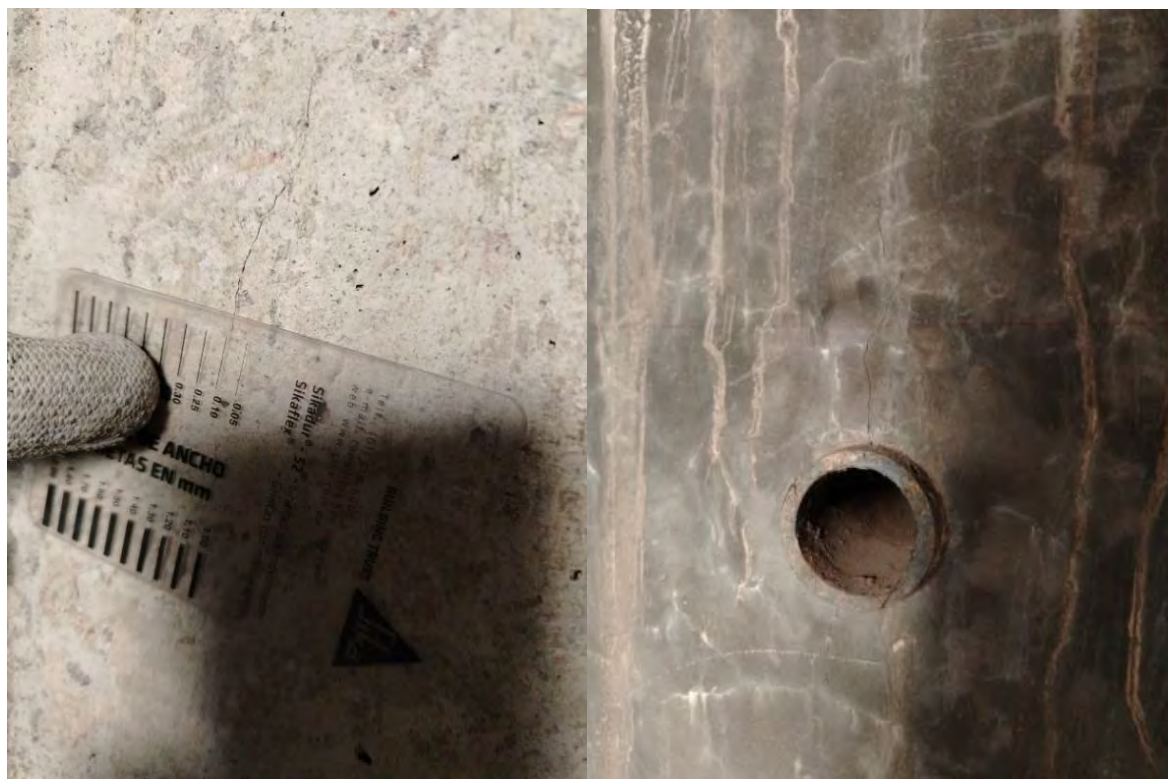
4.1.1.1. Patología Estructural del Reservorio de la I.E. Diego Quispe Ttito

4.1.1.1.1. Fisuramiento por pase transversal de tubería

Esta patología se encuentra en el muro, presentando una fisura con una abertura de 0.10 mm ubicada a 1.18 m del encuentro con el muro adyacente. Este tipo de fisuras se produce por la concentración de esfuerzos alrededor de la abertura destinada al paso transversal de la tubería; puede tener compromiso estructural, puesto que la fisura facilita el ingreso de agua y favorece la corrosión del acero de refuerzo.

Figura 12

Fisura asociada al paso transversal de tubería muro de concreto



Nota: Fuente: Elaboración propia.

4.1.1.1.2. Fisuramiento por retracción del concreto

Se encuentra en dos muros adyacentes presentando una abertura de 0.20 mm. Estas fisuras pueden favorecer la corrosión del acero de refuerzo cuando existe ingreso o presencia de agua.

Figura 13

Fisura por retracción en muro



Nota: Fuente: Elaboración propia.

4.1.1.1.3. Desprendimiento del tarrajeo

Este tipo de patología se presenta en el tarrajeo exterior de losa de techo, donde se evidencia la pérdida de adherencia entre el mortero de revestimiento y losa de techo. Esta patología no genera un compromiso estructural.

Figura 14

Desprendimiento de tarrajeo



Nota: Fuente: Elaboración propia.

4.1.1.1.4. Cangrejas

No se tiene esta patología.

4.1.2. Reservoirio de Pucuto

La estructura hidráulica está destinada para la dotación y abastecimiento de agua para la población de Pucuto ubicado en distrito de Huaró, provincia de Quispicanchi. Las patologías recopiladas según el informe técnico de Azpilcueta (2022).

4.1.2.1. Patología Estructural del reservorio Pucuto

4.1.2.1.1. Fisuramiento por retracción del concreto

Esta patología se presenta en los elementos estructurales como losa de fondo, muros, losa de techo, con anchos de grieta de hasta 2 mm.

En losa de fondo el fisuramiento está a 1,20 a 1,50 m desde el borde de muro; el patrón de reconocimiento es grietas más anchas en la zona central y más delgadas hacia los extremos a lo largo del recorrido de las grietas con un ancho de 1,00 mm, no se puede comprobar si abarcan todo

el ancho de la losa de fondo. Este tipo de agrietamiento se muestra en la zona de tracción de la losa de fondo; por tanto, no tiene compromiso estructural (Azpilcueta, 2022).

Figura 15

Fisura por retracción en losa de fondo



Nota: Fuente: (Azpilcueta, 2022)

El fisuramiento en muros se evidencian alrededor de todo el muro circular, en ambos bordes, tanto superior como inferior hasta alcanzar toda la altura del muro, llegan a tener hasta 2 mm de ancho; el patrón de reconocimiento son grietas de abertura uniforme a lo largo del recorrido de las grietas, formando una cuadrícula, se ha podido comprobar abarcan todo el ancho de los muros (Azpilcueta, 2022).

Estas fisuras representan una condición de deterioro del concreto expuestas de manera permanente a la acción del agua. La presencia de grietas distribuidas alrededor del muro favorece la pérdida de estanqueidad de la estructura, permitiendo el paso del agua hacia el interior del elemento y generando filtraciones que afectan su correcto funcionamiento.

Figura 16

Fisuras por retracción en muro



Nota: Fuente: (Azpilcueta, 2022)

En la losa de techo se identifica mediante el patrón de reconocimiento en grietas de carácter radial anchos uniformes extendiéndose desde el centro al borde de techo, presentan aberturas de hasta 2 mm ancho y se ha constatado que abarcan todo el espesor de la losa. La presencia de este agrietamiento en zonas sometidas a tracción y compresión indica un compromiso de la integridad estructural de la losa de techo (Azpilcueta, 2022).

Figura 17

Fisuras por retracción en losa de techo



Nota: Fuente: (Azpilcueta, 2022)

4.1.2.1.2. Fisuramiento de retracción por vaciado del concreto en tiempos diferentes

Este tipo de patología se encuentra en la superficie del muro circular se han identificado fisuras distribuidas circunferencialmente. Estas se encuentran en el borde inferior, en la junta entre la losa de cimentación y el muro; a media altura, entre los diferentes paños del muro, en el borde superior y en la viga de coronación. Las fisuras se observan tanto en las caras exteriores como interiores del muro, alcanzando una abertura de hasta 2 mm. El patrón observado consiste en grietas de ancho uniforme que recorren la unión entre vaciados de concretos en diferentes tiempos y se ha constatado que atraviesan el espesor de los muros. Dada la evidencia tanto en zonas de tracción como de compresión, este tipo de agrietamiento indica un compromiso estructural (Azpilcueta, 2022).

Esta condición adquiere especial importancia debido a que la pérdida de impermeabilidad compromete la funcionalidad de la estructura y puede acelerar los procesos de degradación del material. Asimismo, cuando las grietas atraviesan el espesor de la losa, disminuye la capacidad del elemento para distribuir adecuadamente las cargas y mantener su integridad estructural.

Figura 18

Retracción por vaciado en tiempos diferentes en muros



Nota: Fuente: (Azpilcueta, 2022)

4.1.2.1.3. Desmembramiento del recubrimiento

Esta patología se encuentra en los muros, que se origina durante el proceso de desencofrado. Esta se manifiesta como un desprendimiento o desmembramiento, particularmente en aquellas áreas donde el agregado grueso queda expuesto en el borde del encofrado. Dicha condición compromete la integridad estructural del muro, dado que la exposición del acero de refuerzo a la corrosión representa un compromiso estructural. (Azpilcueta, 2022).

Figura 19

Desmembramiento del recubrimiento



Nota: Fuente: (Azpilcueta, 2022)

4.1.2.1.4. Cangrejeras

Esta patología se dio en el proceso de vaciado del muro circular del reservorio y se identificaron zonas con cangrejeras por defectos de consolidación del concreto. Se establece que dicha patología solo representa un compromiso estructural, si la afectación del área de la sección transversal supera el 30%. Considerando la naturaleza del reservorio, destinado a la contención de agua, existe la posibilidad de que estas cavidades originen filtraciones (Azpilcueta, 2022).

Figura 20

Presencia de cangrejas



Nota: Fuente: (Azpilcueta, 2022)

4.1.2.1.5. Fisuramiento por variación de rigidez

Se ha identificado fisuramiento en la unión entre muros y techo que se atribuye a variaciones en la rigidez de estos elementos. El patrón de fisuras en los muros se caracteriza por una distribución en cuadrícula con un ancho constante, mientras que en el techo se observan fisuras de tipo radial y tangencial. Esta patología se origina por una cuantía de acero de refuerzo superior a la requerida, lo cual disminuye la ductilidad del concreto (Azpilcueta, 2022).

Este tipo de fisuramiento puede afectar el comportamiento conjunto entre los elementos estructurales, debido a que las diferencias de rigidez generan concentraciones de esfuerzos en las zonas de unión. Como consecuencia, las fisuras favorecen el ingreso de agua y agentes agresivos, incrementando el deterioro del concreto y reduciendo la durabilidad de la estructura.

Figura 21

Fisuramiento de muro y techo por variación de rigidez



Nota: Fuente: (Azpilcueta, 2022)

4.1.2.1.6. Fisuramiento por variación de temperatura

La estructura del reservorio presenta fisuras en muros y techo, que se origina por variaciones de temperatura entre el interior y exterior. En los muros, se observan fisuras verticales con un de ancho mayor en la parte superior, mientras que en el techo predominan las fisuras radiales presentando anchos de hasta 1.0 mm. Estas fisuras tienden a abarcar el espesor de los muros y del techo. Si bien no representan un compromiso estructural, pero si el riesgo se materializa ante la posibilidad de corrosión del acero de refuerzo ocasionada por la penetración de agentes agresivos a través de dichas fisuras (Azpilcueta, 2022).

Figura 22

Fisuramiento por variación de temperatura



Nota: Fuente: (Azpilcueta, 2022)

4.1.2.1.7. Juntas frías

Se han identificado juntas frías de vaciado en el muro circular, originadas por la interrupción y reanudación del proceso de vaciado en diferentes momentos. Estas juntas, se presentan específicamente entre la losa de cimentación y el muro, a nivel intermedio del muro, y en la unión entre el muro y la viga de coronación, además no implican necesariamente la formación de una rótula plástica. El patrón de fisuramiento asociado consiste en grietas horizontales que atraviesan el espesor total del muro alcanzando aberturas de hasta 2.0 mm de ancho. La presencia de estas fisuras representa un compromiso estructural, principalmente por la posibilidad de iniciar la corrosión del acero de refuerzo. Además, se constata la ausencia de water stop en dichas juntas, lo que podría facilitar la filtración de agua (Azpilcueta, 2022).

Figura 23

Fisura por junta fría en muro



Nota: Fuente: (Azpilcueta, 2022)

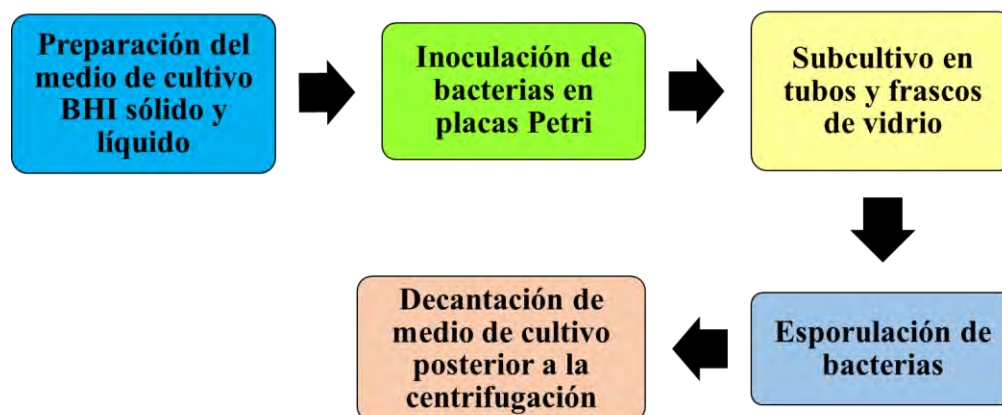
4.1.2.1.8. Deterioro por intemperismo

Esta patología se origina cuando una estructura en proceso de construcción sufre paralizaciones y no se implementan medidas de protección adecuadas para mantener las estructuras expuestas de la acción del medio ambiente. Dichas estructuras, al no estar diseñadas para una exposición directa a la intemperie, resultan vulnerables. Como consecuencia, se han registrado humedad y afloramiento de salitre en la parte superior exterior de los muros, indicando la degradación causada por la exposición ambiental (Azpilcueta, 2022).

Figura 24*Eflorescencia en muro**Nota:* Fuente: (Azpilcueta, 2022)

4.2. OBTENCIÓN DE ESPORAS BACTERIANAS

Para obtener las esporas de bacterias *Priestia megaterium*, se siguió los siguientes procesos.

Figura 25*Flujo de obtención de esporas**Nota:* Fuente: Elaboración Propia

4.2.1. Preparación de medios de cultivo

4.2.1.1. Preparación del Medio de cultivo sólido

4.2.1.1.1. Preparación del Agar BHI

El medio de cultivo solido destinada para el crecimiento bacteriano fue el Agar BHI.

1. Se calibró la balanza analítica para los pesajes correspondientes. Se verificó las especificaciones del fabricante de Agar BHI, el cual indica una proporción de 52 g por litro de agua destilada.
2. Se cuantificó el volumen de agua destilada mediante probetas graduadas de vidrio de 500mL de capacidad.
3. Se vierten 200mL de agua destilada a botellas de vidrio, 10.4g de Agar BHI.
4. Una vez rehidratada el medio de cultivo se procede a llevar a fusión mediante una cocina eléctrica para la eliminación de grumos.

4.2.1.1.2. Esterilización

Las placas Petri utilizado en laboratorio se esterilizó en el horno Pasteur con calor seco a 180 °C de temperatura durante 1 hora.

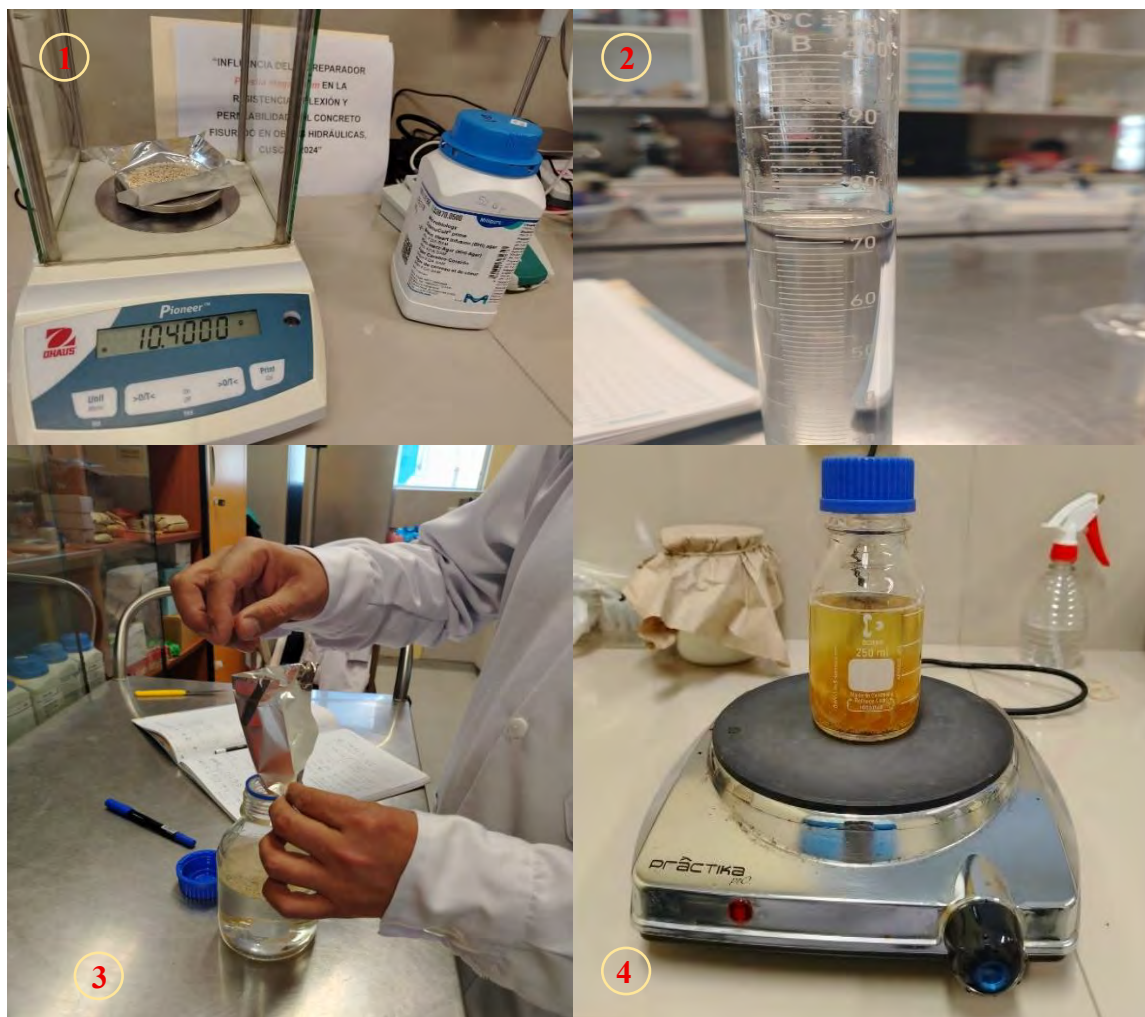
Las botellas de vidrio con medio de cultivo fueron esterilizadas en autoclave durante 15 minutos a una temperatura de 121°C, con el propósito de esterilizar el medio de cultivo para el crecimiento óptimo de las bacterias.

Asimismo, antes de iniciar el procedimiento microbiológico, se verificó que todos los materiales se encuentren limpios, secos y correctamente cerrados para evitar contaminación externa. Este proceso permitió garantizar condiciones asépticas durante la preparación del medio de cultivo y la manipulación de las bacterias. De esta manera, se aseguró que el crecimiento bacteriano corresponda únicamente a la cepa empleada en la investigación.

Este procedimiento permitió obtener una mezcla homogénea y libre de grumos, adecuada para su posterior esterilización y uso en el cultivo bacteriano. La correcta preparación del medio BHI garantizó condiciones favorables para el crecimiento de *Priestia megaterium*.

Figura 26

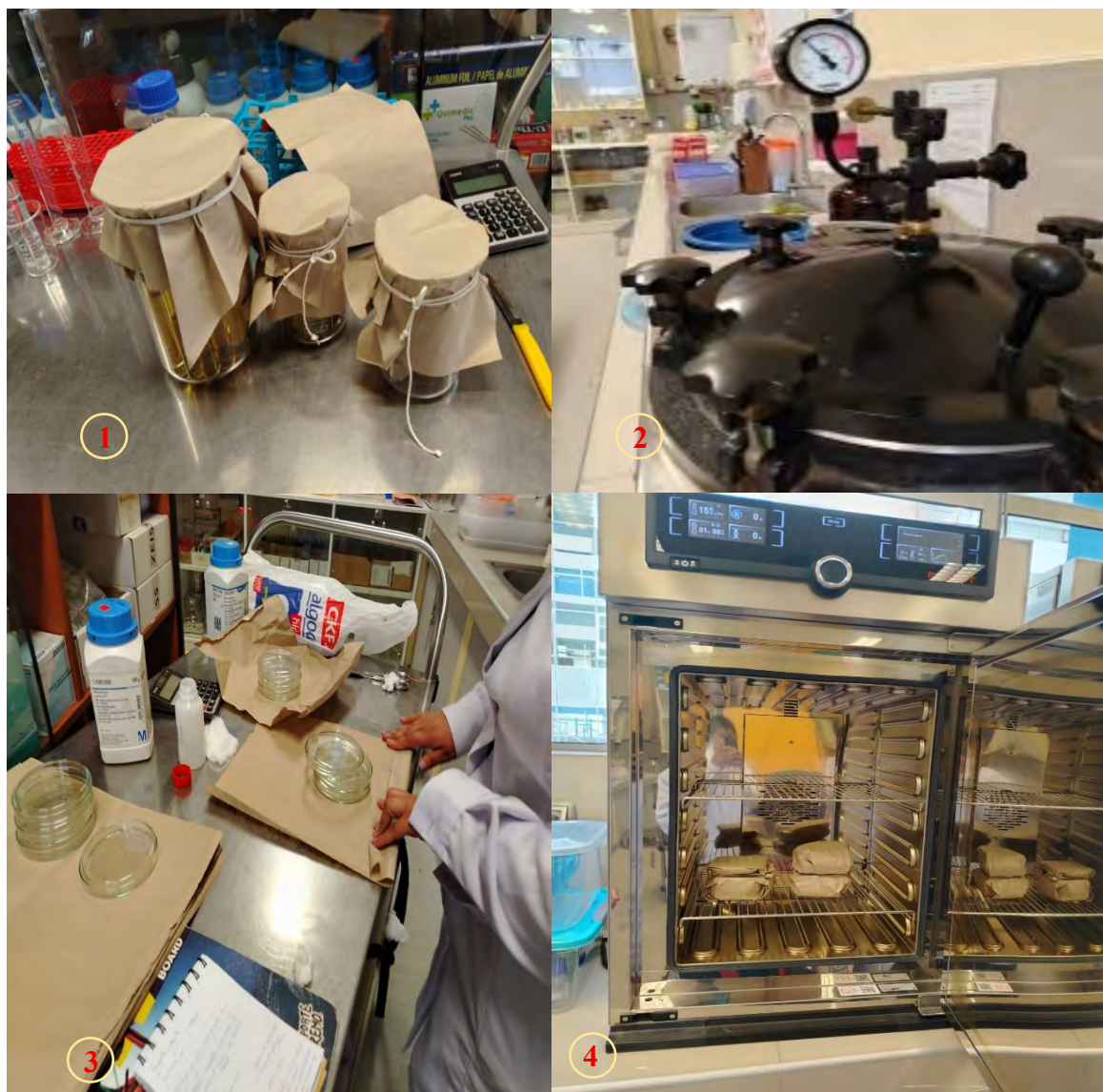
Procedimiento de preparación de medio de cultivo Agar BHI



Nota: En (1), se muestra el peso necesario de agar BHI. En (2), la medición de volumen de agua destilada. En (3), la mezcla del agar BHI y el agua destilada en un frasco de vidrio. En (4), se muestra la fusión de la mezcla mediante una cocinilla eléctrica y posterior la eliminación de grumos. Fuente: Elaboración Propia

Figura 27

Esterilización de tubos con medio de cultivo solido BHI y placas Petri



Nota: En (1), los vasos precipitados con tubos con caldo BHI, cubierto con papel Kraft para impedir el paso de microorganismos del aire hacia el medio de cultivo posterior a la esterilización. En (2), la esterilización en autoclave, este procedimiento se realiza con el propósito de desnaturalizar las bacterias o microorganismos que puede afectar el medio de cultivo. En (3), se observa las placas Petri cubiertas con papel Kraft. En (4), la esterilización en horno Pasteur.

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.2. Preparación del medio de cultivo líquido

4.2.1.2.1. Solubilización del caldo BHI

El medio de cultivo líquido destinado para el crecimiento bacteriano fue el caldo BHI.

1. Se preparó y estabilizó la balanza analítica antes de pesar el medio de cultivo. Se realizaron los procedimientos conforme a las especificaciones del medio de cultivo caldo BHI, que indican una proporción de 37 g por cada litro de agua destilada.
2. En base a esta información, se calculó la cantidad necesaria para preparar el medio correspondiente a 18 tubos de 7 mL y 15 tubos de 16 mL, obteniéndose 13.912 g de caldo BHI.
3. Se mide el volumen de agua destilada correspondiente a 376 mL, volumen requerido para la resuspensión de las bacterias.
4. Se agregó agua destilada y el soluto del caldo BHI en botellas de frasco para homogenizar la mezcla para luego llevar a fusión mediante una cocina eléctrica.
5. Se distribuyó el medio de cultivo líquido caldo BHI no estéril en 32 tubos diferenciados en volúmenes de 7 mL y 16 mL.

4.2.1.2.2. Esterilización

Los tubos con el medio de cultivo líquido preparado se llevaron a esterilización en autoclave a 121°C de temperatura constante por 15 minutos controlados.

Finalizado el tiempo se deja enfriar hasta llegar a temperatura ambiente aproximadamente. Asimismo, este proceso permitió eliminar posibles microorganismos contaminantes presentes en el medio de cultivo y en los tubos utilizados. De esta manera, se garantizaron condiciones estériles para el crecimiento adecuado de las bacterias. Posteriormente, los tubos fueron manipulados cuidadosamente para evitar contaminación antes de su uso experimental.

Figura 28*Procedimiento de preparación de caldo de cultivo BHI*

Nota: En (1), se observa el peso de caldo BHI requerido. En (2), la adición de caldo BHI al frasco con agua destilada. En (3), la gradilla con tubos de tapa negra (16 ml) y roja (7 ml) que contiene solución del medio de cultivo. En (4), la esterilización de los tubos con la solución del medio de cultivo en autoclave. Fuente: Elaboración Propia

4.2.2. Esterilización con rayos UV

Este procedimiento se llevó a cabo en condiciones asépticas, libre de contaminación microbiana y uso de materiales estériles, así mismo el uso de mechero al interior de la cámara de flujo laminar, esto con el propósito de garantizar un radio estéril.

Finalizada la preparación de los medios de cultivo agar y caldo BHI ambos estériles, las placas Petri se trasladan a cámara de flujo laminar para la esterilización con rayos UV para inactivar microorganismos suspendidos en el aire para la distribución homogénea del agar en las placas Petri.

Figura 29

Esterilización rayos UV en cámara de flujo laminar



Nota: Fuente: Elaboración Propia

4.2.3. Inoculación de bacterias *Priestia megaterium*

4.2.3.1. Material biológico

Se utilizó la bacteria del género *Priestia* y la especie *megaterium*. Este producto se adquirió de la Laboratorio Gen Lab. Esta bacteria presenta la capacidad para inducir la formación de carbonato de calcio en presencia de fuentes de calcio; con las siguientes características:

Cepa: *Priestia megaterium*

Producto: ATCC®14581™

Código: H03868-A

Marca: MICROBIOLOGICS

Figura 30

Desembalaje de la cepa bacteriana Priestia megaterium provista por Gen Lab



Nota: Fuente: Elaboración Propia

4.2.3.2. Proceso de inoculación

4.2.3.2.1. Siembra en placas Petri

Es importante mencionar que la cepa se mantiene en refrigeración entre 4-8 °C de temperatura para conservar sus propiedades hasta el momento de siembra directa en placas Petri.

1. Se sacó de refrigeración la cepa y se llevó a la cámara de flujo laminar.
2. En condiciones de esterilidad dentro de la cabina de flujo laminar, se sembró la cepa en cada una de las placas Petri por la técnica de agotamiento de estrías.
3. Cada una de las placas Petri se selló con cinta adhesiva Parafilm.
4. Finalmente se trasladó las placas a la incubadora por un tiempo de 24 horas a 35°C de temperatura, con el propósito de favorecer el crecimiento bacteriano.

4.2.3.2.2. *Inoculación en tubos*

Posterior a la siembra en placas Petri, se inoculó también los restos del pellet de la cepa bacteriana en 4 tubos para conservar las bacterias a lo largo del tiempo para posteriores investigaciones y ser reutilizadas.

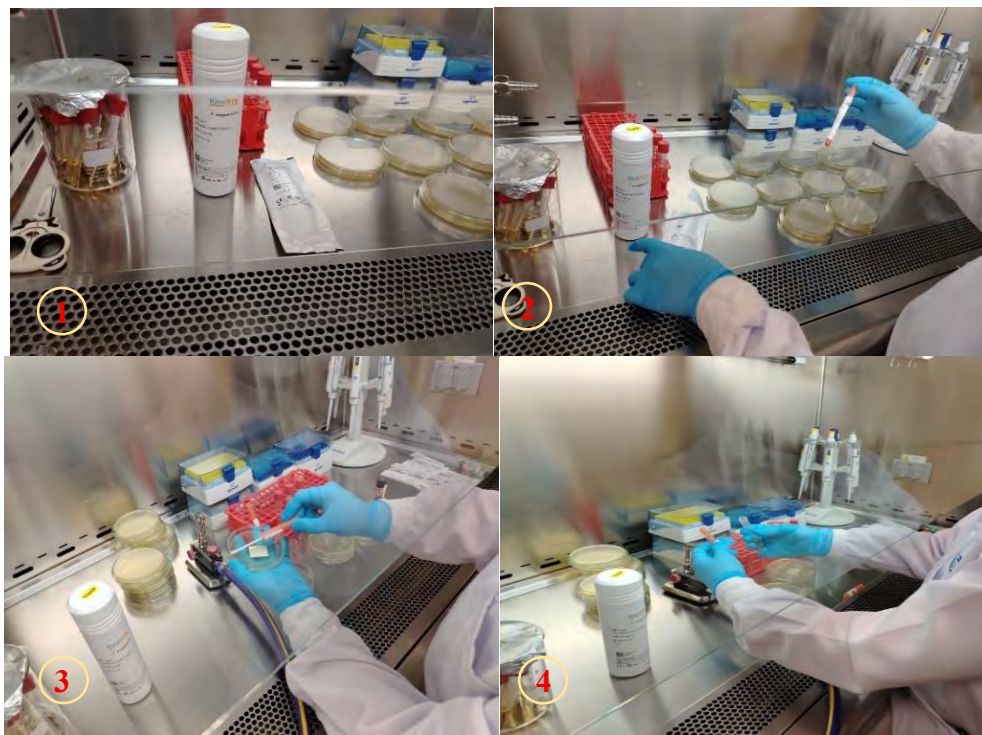
Asimismo, la inoculación en tubos permitió disponer de cultivos de reserva para mantener la cepa bacteriana bajo condiciones controladas. Este procedimiento contribuye a conservar la viabilidad de las bacterias y facilita su posterior activación en nuevos ensayos. De esta manera, se asegura la continuidad del trabajo experimental y la disponibilidad de material biológico para futuras investigaciones relacionadas con la bioreparación del concreto fisurado.

Figura 31

Vertido del medio de cultivo Agar BHI en placas Petri



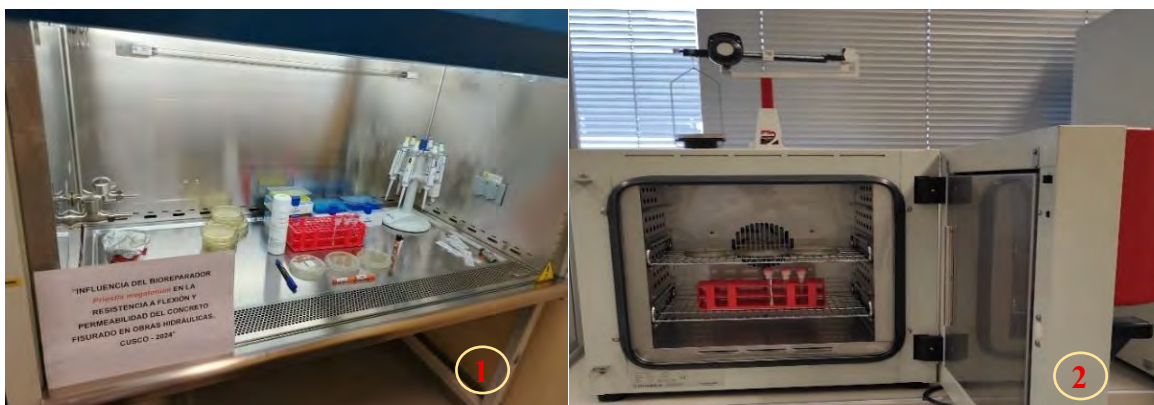
Nota: Se aprecia el vertido de medio de cultivo en placas Petri. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 32*Inoculación de bacterias de Priestia megaterium*

Nota: En (1), se aprecia la cepa de bacterias adquiridas por Gen Lab. En (2), el dispositivo dosificador, en donde se encuentran las bacterias. En (3), el cultivo de bacterias en placas Petri. En (4), el cultivo de bacterias en tubos. Fuente: Elaboración Propia

Asimismo, se observa la secuencia seguida para la activación, cultivo y conservación de la cepa bacteriana en laboratorio.

Este procedimiento permitió verificar el crecimiento de las bacterias en medios sólidos y líquidos. La conservación en tubos facilita su disponibilidad para etapas posteriores del proceso experimental. De esta manera, se garantizó la continuidad del cultivo bacteriano empleado en la investigación. Estas actividades fueron desarrolladas bajo condiciones controladas para reducir el riesgo de contaminación externa.

Figura 33*Incubación de bacterias Priestia megaterium*

Nota: En (1), se observa la finalización del cultivo de bacterias en placas Petri y tubos. En (2), se observa la incubación de bacterias por 24 horas a 35°C, con el objetivo de favorecer su crecimiento y multiplicación. Fuente: Elaboración Propia

4.2.4. *Crecimiento en masa de bacterias en tubos y frascos de vidrio*

En esta investigación se realizaron tres subcultivos: el primero desde la placa Petri hacia el tubo de 7 ml, el segundo del tubo ~~de~~ de 7 ml hacia de 16 ml y el tercero del tubo de 16 ml hacia los frascos de vidrio de dos litros.

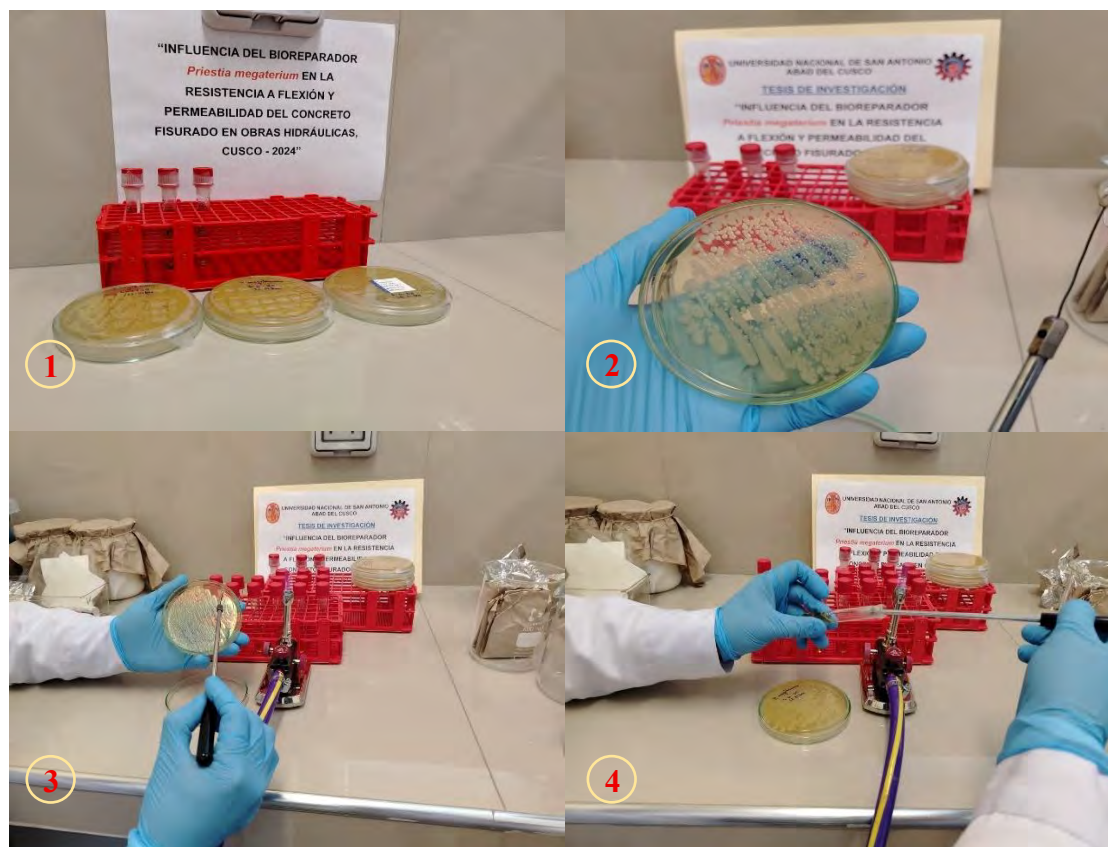
La transferencia de colonias de bacterias de la placa Petri a los tubos tapa roja se realizó mediante el uso del asa de siembra en un área esterilidad brindada por el mechero Bunsen que garantiza un radio de 15 centímetros de trabajo estéril. Posteriormente, estos tubos se sellaron con cinta Parafilm y se trasladaron a la incubadora hasta evidenciar turbidez que indica un crecimiento bacteriano.

El subcultivo se efectuó desde los tubos de 7 ml hacia los tubos 16 ml con el propósito de incrementar la biomasa bacteriana, lo cual se evidencia por la turbidez de color blanco amarillento, este factor es un indicativo de haber alcanzado el máximo crecimiento bacteriano.

Finalmente, se agitan con vortex para homogenizar el medio de cultivo con los microorganismos y se transfiere el contenido de los tubos de 16 ml con presencia de crecimiento bacteriano hacia los frascos de vidrio de dos litros. Así mismo, estos últimos se agitan manualmente para homogenizar el medio de cultivo con los microorganismos y posteriormente se incuban a 35 °C hasta evidenciar turbidez.

Figura 34

Repique de bacterias Priestia megaterium



Nota: En (1), se observa las placas Petri y tubos sembrados. En (2), las colonias de bacterias *Priestia megaterium* en el medio solido Agar BHI. En (3), la toma de una colonia bacteriana. En (4), el repique de dicha colonia en el tubo con caldo BHI; cabe indicar que el procedimiento se realizó en 15 tubos de 7 ml. Fuente: Elaboración Propia

Figura 35*Incubación de las bacterias*

Nota: En (1) y (2), se observa el sellado de los tubos con cinta Parafilm para evitar la contaminación externa. En (3), los tubos se agitan con vortex para distribuir homogéneamente las bacterias en todo el volumen del medio de cultivo. En (4), la incubación de las bacterias por 24 a 48 horas a 35°C hasta la visualización la turbidez en los tubos. Fuente: Elaboración Propia

El subcultivo de bacterias entre tubos consistió en la transferencia aséptica de una porción del cultivo bacteriano previamente desarrollado hacia nuevos tubos que contenían medio de cultivo estéril con el propósito de incrementar la biomasa de las bacterias.

Figura 36*Subcultivo de bacterias entre tubos*

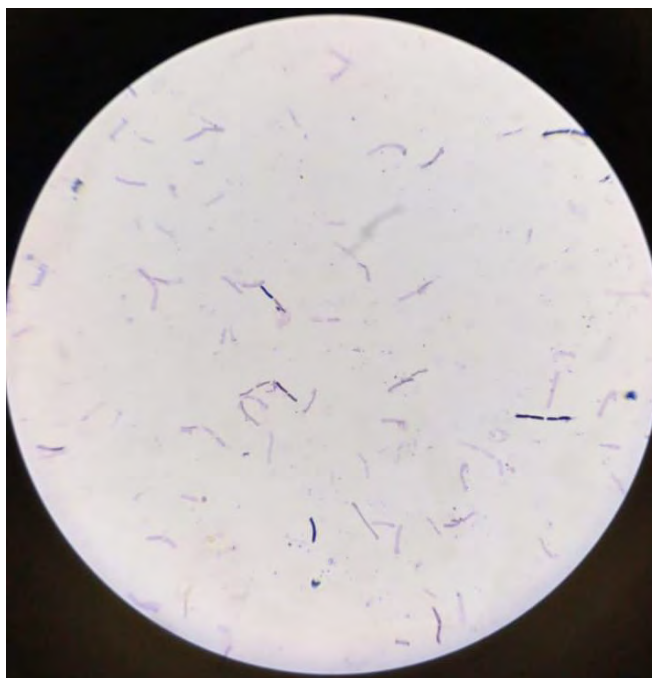
Nota: En (1), se observa la turbidez, que indica el crecimiento bacteriano. En (2), el subcultivo de bacterias, que consiste en transferir el medio de cultivo de los 15 tubos de 7 ml a los 15 tubos de 16 ml. En (3), la agitación de los tubos en vortex con el objetivo de homogenizar y dispersar las bacterias. En (4), la incubación de las bacterias durante 24 a 48 horas a temperatura de 35°C, con el objetivo de favorecer su multiplicación. Fuente: Elaboración Propia

4.2.5. Tinción Gram

Este procedimiento se realiza con la finalidad de verificar los cultivos de bacterias, garantizando que se encuentren libre de contaminación por otros microorganismos. Mediante la tinción Gram, se observa la morfología de las bacterias que evidencia formaciones de cadenas, lo cual es un indicador característico de la presencia de *Priestia megaterium*.

Figura 37

Tinción Gram



Nota: Fuente: Elaboración Propia

4.2.6. Esporulación de bacterias *Priestia megaterium*

En este proceso, las bacterias detectan condiciones adversas como la carencia de nutrientes, choques térmicos, temperaturas extremas, presencia de sustancias químicas y humedad. En esta investigación, se indujo la formación de esporas por incremento de temperatura a 80 °C de baño isotérmico durante 10 minutos; finalmente se deja enfriar a temperatura ambiente.

Figura 38*Baño isotérmico*

Nota: En (1), se observa la turbidez en los frascos, que indica el crecimiento bacteriano. En (2), el paso de las bacterias al estado de esporas, este proceso se le denomina estrés por cambio brusco de temperatura, en este estado las esporas de bacterias pueden vivir hasta por 200 años.

Fuente: Elaboración Propia

4.2.7. Decantación de esporas por centrifugación

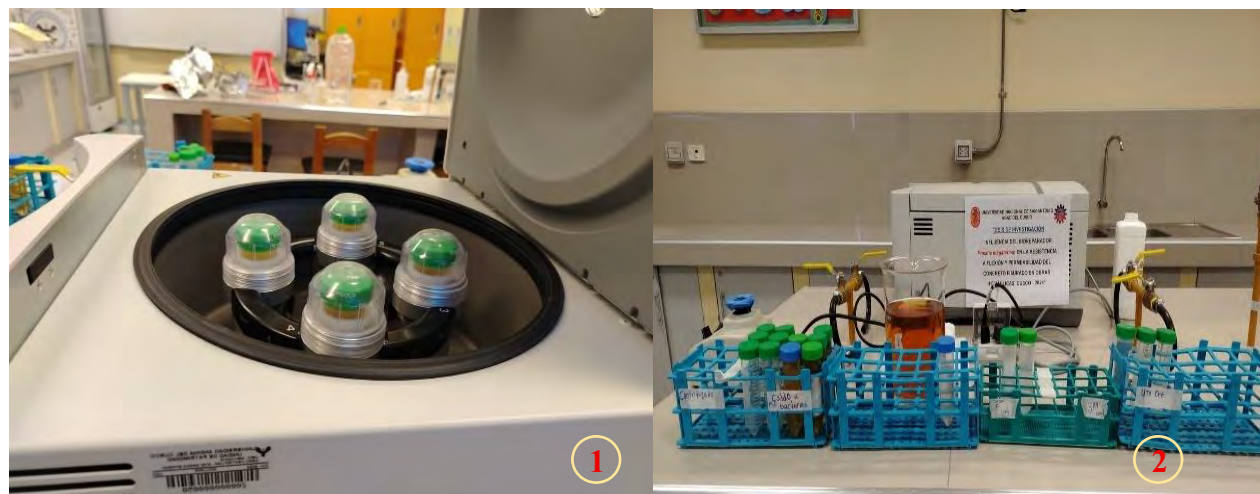
Para este proceso, se trasladó todo el cultivo bacteriano de los frascos de vidrio a los tubos de 50 mL para la decantación por medio de la centrifugación, permitiendo que las esporas precipiten en el fondo del tubo cónico, de esta manera, se obtiene el concentrado de esporas generadas durante el baño isotérmico.

El sobrenadante se elimina y el sedimento de esporas bacterianas obtenidas de cada tubo cónico, fue disuelta con 10 mL de agua destilada y se homogenizó con vortex. Todos los sedimentos se juntaron en un solo tubo hasta alcanzar 50 mL. Esto como primera vez, se repite el

procedimiento por 4 veces más, para asegurar la completa decantación y eliminación del medio de cultivo (sobrenadante).

Figura 39

Decantación del medio de cultivo



Nota: En (1), se observa la centrifugación de los tubos que contiene medio de cultivo caldo BHI más las esporas de bacterias, este proceso se realiza para eliminar impurezas y sedimentar las esporas de bacterias en el fondo del tubo. En (2), la centrifugación se repitió al menos cinco veces.

Fuente: Elaboración Propia

4.2.8. Lectura de la concentración de esporas en espectrofotómetro

La concentración de esporas que se debe conseguir es la de 1.6×10^8 esporas/L (160 millones de esporas por cada litro de solución), este dato representa la dosis mínima de efectividad descubierta por Wiktor y Jonkers en el año 2014.

Posterior a la centrifugación, los tubos con esporas de *Priestia Megaterium* se lleva a verificar su concentración en un espectrofotómetro, el cual medirá la absorbancia de la muestra para estimar la concentración celular presente en la suspensión bacteriana.

Utilizando la escala estándar de McFarland se tendrá un valor de comparación que servirá como patrón para llegar a la concentración y volumen deseado.

El proceso para el uso del espectrofotómetro es el siguiente:

1. Se lectura el estándar de 0.5 de la escala de McFarland que se encuentra en el laboratorio. Este resultado servirá como guía para calcular la concentración y volumen requerido para preparar la solución bioreparadora.
2. El resultado fue de 0.038 de absorbancia a 550 nm para la escala de turbidez de 0.5 McFarland.
3. El objetivo fue alcanzar a la absorbancia de 0.038 que corresponde a 1.5×10^6 esporas/L, la cual se obtuvo con un volumen de 1.41uL de solución madre en 5mL de agua destilada estéril.
4. Para 1.6×10^8 espora/L, se determinó un volumen de 1.51 uL de solución madre en 5 mL de agua destilada estéril.

Figura 40

Equivalencias de la escala de turbidez de McFarland frente a absorbancia espectrofotométrica

Nº TUBO	UFC	ABSORBANCIA
0	0	0
0,5	$1,5 \cdot 10^8$	0,074
3	$9 \cdot 10^8$	0,846
5	$15 \cdot 10^8$	1,040
6	$18 \cdot 10^8$	1,272

Nota: Fuente: Adaptado de los estándares de turbidez de la Escala de McFarland (McFarland, 1907) y datos experimentales de absorbancia espectrofotométrica proporcionados por el laboratorio de microbiología.

Figura 41

Lectura de la concentración de esporas en espectrofotómetro



Nota: Fuente: Elaboración Propia

4.3. SOLUCIÓN BIOREPARADORA

La solución bioreparadora está compuesta de soluciones A y B de acuerdo con Tziviloglou et al. (2014a). La solución A esta compuesta por agua destilada esterilizada, extracto de levadura, gluconato de sodio, silicato de sodio y esporas de bacteria. En tanto, para la solución B por agua destilada esterilizada, lactato de calcio y esporas.

Para ambas soluciones, los reactivos se pesaron de acuerdo con la concentración indicada en la **Tabla 4** y **Tabla 5**, y posteriormente se adicionados a los frascos estériles con agua destilada esterilizada. Una vez obtenida la mezcla de los componentes, las esporas de *Priestia megaterium*

fueron resuspendidas en cada solución correspondiente. Finalmente, en el momento de la aplicación, la solución bioreparadora se preparó mediante una mezcla de la solución A + B.

Este procedimiento permitió obtener una preparación homogénea para favorecer el contacto entre la solución y las fisuras del concreto. Asimismo, se cuidó que la aplicación se realizara bajo condiciones controladas para evitar alteraciones en la concentración de los componentes. Con ello, se garantizó la uniformidad del tratamiento bioreparador en las muestras evaluadas. Además, se verificó que las soluciones mantuvieran una distribución uniforme de las esporas bacterianas antes de su aplicación. Esto permitió asegurar que el bioreparador actuara de manera similar en todas las muestras tratadas. De esta forma, se realizó la preparación de la solución bioreparadora.

Tabla 4

Insumos para la solución A

Componentes	Cantidad (gr / L)	Cantidad (gr / 4L)
Silicato de sodio	4.8	19.2
Gluconato de sodio	125	500.00
Extracto de levadura	1	4
Esporas (mL)	0.3	1.2

Nota: Fuente: Elaboración propia

Tabla 5

Insumos para la solución B

Componentes	Cantidad (gr / L)	Cantidad (gr / 4L)
Lactato de calcio	80	320
Esporas (mL)	0.3	1.2

Nota: Fuente: Elaboración propia

Figura 42

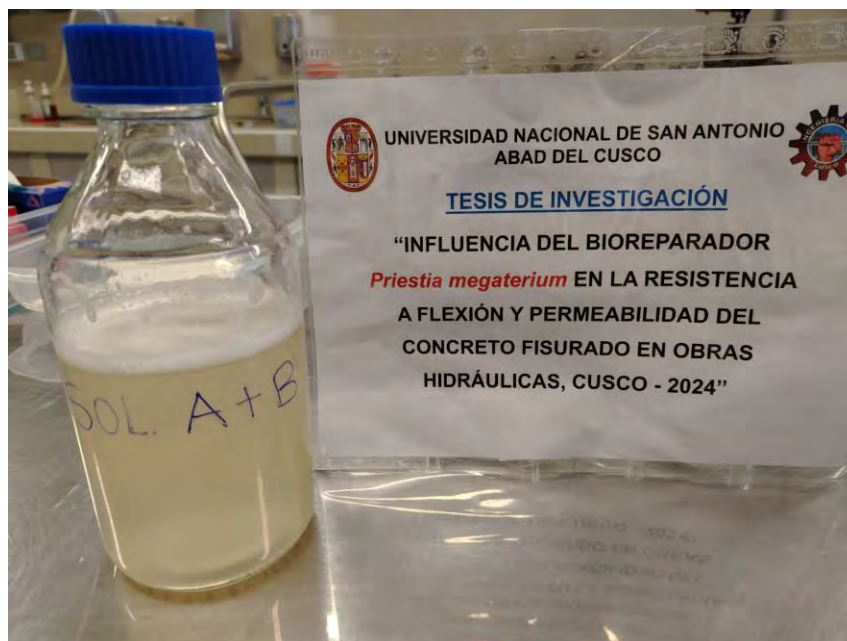
Solución A y B



Nota: Fuente: Elaboración propia

Figura 43

Solución bioreparadora compuesta por A + B



Nota: Fuente: Elaboración propia

4.4. SELECCIÓN DE MATERIALES

4.4.1. Agregado Grueso

4.4.1.1. Análisis de la Granulometría del Agregado Grueso

El ensayo correspondiente al análisis de la granulometría del agregado grueso, fue realizado conforme a la normativa NTP 400.012, como se observa en el gráfico en donde se muestra la gradación del agregado grueso cumpliendo con lo estipulado por los parámetros superior e inferior.

Tabla 6

Análisis granulométrico del agregado grueso

Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa	Huso 67	
							Límite Inferior	Límite Superior
4"	100	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00 %	100%	100%
3 1/2"	90	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00 %	100%	100%
3"	75	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00 %	100%	100%
2 1/2"	63	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00 %	100%	100%
2"	50	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00 %	100%	100%
1 1/2"	37.5	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00 %	100%	100%
1"	25	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00 %	100%	100%
3/4"	19	115.60	115.77	4.11%	4.11%	95.89 %	100%	90%
1/2"	12.5	802.90	803.07	28.50%	32.61%	67.39 %	79%	50%
3/8"	9.5	901.70	901.87	32.01%	64.62%	35.38 %	55%	20%
N° 4	4.75	944.70	944.87	33.53%	98.15%	1.85%	10%	0%
N° 8	2.36	17.70	17.87	0.63%	98.79%	1.21%		

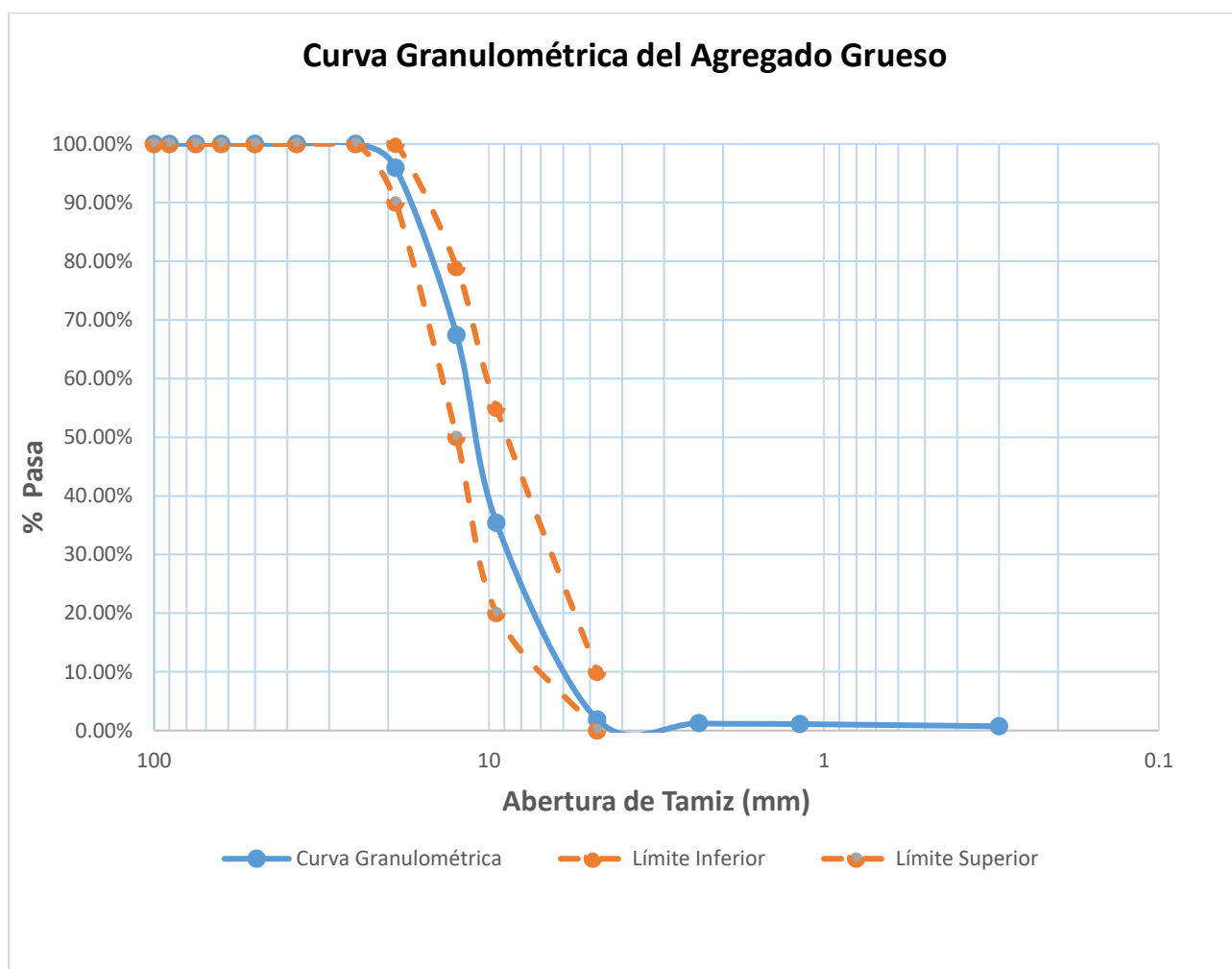
N° 16	1.18	3.40	3.57	0.13%	98.91%	1.09%
N° 50	0.3	10.20	10.37	0.37%	99.28%	0.72%
Bandeja		20.20	20.20	0.72%	100.00%	
		2817.6				
$\Sigma=$	2816.40	0		100.00%		

Nota: Fuente: Elaboración propia

Módulo de Fineza: 6.62

Figura 44

Curva granulométrica del agregado grueso



Nota: Fuente: Elaboración propia

4.4.1.2. Cantidad de Material que Pasa por El Tamiz N° 200

Este ensayo se realizó de acuerdo a las recomendaciones de la NTP 400.018, se obtuvo como resultado para el agregado grueso que la cantidad de material fino que pasa por la malla N° 200 fue de 0.96% lo que indica que cumple con el parámetro estipulado en la norma y recomienda que este valor debe ser menor a 1 % para concretos convencionales.

4.4.1.3. Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso

Este ensayo fue realizado de acuerdo a la norma NTP 400.022 y se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 7

Peso específico y absorción del agregado grueso

Descripción	M-01	M-02
Peso muestra SSS	2000	2000
Peso muestra sumergido	1245	1244
Peso muestra seca	1963	1961.3
GE (gravedad específica) gr/cm ³	2.60	2.59
GE (gravedad específica) Promedio gr/cm³	2.5972	
GE _{SSS} (gravedad específica SSS) gr/cm ³	2.65	2.65
GE_{SSS} (gravedad específica SSS) Promedio gr/cm³	2.6473	
GE _a (gravedad específica aparente) gr/cm ³	2.73	2.73
GE_a (gravedad específica aparente) Promedio gr/cm³	2.7341	
Porcentaje de absorción (%)	1.88%	1.97%
Porcentaje de absorción Promedio (%)	1.93%	

Nota: Fuente: Elaboración propia

4.4.1.4. Peso Unitario Suelto y Envarillado del Agregado Grueso

Para el cálculo de los valores del peso compactado y unitario suelto se realizó acorde a la NTP 400.17, obteniéndose los siguientes resultados mostrados a continuación.

Tabla 8*Peso unitario suelto y compacto del agregado grueso*

Descripción	M-01	M-02
Volumen molde H= 16.7 cm, D=15.26 cm (m ³)	0.003054326	0.0030543
Peso del molde (Kg)	7246	7246
Peso del agregado suelto + molde (Kg)	11305	11316
Peso del agregado suelto (Kg)	4059	4070
Peso volumétrico seco suelto (Kg/m ³)	1328.935	1332.536
Peso volumétrico seco suelto promedio (Kg/m³)	1330.74	
Peso del molde (Kg)	7246	7246
Peso del agregado compactado + molde (Kg)	12009	11971
Peso del agregado Compactado (Kg)	4763	4725
Peso volumétrico seco varillado (Kg/m ³)	1559.427404	1546.986
Peso volumétrico seco varillado promedio (Kg/m³)	1553.21	

Nota: Fuente: Elaboración propia**4.4.1.5. Contenido de Humedad del Agregado Grueso**

Este ensayo se realizó acorde a la norma NTP 395.185, obteniéndose como resultados mostrados a continuación.

Tabla 9*Contenido de humedad del agregado grueso*

Descripción	M-01	M-02	M-03
Peso capsula	22.63	23.42	22.03
Peso capsula + material húmedo	166.27	178.46	161.44
Peso capsula + material seco	164.2	176.4	159.8
Peso del agua	2.07	2.06	1.64
Peso del suelo seco	141.57	152.98	137.77
Contenido de humedad (%)	1.46	1.35	1.19
Contenido de humedad promedio (%)	1.33		

Nota: Fuente: Elaboración propia

4.4.2. Agregado Fino

4.4.2.1. Analisis Granulométrico del Agregado fino

Este ensayo se realizó acorde a la norma NTP 400.012, como se visualiza en la gráfica del agregado fino de Cunyac se encuentra dentro de los usos recomendados superior e inferior, lo que indica que el agregado cumple con la gradación correspondiente estipulado por la norma NTP.

Asimismo, la distribución granulométrica obtenida evidencia una adecuada proporción de partículas finas, favoreciendo una mejor trabajabilidad y compactación de la mezcla de concreto. El cumplimiento de los límites establecidos por la norma garantiza que el agregado fino presenta características aptas para su utilización en la elaboración de las muestras de concreto.

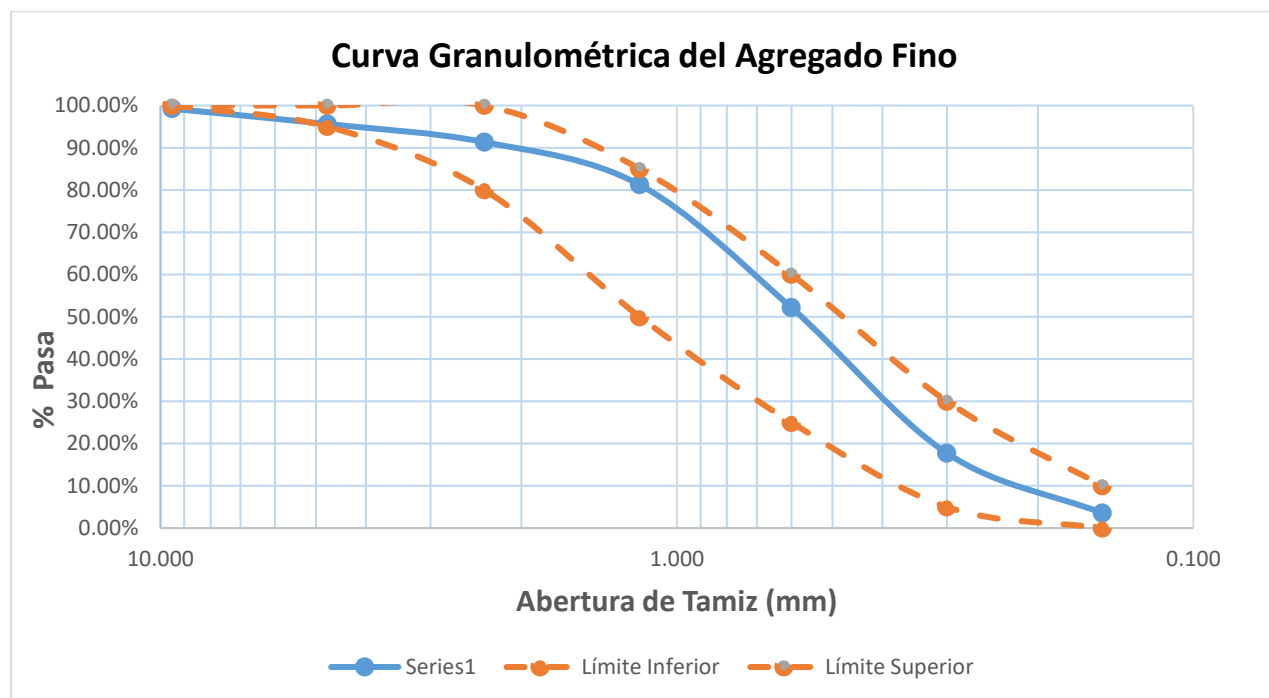
Figura 45

Análisis granulométrico del agregado fino

Peso muestra seca (gr) =		1872.10	Peso muestra postamizado (gr) =		1820.50
Peso muestra seca lavada (gr)		1820.50	Error Peso M. postamizado (gr) =		0.00
=			Error peso tamizado =		0.00%
% Material fino pasa N° 200		2.76%	=		
=					

Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumula	% Pasa	Huso (NTP 400.037)	
						Límite Inferior	Límite Superior
3/8"	9.500	14.00	0.77%	0.77%	99.23%	100%	100%
N° 4	4.750	65.70	3.61%	4.38%	95.62%	95%	100%
N° 8	2.360	77.80	4.27%	8.65%	91.35%	80%	100%
N° 16	1.180	184.30	10.12%	18.78%	81.22%	50%	85%
N° 30	0.600	529.10	29.06%	47.84%	52.16%	25%	60%
N° 50	0.300	627.00	34.44%	82.28%	17.72%	5%	30%
N° 100	0.150	258.10	14.18%	96.46%	3.54%	0%	10%
N°200	0.075	62.80	3.45%	99.91%	0.09%		
Bandeja		1.70	0.09%	100.00%	0.00%		
Σ=		1820.50	100.00%				

Nota: Fuente: Elaboración propia

Figura 46*Análisis granulométrico del agregado fino**Nota:* Fuente: Elaboración propia**4.4.2.2. Cantidad de Material que Pasa por El Tamiz N° 200**

Este ensayo se realizó de acuerdo a las recomendaciones de la NTP 400.018, se obtuvo como resultado para el agregado fino que la cantidad de material fino que pasa por la malla N° 200 fue de 2.90% lo que indica que cumple con el parámetro estipulado en la norma y recomienda que este valor debe ser menor a 5 % para concretos convencionales y menor al 3 % en caso de que el concreto este sometido a abrasión.

4.4.2.3. Peso Específico y Absorción del Agregado fino

El cálculo correspondiente para el absorción y peso específico del agregado fino se realizó conforme a la Norma Técnica Peruana NTP 400.022 obteniéndose los siguientes valores mostrados a continuación.

Figura 47

Peso específico y absorción correspondientes al agregado fino

Descripción	M1	M2
Volumen frasco (ml)	500	500
Peso frasco seco (gr)	454.87	454.87
Nº mallas retienen=	1257.1	1301.8
Peso de arena SSS (gr)	500	500
GE (gravedad específica) gr/cm ³	2.613	2.603
GE (gravedad específica) Promedio gr/cm³	2.608	
GEss (gravedad específica SSS) gr/cm ³	2.660	2.648
GEss (gravedad específica SSS) promedio gr/cm³	2.65394	
GEa (gravedad específica aparente) gr/cm ³	2.740	2.727
GEa (gravedad específica aparente) promedio gr/cm³	2.73354	
Porcentaje de absorción (%)	1.77%	1.75%
Porcentaje de absorción promedio (%)	1.76%	

Nota: Fuente: Elaboración propia

4.4.2.4. Peso Unitario Suelto y Envarillado del Agregado Fino

En este ensayo fue realizado conforme a la norma NTP 400.017, obteniéndose los siguientes resultados mostrados a continuación.

Figura 48

Peso unitario suelto y compacto del agregado grueso

Descripción	M-01	M-02
Volumen molde H= 16.7 cm, D=15.26 cm (m ³)	0.003054326	0.00305433
Peso molde (Kg)	7246	7246
Peso agregado suelto + molde (Kg)	11780	11765
Peso agregado suelto (Kg)	4534	4519
Peso volumétrico seco suelto (Kg/m ³)	1484.45	1479.54
Peso volumétrico seco suelto promedio (Kg/m³)	1482.00	
Peso molde (Kg)	7246	7246
Peso agregado compactado + molde (Kg)	12492	12549
Peso agregado compactado (Kg)	5246	5303
Peso volumétrico seco varillado (Kg/m ³)	1717.56	1736.23
Peso volumétrico seco varillado promedio (Kg/m³)	1726.89	

Nota: Fuente: Elaboración propia

4.4.2.5. Contenido de Humedad del Agregado Fino

Este ensayo fue realizada conforme a la norma NTP 395.185, obteniéndose como resultados mostrados a continuación.

Figura 49

Contenido de humedad del agregado fino

Descripción	M-01	M-02	M-03
Peso capsula	40.49	40.59	39.73
Peso capsula + material húmedo	117.46	123.49	102.44
Peso capsula + material seco	111.4	116.5	97.4
Peso agua	6.06	6.99	5.04
Peso material seco	70.91	75.91	57.67
Contenido de humedad (%)	8.55	9.21	8.74
Contenido de humedad promedio (%)	8.83		

Nota: Fuente: Elaboración propia

4.5. DISEÑO DE MEZCLA (MÉTODO ACI 211.1)

Una vez determinados las características físicos y mecánicos de los agregados, se llevó a cabo la dosificación de las proporciones adecuadas de cada uno de los componentes del concreto. El concreto se diseñó para la resistencia a compresión de 280 kg/cm^2 , teniendo como referencia la Norma E-060 de Concreto Armado.

A continuación, se desarrollan los procedimientos empleados para la dosificación del concreto según ACI 211.1.

4.5.1. Condiciones de Diseño

$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$)

Slump: 4"

Incorporado de aire: No

Plastificante: No

4.5.2. Características de los Materiales

4.5.2.1. Cemento

El cemento seleccionado como material aglutinante en la presente investigación se detalla a continuación:

Marca y Tipo: Yura Tipo HS

Peso Específico: 2750 kg/m³

Peso Volumétrico: 1500 kg/m³

4.5.2.2. Agregados

El agregado fino utilizado corresponde a arena proveniente de la cantera de Cunyac; de igual manera, el agregado grueso empleado también procede de dicha cantera, garantizando uniformidad en el origen de los materiales utilizados para la elaboración del concreto.

Tabla 10

Propiedades de los agregados

Descripción	Agregado Fino	Agregado Grueso	Unidad
Tamaño máximo nominal	-	3/4"	"
Módulo de fineza	2.58	6.62	
Peso unitario suelto	1482.00	1330.74	kg/m ³
Peso unitario compacto	1726.89	1553.21	kg/m ³
Peso específico	2608	2597	kg/m ³
% Absorción	1.76	1.93	%
% Humedad	0.59	0.39	%

Nota: Fuente: Elaboración propia

4.5.3. Resistencia de diseño

La resistencia de diseño, se determinó de acuerdo al parámetro indicado en la siguiente

Tabla 11.

Tabla 11

Resistencias de diseño

$f'c < 21 \text{ MPa}$	$f'cr = f'c + 7 \text{ MPa}$
$21 \text{ MPa} \leq f'c \leq 35 \text{ MPa}$	$f'cr = f'c + 8.5 \text{ MPa}$
$35 \text{ MPa} < f'c$	$f'cr = 1.1 f'c + 5.0 \text{ MPa}$

Nota: Fuente: Adaptado de la Norma E.060 (MVCS, 2019)

Para $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2 = 27.46 \text{ MPa}$

$$f'cr = f'c + 8.5$$

$$f'cr = 35.96 \text{ MPa} = 366.7 \text{ kg/cm}^2$$

4.5.4. Contenido de Aire Atrapado

El contenido de aire atrapado fue considerado como 2 %, valor obtenido con base en la

Tabla 12, este porcentaje se empleó para el diseño de mezcla del concreto.

Tabla 12

Aire atrapado

TNM del agregado Grueso	Aire Atrapado (%)
3/8"	3
1/2"	2.5
3/4"	2
1"	1.5
1 1/2"	1
2"	0.5
3"	0.3

Nota: Fuente: Adaptado de ACI 211.1 (American Concrete Institute, 2022)

4.5.5. Relación de Agua / Cemento

La relación de agua / cemento fue del 0.42.

$$A/C = 0.42$$

Tamaño máximo nominal: 3/4"

Asentamiento: 4"

$$\text{Agua} = 220 \text{ lt/m}^3$$

4.5.6. Determinación del Contenido de Material Aglutinante: Cemento

El contenido de cemento se determinó mediante la siguiente ecuación.

$$C = A / 0.42$$

$$C = 220 / 0.42$$

$$C = 523.81 \text{ kg}$$

4.5.7. Peso del Agregado Grueso

Para determinar el peso del agregado grueso, se tuvo en consideración el peso unitario compacto y el módulo de fineza.

Tamaño máximo nominal: 3/4"

Módulo de fineza: 2.58

$$b/b_0 = 0.642$$

Peso unitario compacto: 1553.21 kg/m³

$$\text{Peso A. grueso} = \text{Peso unitario compacto} * b/b_0$$

$$\text{Peso A. grueso} = 1553.21 \text{ kg/m}^3 * 0.642$$

$$\therefore \text{Peso A. grueso} = 997.16 \text{ kg}$$

4.5.8. *Volumen Absoluto de los Componentes*

Para la determinación del volumen absoluto de los componentes se multiplicó el peso por el peso específico de cada material. En caso del agregado fino, se efectuó la operación de la sustracción de la unidad menos la suma del volumen de cemento, agregado grueso, agua y aire.

Tabla 13

Determinación volumétrica de los componentes

Materiales	Peso (kg)	PE (kg/m3)	Vol. Absoluto (m³)
Cemento	523.81	2750	0.190
Agua	220.00	1000	0.220
Aire	0.02	-	0.020
A. Grueso	997.16	2597	0.384
A. Fino		2608	0.186

Nota: Fuente: elaboración propia

4.5.9. *Cálculo del Peso de Agregado Fino*

Se determino mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Peso A. Fino} = \text{Peso Específico} * \text{Vol. Absoluto}$$

$$\text{Peso A. Fino} = 2608 \text{ kg/m}^3 * 0.186 \text{ m}^3$$

$$\therefore \text{Peso A. Fino} = 483.93 \text{ kg}$$

4.5.10. *Dosificación de los Materiales en Estado Seco*

Se realiza un resumen de los cálculos realizados para el cemento, agua, agregado grueso y fino.

Tabla 14*Estimación de los componentes en estado seco*

Materiales	Peso Seco (kg)
Cemento	523.81
Agua	220.00
A. Grueso	997.16
A. Fino	483.93

Nota: Fuente: elaboración propia**4.5.11. Corrección por humedad**

La corrección por humedad de cada agregado, se realizó en función a la siguiente ecuación.

$$\text{Peso A. Grueso} = \text{Peso Seco} * (\% \text{ Humedad} / 100 + 1)$$

$$\text{Peso A. Grueso} = 997.16 * (0.39 / 100 + 1)$$

$$\therefore \text{Peso A. Grueso} = 1001.05 \text{ kg}$$

$$\text{Peso A. Fino} = \text{Peso Seco} * (\% \text{ Humedad} / 100 + 1)$$

$$\text{Peso A. Fino} = 483.93 * (0.59 / 100 + 1)$$

$$\therefore \text{Peso A. Fino} = 486.79 \text{ kg}$$

Tabla 15*Corrección por humedad*

Materiales	% Humedad	Peso Corregido (kg)
A. Grueso	0.39	1001.05
A. Fino	0.59	486.79

Nota: Fuente: elaboración propia**4.5.12. Aporte de Agua a la Mezcla**

El aporte de agua, se determinó en función de la siguiente ecuación:

$$\text{Aporte agua agregado} = \text{Peso Corregido} * (\% \text{ Humedad} - \% \text{ Absorción})$$

Tabla 16

Aporte de agua

Materiales	% Humedad	% Absorción	Aporte agua (Lt)
A. Grueso	0.39	1.93	-15.42
A. Fino	0.59	1.76	-5.70

Nota: Fuente: elaboración propia

4.5.13. Agua Efectiva

El agua efectiva se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Agua Efectiva} = \text{Agua} - (\text{Agua Agregados})$$

$$\text{Agua Efectiva} = 220 - (-21.11)$$

$$\text{Agua Efectiva} = 241.11 \text{ Lt}$$

4.5.14. Pesos Corregidos

A continuación, se resumen los cálculos realizados anteriormente para la dosificación de 1 m³ de concreto. Los pesos corregidos consideran las condiciones reales de humedad y absorción de los agregados, con la finalidad de obtener una mezcla más precisa y acorde a los materiales.

Tabla 17

Pesos corregidos de los materiales para 1 m³

Materiales	Pesos (kg)
Cemento	523.81
A. Grueso	1001.05
A. Fino	486.79
Agua	241.11

Nota: Fuente: elaboración propia

4.6. PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES

4.6.1. Prueba de revenimiento

Se realizó la prueba de Slump, obteniéndose un valor de 3". El procedimiento consistió en el llenado del molde de Abrams en tres capas, apisonando mediante una varilla 25 veces por capa. Posteriormente, se enrasó la superficie para retirar el material excedente, se retiró el cono de manera vertical y se invirtió para medir la fluidez del concreto.

Figura 50

Revenimiento del concreto



Nota: Fuente: elaboración propia.

4.6.2. Vaciado de concreto en moldes de vigas

De acuerdo a la proporción del diseño de mezclas, se procedió al vaciado de concreto en el encofrado de vigas, elaborándose un total de seis vigas de 15 x 15 x 60 cm y seis vigas de 10 x

10 x 34 cm. Durante el procedimiento, se realizó la compactación mediante apisonado, aplicando 1 golpe por cada 14 cm² de la superficie de la viga. Este procedimiento se realizó en dos capas con el propósito de evitar la formación de espacios vacíos o cangrejas que puedan afectar a su integridad del espécimen.

4.6.3. Vaciado de concreto en moldes cilíndricos

Se procedió con la elaboración de probetas cilíndricas de concreto para garantizar la resistencia de diseño a compresión. Previamente se pasó con desmoldante y posteriormente se vertió concreto en los moldes cilíndricos, tomando en consideración las indicaciones de la normativa peruana NTP 339.033, correspondiente al método de ensayo para la elaboración y curado de probetas cilíndricas que indica que el vertido de concreto se realiza en tres capas a los tercios de la altura, apisonando 25 golpes con varilla de 5/8” de forma espiral empezando por los bordes y finalizando en el centro. De la misma forma, se realiza las siguientes dos capas restantes, cabe precisar que la barra debe de penetrar no más de 1” a la capa que le precede. En la última capa, se adicionó material en cantidad excedente para realizar el enrase hasta el nivel de borde del molde.

4.6.4. Desmolde y curado

Transcurridas las 24 horas, se procedió a desencofrarse las vigas y se colocó en el pozo de curado. Finalmente, las vigas alcanzan su resistencia de diseño a los 28 días, este indicador denota que las vigas ya pueden ser ensayadas en laboratorio.

Figura 51

Vaciado de vigas de 10x10x34 cm



Nota: Fuente: elaboración propia.

Figura 52

Desencofrado de vigas de concreto



Nota: Fuente: elaboración propia.

Figura 53

Curado de vigas y probetas de concreto



Nota: Fuente: elaboración propia.

4.7. ENSAYOS EXPERIMENTALES

4.7.1. Ensayo de resistencia a compresión de probetas cilíndricas

4.7.1.1. Normativa, objetivo

Este ensayo se realizó bajo criterios de la norma NTP 339.034 Determinación de la resistencia a compresión del concreto, en muestras cilíndricas.

Determinar la resistencia a compresión del concreto y verificar si esta cumple con la resistencia de diseño

4.7.1.2. Instrumentos

Máquina de compresión axial PSS de 2.224 KN de capacidad.

4.7.1.3. Procedimiento

1. Se prepara las probetas cilíndricas verificando sus dimensiones y condiciones según la norma.
2. Se colocó almohadillas de neopreno en los extremos para garantizar superficies planas y paralelas.
3. Se colocó las probetas en el centro del cabezal ajustando cuidadosamente para asegurar una carga axial uniforme.
4. Se aplicó la carga a una velocidad de esfuerzo de 0.25 ± 0.05 Mpa/s
5. Se aplico la carga de compresión hasta visualizar un patrón de fractura definido en la probeta cilíndrica y la carga disminuya constantemente.

Figura 54

Ensayo de resistencia a compresión de probetas



Nota: Fuente: elaboración propia.

4.7.1.4. Cálculos

$$f_c = \frac{P}{A}$$

Donde:

f_c : Resistencia a la compresión en kg/cm²

P : Carga máxima alcanzada en kg

A : Área promedio de la sección transversal en cm²

A continuación, se presenta en la **Tabla 18** los resultados de la resistencia a compresión de muestras cilíndricas de concreto.

Tabla 18

Resistencia del concreto 280 kg/cm²

Edad (días)	f 'c (kg/cm2)			f 'c (kg/cm2)
	f 'c (1)	f 'c (2)	f 'c (3)	
14	277.4	260.3	264.6	267.43
28	295.9	304.5	314.3	304.90

Nota: Fuente: elaboración propia.

4.7.2. Ensayos de Resistencia a Flexión de Vigas

Cabe indicar que las vigas destinadas para el ensayo de resistencia a flexión fueron sometidas a los 28 días de curado. Así mismo, las vigas de concreto correspondientes a la prueba de permeabilidad fueron previamente sometidas al ensayo de resistencia a flexión con la finalidad de inducir la formación de fisuras; posteriormente, fueron evaluadas mediante el paso de flujo de agua a través de las aberturas. De esta manera, se garantizó que las muestras presentaran condiciones de fisuración.

4.7.2.1. Normativa y objetivo

El ensayo se desarrolló de acuerdo con la NPT 339.078, norma que establece el procedimiento para determinar la resistencia a flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas, sometidas cargas a los tercios de la longitud del tramo.

El objetivo es determinar la recuperación de la resistencia a flexión en vigas de concreto fisuradas tratadas con bioreparador durante un periodo de 56 días, respecto a la resistencia a flexión obtenida a los 28 días de edad del concreto.

4.7.2.2. Instrumentos

Se empleo la maquina universal de ensayos Instron 600DX, cuya capacidad es de 6000kN.

Figura 55

Maquina universal de ensayos Instron 600DX



Nota: Fuente: elaboración propia.

4.7.2.3. Procedimiento

Este procedimiento permitió determinar la capacidad del concreto para resistir esfuerzos de flexión antes y después del proceso de fisuración. Asimismo, los valores obtenidos sirvieron como referencia para evaluar la recuperación parcial de la resistencia en las muestras tratadas con la solución bioreparadora.

Para este ensayo se siguieron los siguientes procedimientos conforme a la NPT 339.078.

1. Las superficies de las caras laterales del espécimen deben formar ángulos rectos con respecto a la cara superior e inferior, además todas las caras deben encontrarse lisas, libres de cangrejeras y asperezas.
2. Las vigas fueron marcadas en los tercios centrales de la longitud del tramo entre apoyos.
3. La carga aplicada es de acuerdo a las indicaciones descritas en la normativa, la cual es de 0.9 a 1.2 MPa/min.
4. Se aplicó la carga hasta el instante de producir la rotura en la viga, se registró la carga última y posteriormente se retiró el espécimen.

Las dimensiones de las vigas empleadas fueron de 15 x 15 x 60 cm. Durante el ensayo se registró la carga máxima alcanzada y se identificaron las fisuras generadas en cada espécimen.

4.7.2.3.1. Cálculo

El cálculo del módulo de rotura, se realiza mediante la siguiente expresión:

$$Mr = \frac{P \times L}{b \times h^2}$$

Donde: Mr es el módulo de rotura en MPa, P es la carga máxima, L es la longitud del tramo, b es el ancho de la viga y h es la altura promedio de la viga.

Figura 56*Ensayo de resistencia a flexión de vigas**Nota:* Fuente: elaboración propia.**4.7.3. Prueba de permeabilidad del concreto fisurado****4.7.3.1. Normativa, objetivo**

La prueba de permeabilidad fue adaptada de una norma europea, tomando como referencia los principios establecidos en la EN 12390-8:2019, Testing Hardened Concrete – Part 8: Depth of Penetration of Water Under Pressure, esta norma especifica el método para evaluar la resistencia del concreto endurecido frente a la penetración de agua bajo presión. Debido a que la presente investigación empleó vigas prismáticas de $100 \times 100 \times 340$ mm con una abertura longitudinal pasante obtenida después del ensayo de flexión, el procedimiento para cuantificar el flujo de agua a través de la abertura, sigue el enfoque experimental propuesto por Tziviloglou, Wiktor, Jonkers y Schlangen (2016) para evaluar la recuperación de la estanqueidad en concretos autorreparables.

Determinar la permeabilidad de las vigas de concreto fisuradas mediante la medición del volumen de agua que atraviesa la abertura longitudinal bajo una carga constante, con el propósito de evaluar la capacidad para limitar el paso del agua.

4.7.3.2. Instrumentos

Para la evaluación de la permeabilidad se empleó un equipo experimental de flujo de agua, diseñado para suministrar una carga hidráulica constante sobre la abertura longitudinal de las vigas de concreto. El sistema estuvo conformado por los siguientes elementos:

- Vigas prismáticas de concreto de $100 \times 100 \times 340$ mm, previamente sometidas al ensayo de resistencia a flexión.
- Abertura longitudinal pasante de $\frac{1}{2}$ pulgada (12,7 mm), a lo largo de todo el eje longitudinal de la viga.
- Recipiente de plástico de almacenamiento de agua utilizado para mantener una carga hidráulica constante.
- Embudo para la alimentación directa conectado al sistema hidráulico para facilitar el flujo continuo del agua.
- Manguera, utilizada para conducir el agua desde el depósito hacia el orificio longitudinal de la viga.
- Estructura de soporte de madera para mantener el depósito de agua a una altura constante de 0,50 m, generando una carga hidráulica uniforme durante la prueba.
- Base de madera de apoyo para la colocación y estabilización de la viga durante la prueba.
- Recipiente colector para el agua filtrada al finalizar el recorrido a través de la abertura longitudinal.
- Balanza electrónica digital, utilizada para determinar la masa del agua recolectada y calcular el volumen filtrado.
- Cronómetro digital para controlar el tiempo de ensayo.

4.7.3.3. Procedimiento

1. Se utilizaron vigas prismáticas de concreto de dimensiones $100 \times 100 \times 340$ mm, previamente fisuradas, las cuales presentaban una abertura longitudinal que permitía el flujo de agua a través del elemento.
2. Las vigas fueron colocadas horizontalmente sobre la base del equipo experimental, asegurando su estabilidad y correcta alineación con el sistema de alimentación de agua.
3. Se conectó una manguera flexible directamente a la entrada de la abertura longitudinal, verificando la hermeticidad de la conexión para evitar pérdidas de agua durante la prueba.
4. manteniendo una carga hidráulica constante equivalente a una altura de 50 cm respecto al eje del orificio longitudinal de la viga.
5. Una vez establecido el nivel de agua en el depósito se abre la válvula y permite el paso de agua hacia la abertura longitudinal de la viga mediante alimentación por gravedad, manteniendo constante la carga hidráulica durante toda la prueba.
6. La prueba de permeabilidad fue durante un período de 10 minutos, manteniendo constante el nivel de agua en el depósito para evitar variaciones en la carga hidráulica.
7. Al finalizar el tiempo de la prueba, se registra la masa del agua recolectada mediante la balanza electrónica.
8. Con el volumen de agua obtenido y el tiempo de ensayo se calculó el caudal de filtración correspondiente a cada espécimen.

Este procedimiento fue repetido para todas las vigas antes y después del tratamiento con bacterias, manteniendo las mismas condiciones de carga hidráulica, tiempo de ensayo y sistema de medición, con el propósito de garantizar la uniformidad de los resultados.

Durante la prueba, se registró el volumen de agua filtrado a través de la fisura, lo cual permitió evaluar la permeabilidad del concreto

4.7.3.4. Cálculo

$$\text{Permeabilidad (ml/s)} = \frac{\text{Volumen}}{\text{tiempo}}$$

Donde: V es el volumen de agua infiltrada a la viga y t es el tiempo estimado de la prueba en segundos.

Figura 57

Prueba de permeabilidad de vigas de 10 x 10 x 34 cm



Nota: Fuente: elaboración propia.

4.7.4. Ensayos en Elementos en Vigas Tratadas con Bioreparador

Cabe precisar que las vigas fisuradas durante el primer ensayo de resistencia a flexión fueron reparadas y nuevamente evaluadas mediante el mismo ensayo a los 56 días de la aplicación de la solución bioreparadora. Así mismo, las vigas de concretos fisuradas correspondientes a la prueba de permeabilidad fueron nuevamente sometidas esta prueba a los 56 días de aplicación de solución bioreparadora.

4.7.4.1. Ensayo de Resistencia a Flexión de Vigas de Concreto Reparado a los 56 días

Las vigas de concreto simple de dimensiones 15 x 15 x 60 cm previamente fisuradas, fueron reparadas mediante la aplicación de la solución bioreparadora de *Priestia megaterium* durante 56 días de inmersión.

Figura 58

Ensayo de resistencia a flexión de vigas



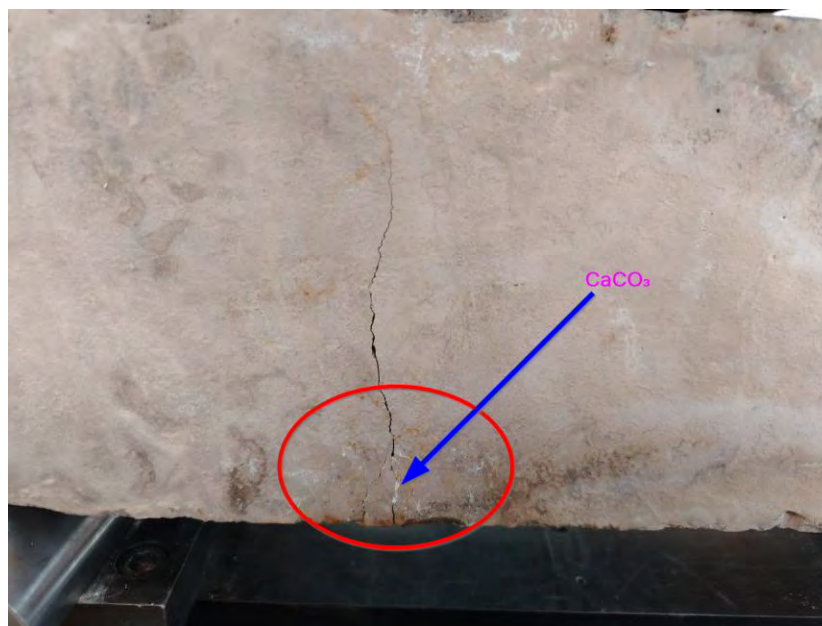
Nota: Fuente: elaboración propia.

Posteriormente, las vigas fueron sometidas al ensayo de resistencia a flexión, aplicándose las cargas en los tercios correspondientes a la luz de la viga y se registró la carga máxima soportada por cada espécimen. Cabe precisar que el traslado de las vigas hacia la ubicación de la maquina universal, las vigas fueron orientadas en posición vertical, con el propósito de evitar alteraciones en la resistencia residual.

Al cabo de evaluar la resistencia residual a flexión de vigas, se evidenció de manera visual en la superficie de la fractura el carbonato de calcio (CaCO_3), este se atribuye a la actividad metabólica de los microorganismos para inducir la precipitación de este mineral.

Figura 59

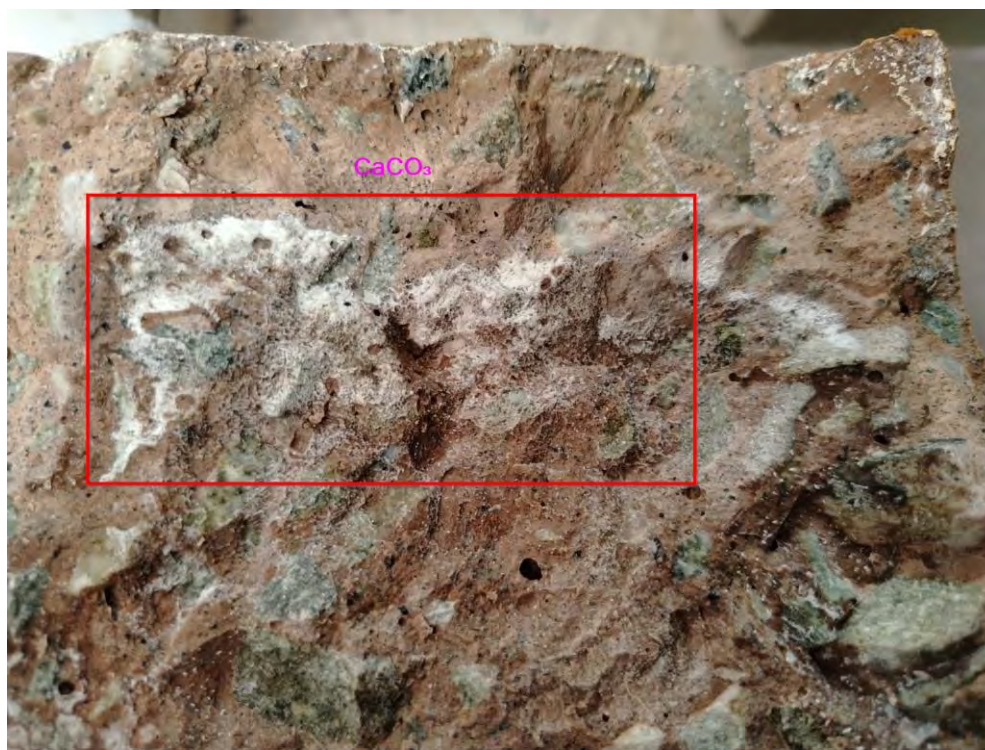
Visualización del carbonato de calcio (CaCO_3)



Nota: Fuente: elaboración propia.

Figura 60

Visualización del carbonato de calcio en la sección transversal de la viga



Nota: Fuente: elaboración propia.

4.7.4.2. Prueba de Permeabilidad en Vigas Tratadas con Bioreparador

Las vigas de 10 x 10 x 34 cm, una vez reparadas por 56 días de inmersión en solución bioreparadora de *Priestia megaterium*, fueron sometidos a la prueba de permeabilidad. Esta consistió en hacer fluir agua a través del punto de entrada ubicado en el centroide de la sección transversal de la viga, manteniendo una altura constante de 50 cm durante 10 minutos.

Durante la prueba se registró el volumen de agua que filtró a través de la fisura, empleando este parámetro como medida de la impermeabilidad de las vigas tratadas con microorganismos. El procedimiento se realizó bajo condiciones controladas, garantizando que la altura de carga hidráulica se mantuviera de forma constante, con una variación de ± 1 cm.

Figura 61

Prueba de permeabilidad de vigas de 10 x 10 x 34 cm



Nota: Fuente: elaboración propia.

Figura 62

Visualización del carbonato de calcio



Nota: Fuente: elaboración propia.

4.7.5. Visualización del Carbonato de Calcio en Estereoscopio

La observación mediante estereoscopio permitió observar de manera macroscópica la presencia de carbonato de calcio en las fisuras de concreto, la cual se atribuye a la actividad metabólica de los microorganismos.

Durante la visualización, se ajustó el sistema óptico del estereoscopio para enfocar la zona reparada, evidenciándose la formación de material precipitado mediante imágenes estereoscópicas. En la **Figura 63** y **Figura 64**, se muestran imágenes que pertenecen a una misma zona de fisura reparada con carbonato de calcio. Así mismo, en la **Figura 65** y **Figura 66** se muestran imágenes correspondientes a otra zona de fisura reparada.

Figura 63

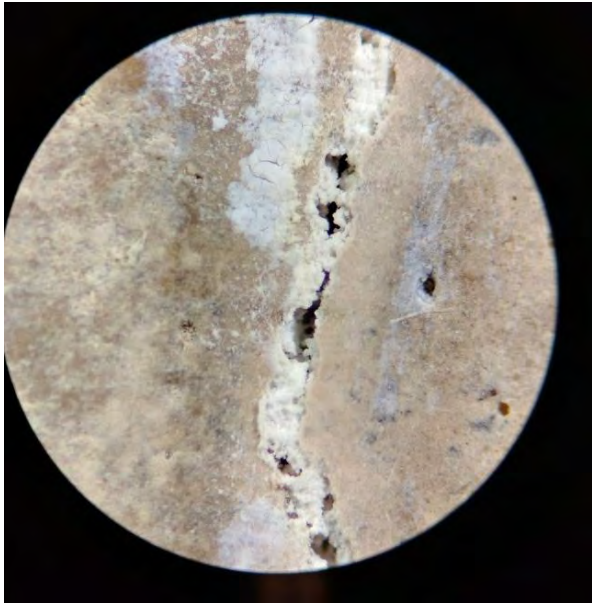
Espécimen seleccionado para la visualización de carbonato de calcio



Nota: Fuente: elaboración propia.

Figura 64

Imagen estereoscópica del carbonato de calcio precipitado



Nota: Fuente: elaboración propia.

Figura 65

Especímen seleccionado para visualización en estereoscopio



Nota: Fuente: elaboración propia.

Figura 66

Imagen estereoscópica de carbonato de calcio precipitado inducido por actividad bacteriana



Nota: Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO V

5. RESULTADOS

5.1. RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXIÓN (MODULO DE ROTURA)

Los ensayos de resistencia a flexión se realizaron en vigas de 15 x 15 x 60 cm, empleando la maquina universal de ensayos. A continuación, se presentan los resultados obtenidos del módulo de rotura en la **Tabla 20** para cada viga tipo evaluada y en la **Tabla 21** para las vigas reparadas mediante la aplicación bacteriana.

Estos resultados permiten comparar el comportamiento mecánico inicial del concreto fisurado con el desempeño alcanzado después del proceso de bioreparación, evaluando la recuperación parcial de la resistencia a flexión.

Tabla 19

Dimensiones de las vigas tipo 15 x 15 x 60 cm

Caso	A1 (cm)	A2 (cm)	A3 (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Longitud (cm)
VF-1	15	15.1	15.2	15.10	15.27	59.93
VF-2	15	15	15	15.00	15.07	60.00
VF-3	15	15	15	15.00	15.07	60.00
VF-4	15.1	15.1	15.1	15.10	14.97	60.03
VF-5	15	15	15	15.00	15.00	59.83
VF-6	15	15	15	15.00	15.07	59.80

Nota: Fuente: elaboración propia.

Tabla 20

Módulo de rotura de vigas a los 28 días de vaciado de concreto

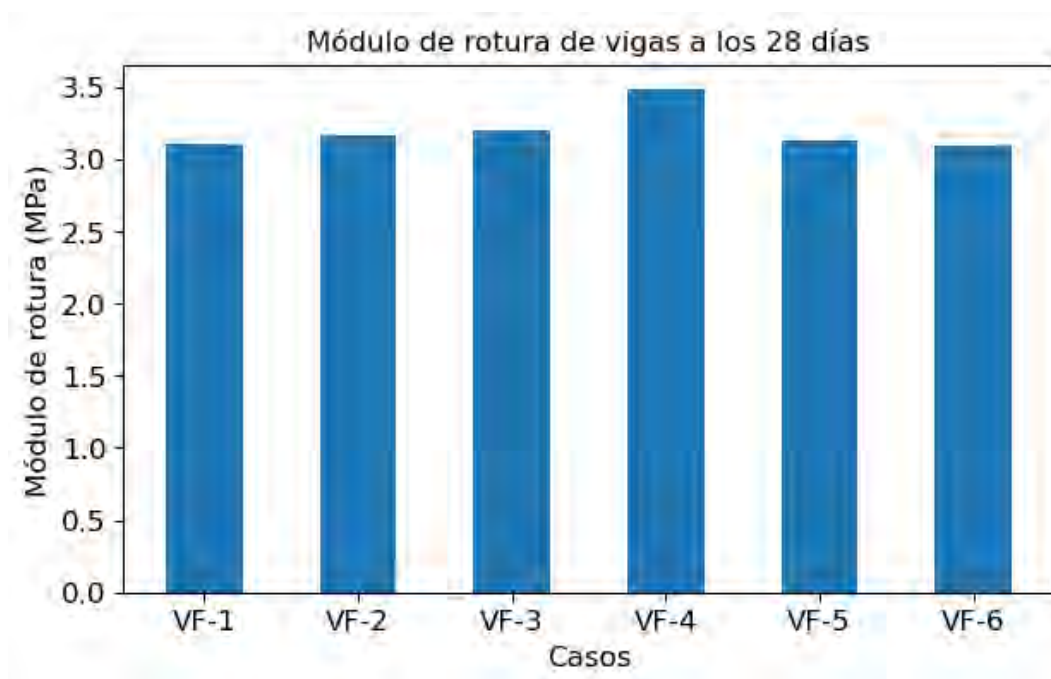
Caso	B	H	L	Carga		Módulo de rotura	
	(cm)	(cm)	(cm)	(Kg)	(N)	(Kg/cm2)	(Mpa)
VF-1	15.10	15.27	45	2433.5	23872.9	31.12	
VF-2	15.00	15.07	45	2451.7	24050.9	32.40	32.24 3.16
VF-3	15.00	15.07	45	2512.4	24647.1	33.2	
VF-4	15.10	14.97	45	2617.2	25675	34.82	
VF-5	15.00	15.00	45	2267.1	22239.8	30.23	31.97 3.13
VF-6	15.00	15.07	45	2334.2	22898.4	30.85	

Nota: Fuente: elaboración propia.

La Figura 67 muestra la distribución de los valores del módulo de rotura obtenidos para las seis vigas ensayadas a los 28 días de curado. La representación gráfica facilita la comparación del comportamiento mecánico de cada espécimen.

Figura 67

Módulo de rotura de vigas



Nota: Fuente: elaboración propia.

Tabla 21

Resistencia recuperada a flexión en vigas reparadas con CaCO_3 a los 56 días

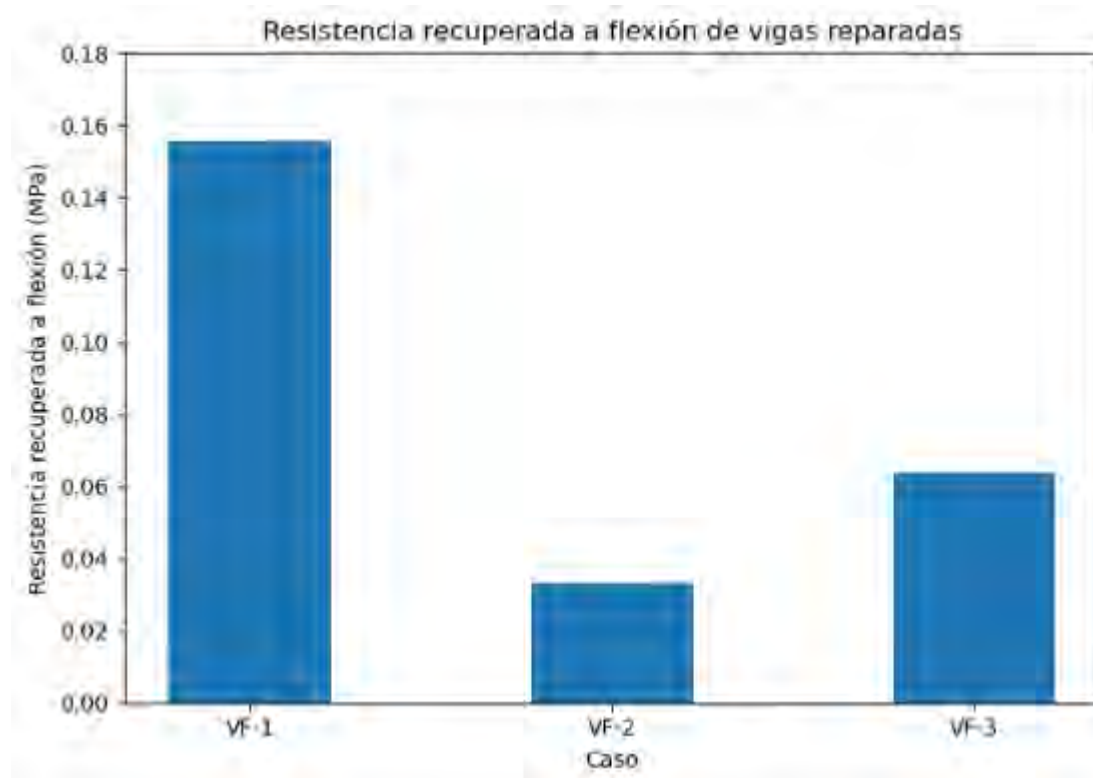
Caso	B	H	L	Carga		Módulo de rotura			Fisura	Reparación
	(cm)	(cm)	(cm)	(Kg)	(N)	(Kg/cm ²)	(Mpa)	%	(mm)	
VF-1	15.10	15.27	45	124.74	1223.68	1.59			0.5	Parcial
VF-2	15.00	15.07	45	25.5	250.155	0.34	0.86	0.08	2.67	Parcial
VF-3	15.00	15.07	45	49	480.69	0.65			0.6	Parcial

Nota: Fuente: elaboración propia.

El gráfico muestra la distribución de esfuerzos a flexión obtenidos para las tres vigas ensayadas a los 56 días de reparación.

Figura 68

Resistencia recuperada a flexión de vigas reparadas



Nota: Fuente: elaboración propia.

Tabla 22

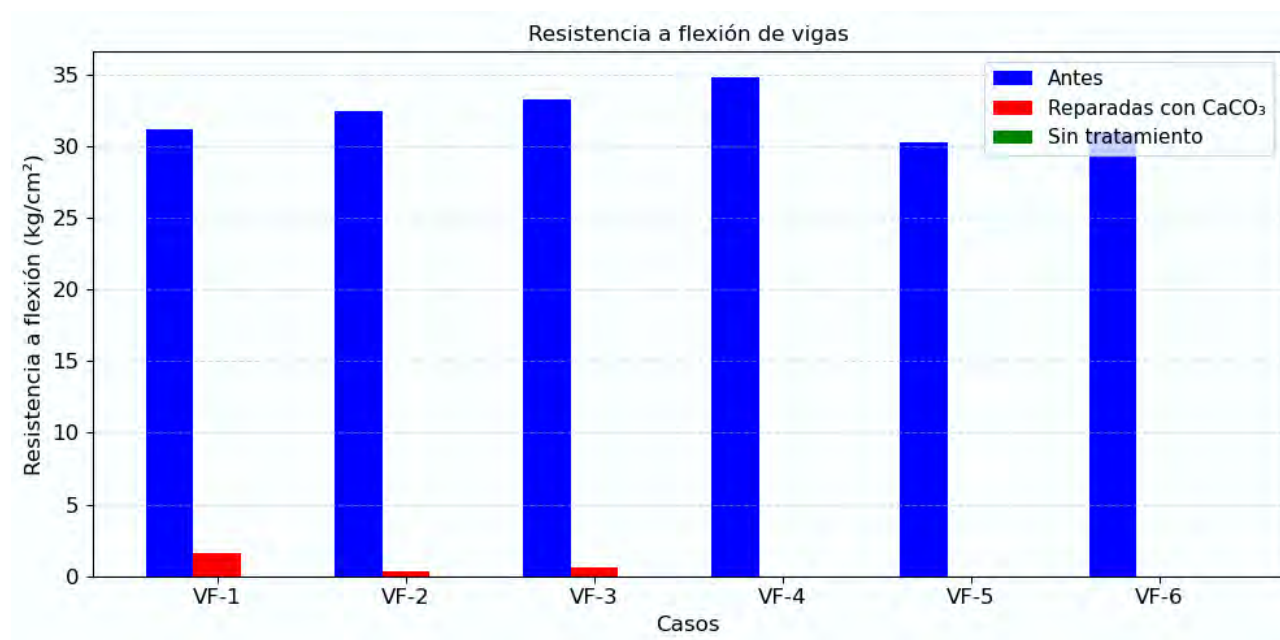
Resistencia a flexión de vigas fisuradas sin tratamiento a los 56 días

Caso	B	H	L	Carga		Módulo de rotura			Fisura	Reparación
	(cm)	(cm)	(cm)	(Kg)	(N)	(Kg/cm ²)	(Mpa)	%	(mm)	
VF-4	15.10	14.97	45	0	0	0.00			0.8	Nula
VF-5	15.00	15.00	45	0	0	0.00	0.00	0.00	2	Nula
VF-6	15.00	15.07	45	0	0	0.00			1	Nula

Nota: Fuente: elaboración propia.

Figura 69

Comparativa de los resultados de la resistencia a flexión de vigas



Nota: Fuente: elaboración propia.

5.1.1. Resultados del momento de agrietamiento y último

Debido a que las vigas ensayadas corresponden a vigas de concreto simple, sin la presencia de refuerzo, no se considera una etapa resistente posterior a la etapa de agrietamiento. Por tal motivo, el momento de agrietamiento y momento último se asumieron como equivalentes, siendo determinados a partir de la carga máxima registrada durante el ensayo a flexión. El momento de

agrietamiento se calculó considerando vigas simplemente apoyadas sometidas a cargas a los tercios del tramo, la cual se determinó mediante la siguiente expresión:

$$M_{cr} = \frac{f_r \times I}{Y}$$

Donde: f_r es el módulo de rotura (resistencia del concreto a tracción por flexión), I es el momento de inercia de la sección y Y es la distancia del eje neutro a la fibra externa sometida a tracción.

Para el cálculo de módulo de rotura se emplea la siguiente expresión:

$$f_r = 0.62 \lambda \sqrt{f'_c}$$

Donde: λ es 1 para concreto de peso normal y f'_c es la resistencia a compresión de concreto (MPa).

5.1.2. *Determinación de momento de agrietamiento teórico*

Para la determinación del momento de agrietamiento teórico se consideró una viga de sección rectangular de 15cm×15cm, correspondiente a las dimensiones la sección de la viga de concreto normal, y una resistencia a la compresión $f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$. El valor del momento de agrietamiento, se muestra a continuación. El cálculo se realizó considerando las propiedades geométricas de la sección y la resistencia a compresión del concreto. Este parámetro permite estimar el momento flector a partir del cual se inicia la formación de fisuras.

Si $f'_c=280.00 \text{ Kg/cm}^2=27.46 \text{ MPa}$, entonces el módulo de rotura es: $f_r=3.25 \text{ MPa}$

Asimismo: $I_x=0.000042188 \text{ m}^4$ y $Y=0.0750 \text{ m}$

$$\therefore M_{cr} = \frac{f_r \times I}{Y} = 1.827 \text{ kN.m}$$

5.1.3. *Determinación del momento de agrietamiento con datos experimentales*

Para la determinación del momento de agrietamiento con datos experimentales, se empleó la resistencia promedio a compresión del concreto a los 28 días, equivalente a 304.90 kg/cm^2 . A partir de este valor se calculó el módulo de rotura, considerando concreto de peso normal. Asimismo, se utilizaron las dimensiones reales de cada viga, medidas en la sección correspondiente, para calcular el momento de inercia. Los valores del momento de agrietamiento se muestran en la **Tabla 23**.

Tabla 23

Momento de agrietamiento y último de las vigas a los 28 días de edad del concreto

Caso	B	H	L	f'c	fr	I	Y	Mcr
	(cm)	(cm)	(cm)	(Kg/cm ²)	(MPa)	(m ⁴)	m	(kN.m)
VF-1	15.10	15.27	45	304.9	3.390	0.00004477	0.076	1.99
VF-2	15.00	15.07	45	304.9	3.390	0.00004275	0.075	1.92
VF-3	15.00	15.07	45	304.9	3.390	0.00004275	0.075	1.92
VF-4	15.10	14.97	45	304.9	3.390	0.00004219	0.075	1.91
VF-5	15.00	15.00	45	304.9	3.390	0.00004219	0.075	1.91
VF-6	15.00	15.07	45	304.9	3.390	0.00004275	0.075	1.92

Nota: Fuente: elaboración propia.

5.2. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE PERMEABILIDAD

La evaluación de la permeabilidad se realizó en vigas fisuradas de 10 x 10 x 34 cm, posterior al ensayo de resistencia a flexión. Este procedimiento permitió generar fisuras controladas en los especímenes y, posteriormente, analizar el comportamiento del flujo de agua a través de dichas aberturas. La prueba tuvo como finalidad determinar la capacidad del concreto fisurado para permitir el paso del agua y evaluar los cambios producidos luego del periodo de tratamiento establecido.

A continuación, en la **Tabla 25** se presentan los resultados obtenidos para cada viga fisurada evaluada; en la **Tabla 26**, los correspondientes a las vigas bioreparadas; y en la **Tabla 27**, los resultados del grupo de control. Esta información permitió comparar el comportamiento del flujo de agua a través de las fisuras bajo ambas condiciones de estudio.

Tabla 24

Dimensiones de la viga 10 x 10 x 34 cm

Caso	Ancho (cm)	Altura (cm)	Longitud (cm)
VBP-1	10.07	10.00	34.00
VBP-2	9.97	10.03	33.93
VBP-3	10.07	10.00	34.10
VBP-4	10.10	10.03	33.93
VBP-5	10.07	10.03	34.00
VBP-6	9.97	9.97	34.00

Nota: Fuente: elaboración propia.

Tabla 25

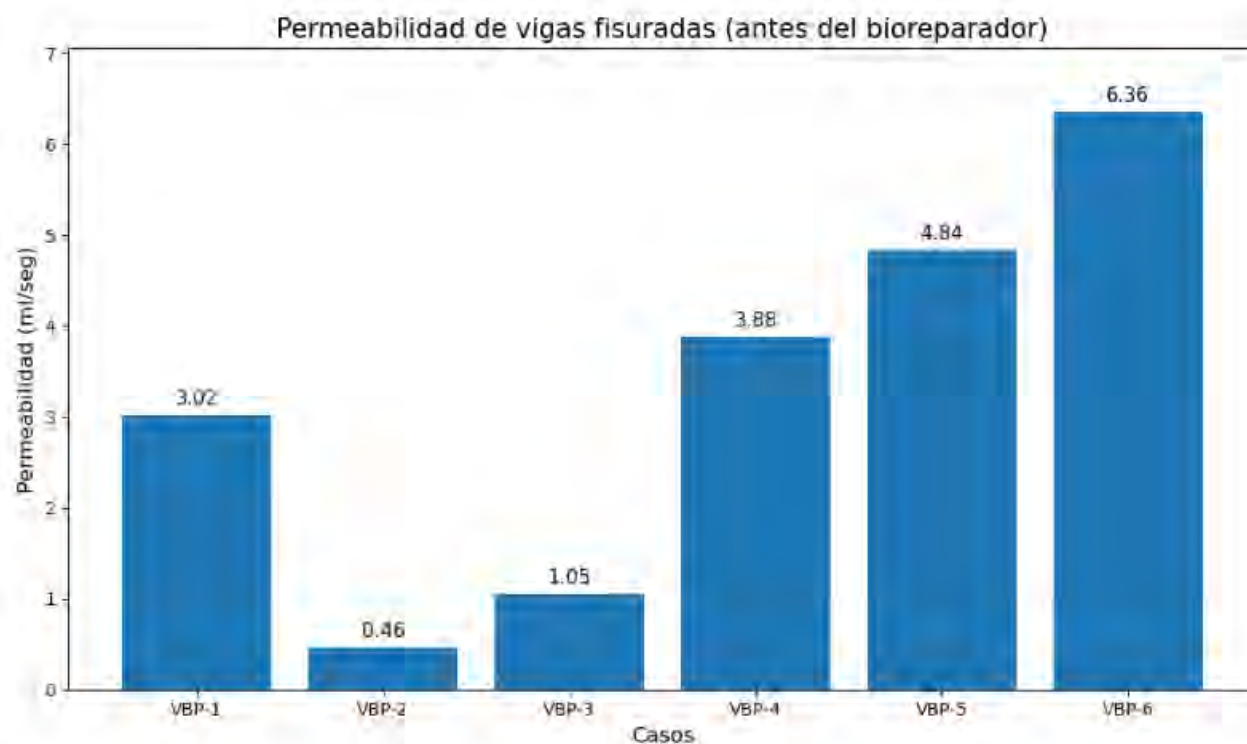
Permeabilidad de vigas de concreto fisuradas antes de aplicar bioreparador

Caso	Volumen (ml)	Tiempo (seg)	Permeabilidad (ml/seg)	Fisura (mm)
VBP-1	1809.67	600	3.02	0.6
VBP-2	276.00	600	0.46	0.3
VBP-3	630.00	600	1.05	0.5
VBP-4	2330.00	600	3.88	0.7
VBP-5	2902.33	600	4.84	0.7
VBP-6	3813.67	600	6.36	0.8

Nota: Fuente: elaboración propia.

Figura 70

Permeabilidad de vigas fisuradas antes de aplicar bioreparador



Nota: Fuente: elaboración propia.

Tabla 26

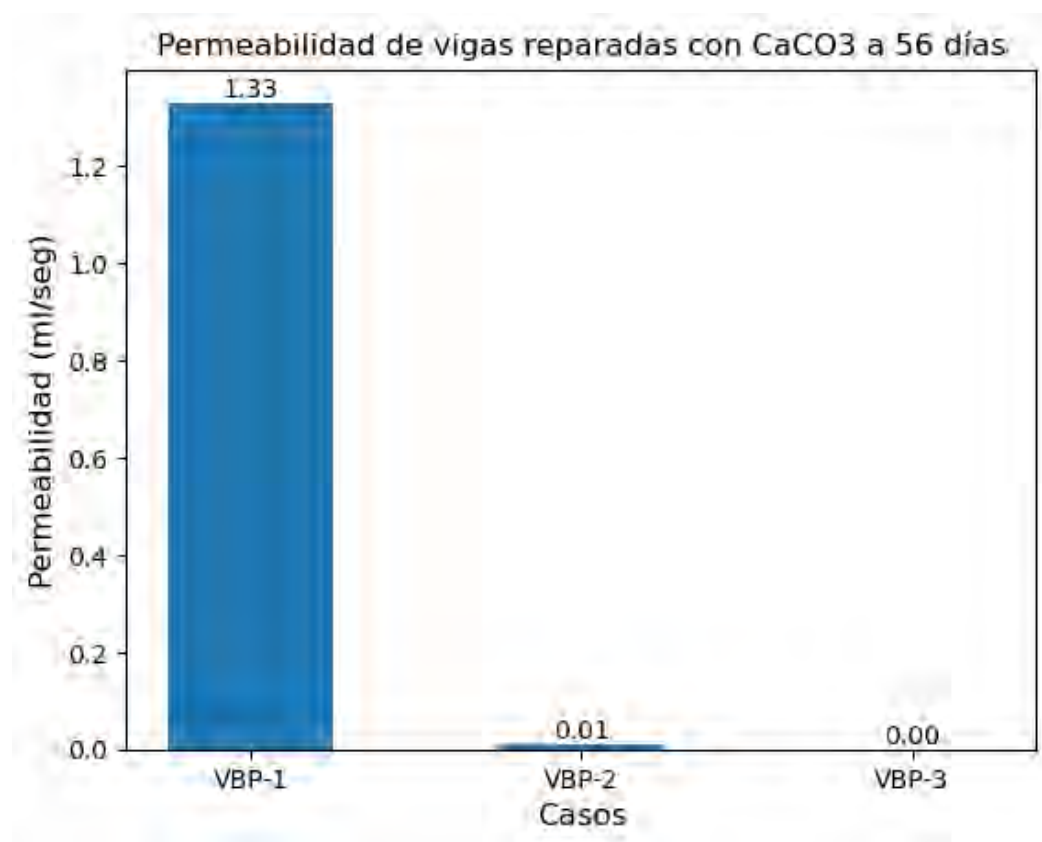
Permeabilidad de vigas reparadas con CaCO_3 a los 56 días

Caso	Volumen (ml)	Tiempo (seg)	Permeabilidad (ml/seg)			Fisura (mm)	Reparación
VBP-1	795.00	600	1.33			0.6	Parcial
VBP-2	5.00	600	0.01	0.45	70.2	0.3	Parcial
VBP-3	0.00	600	0			0.5	Parcial

Nota: Fuente: elaboración propia.

Figura 71

Permeabilidad de vigas reparadas despues de aplicar bioreparador



Nota: Fuente: elaboración propia.

Tabla 27

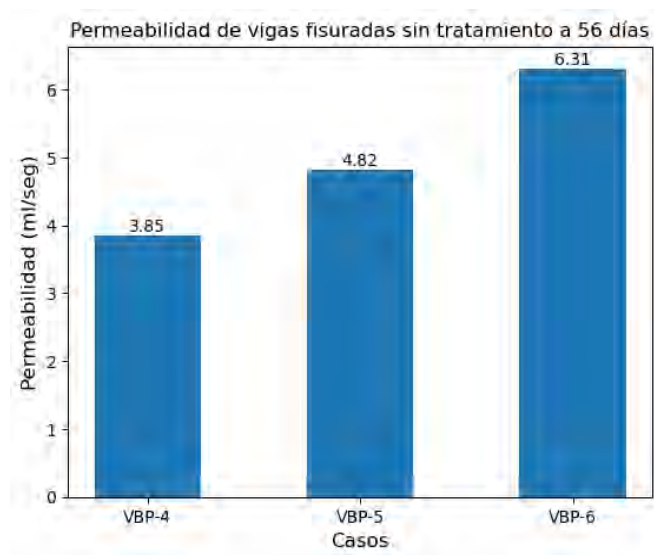
Permeabilidad de vigas fisuradas sin tratamiento a los 56 días

Caso	Volumen (ml)	Tiempo (seg)	Permeabilidad (ml/seg)		Fisura (mm)	Reparación
VBP-4	2308.33	600	3.85		0.7	Nula
VBP-5	2892.00	600	4.82	4.99	0.7	Nula
VBP-6	3784.33	600	6.31		0.8	Nula

Nota: Fuente: elaboración propia.

Figura 72

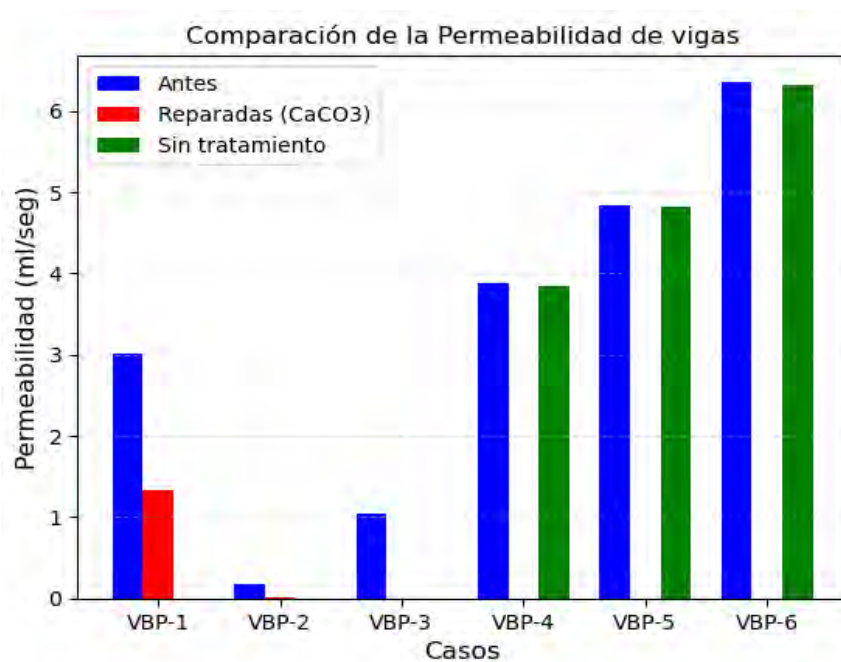
Permeabilidad de vigas fisuradas sin tratamiento a los 56 días



Nota: Fuente: elaboración propia.

Figura 73

Comparación de la permeabilidad de las vigas fisuradas en condición inicial, después de la reparación con CaCO_3 y sin tratamiento



Nota: Fuente: elaboración propia.

5.3. RESULTADO DE LA EVALUACIÓN DEL MATERIAL PRECIPITADO EN LA FISURA

Tras la aplicación de ácido clorhídrico sobre el material precipitado en las fisuras, se observó una reacción efervescente, lo que evidencia la presencia de una reacción química producto de la liberación de dióxido de carbono. A continuación, se detallan los resultados del ensayo llevado a cabo en el Laboratorio de Química Analítica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

Tabla 28

Reacción química de las muestras de material precipitado en la fisura

Caso	Ensayo	Reacción	Identificación
VBF-1	Resistencia a flexión	Efervescente	Carbonato de calcio
VBF-2	Resistencia a flexión	Efervescente	Carbonato de calcio
VBF-3	Resistencia a flexión	Efervescente	Carbonato de calcio
VBP-1	Prueba Permeabilidad	Efervescente	Carbonato de calcio
VBP-2	Prueba Permeabilidad	Efervescente	Carbonato de calcio
VBP-3	Prueba Permeabilidad	Efervescente	Carbonato de calcio

Nota: Fuente: elaboración propia.

Figura 74

Reacción efervescente del carbonato de calcio



Nota: Fuente: elaboración propia.

5.4. PRUEBA DE HIPÓTESIS

5.4.1. Prueba de Hipótesis de la Resistencia a la Flexión Inicial y Recuperada

La prueba t de Student para muestras relacionadas se empleó con la finalidad de comparar los resultados de resistencia a flexión obtenidos en las mismas vigas en dos momentos de evaluación. La primera medición correspondió al ensayo realizado a los 28 días, mediante el cual se produjo la fisuración inicial de las vigas; la segunda medición se efectuó después de 56 días de aplicación del bioreparador *Priestia megaterium*. Esta prueba permitió determinar si existe variación observada entre ambas mediciones.

H_0 : No existe recuperación significativa entre la resistencia a flexión del concreto reparado y la resistencia a flexión del concreto a los 28 días

H_1 : Existe recuperación significativa entre la resistencia a flexión del concreto reparado y la resistencia a flexión del concreto a los 28 días

Criterio de decisión

Si $p \leq 0.05 \rightarrow$ Se rechaza H_0 y se concluye que existe recuperación significativa

Si $p > 0.05 \rightarrow$ Se acepta H_0 y se concluye que no existe recuperación significativa

Tabla 29

Prueba de hipótesis de la resistencia a flexión

Prueba de muestras emparejadas								
		Diferencias emparejadas				Significación		
	Media	Desv. estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	P de un factor
				Inferior	Superior			
Valor	31.38	1.621	0.936	27.354	35.406	33.5	2	0.0004

Nota. Tomado de (IBM SPSS Statistics, 2026)

Interpretación

El valor de la significancia obtenido fue de $p = 0.0004$, siendo menor que el nivel de significancia de 0.05; por lo cual se rechaza la H_0 y se acepta la H_1 . **Se concluye que existe recuperación significativa** en la resistencia a flexión del concreto reparado y el concreto fisurado en estado inicial.

5.4.2. *Prueba de Hipótesis de la Permeabilidad entre el Concreto Bioreparado y el Concreto Fisurado en Estado Inicial*

La prueba t de Student para muestras relacionadas se aplicó con la finalidad de evaluar las diferencias existentes en la permeabilidad del concreto fisurado entre dos momentos de medición: el estado inicial, previo al proceso de bioreparación, y el estado posterior a los 56 días de tratamiento bacteriano con *Priestia megaterium*. Esta prueba permitió determinar si la variación observada en los valores de permeabilidad corresponde a una reducción estadísticamente significativa después del proceso de reparación. El análisis se realizó considerando que las mediciones iniciales y finales corresponden a las mismas unidades de estudio.

H_0 : No existe reducción significativa entre la permeabilidad del concreto reparado y el concreto fisurado en estado inicial

H_1 : Existe reducción significativa entre la permeabilidad del concreto reparado y el concreto fisurado en estado inicial

Criterio de decisión

Si $p \leq 0.05 \rightarrow$ Se rechaza H_0 y se concluye que existe reducción significativa

Si $p > 0.05 \rightarrow$ Se acepta H_0 y se concluye que no existe reducción significativa

Tabla 30

Prueba t de muestras emparejadas para la permeabilidad del concreto bioreparado y el concreto fisurado en estado inicial

Prueba de muestras emparejadas								
Diferencias emparejadas							Significación	
Media	Desv. estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	P de un factor	
			Inferior	Superior				
Valor	1.06	0.62	0.36	-0.48	2.6	2.97	2	0.048

Nota. Tomado de (IBM SPSS Statistics, 2026)

Interpretación

El valor de significancia obtenido fue de $p = 0,048$, siendo menor que el nivel de significancia de 0.05; por lo cual se rechaza la H_0 y se acepta la H_1 . En consecuencia, existe una reducción estadísticamente significativa de la permeabilidad entre el concreto reparado y el concreto fisurado en su estado inicial.

5.4.3. Prueba de hipótesis de la Resistencia a la Flexión entre el Concreto Bioreparado y el Concreto sin Tratamiento

Se empleo la prueba t Student para evaluar dos grupos independientes con la finalidad de comparar los resultados obtenidos entre el concreto bioreparador con agente bacteriano y concreto sin tratamiento.

H_0 : No existe diferencia significativa entre la resistencia a flexión del concreto reparado y el concreto sin tratamiento.

H_1 : Existe diferencia significativa entre la resistencia a flexión del concreto reparado y el concreto sin tratamiento.

Criterio de decisión

Si $p \leq 0.05 \rightarrow$ Se rechaza H_0 y se concluye que existe diferencia significativa

Si $p > 0.05 \rightarrow$ Se acepta H_0 y se concluye que no existe diferencia significativa

Tabla 31

Prueba de hipótesis para la resistencia a la flexión entre el concreto reparado y el concreto sin tratamiento

Prueba de muestras independientes								
		t	gl	Significación	Diferencia de medias	error estándar de la diferencia	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
				P de un factor			Inferior	Superior
VALOR	Se asumen varianzas iguales	2.2	4	0.046	2.71	1.23	-0.71	6.12

Nota. Tomado de (IBM SPSS Statistics, 2026)

Interpretación

El valor de significancia obtenido fue de $p = 0,046$, siendo menor que el nivel de significancia de 0.05; por lo cual se rechaza la H_0 y se acepta la H_1 . En consecuencia, existe evidencia estadística suficiente para afirmar que se presentan diferencias significativas en la resistencia a flexión entre el concreto reparado mediante el bioreparador *Priestia megaterium* y el concreto fisurado sin tratamiento.

5.4.4. *Prueba de Hipótesis de la Permeabilidad entre el Concreto Bioreparado y el Concreto sin Tratamiento*

Se aplicó la prueba t Student para muestras independientes, fue utilizada para evaluar las diferencias de permeabilidad entre el concreto tratado con agente bacteriano y concreto fisurado sin tratamiento bacteriano.

H_0 : No existe diferencia significativa entre la permeabilidad del concreto reparado y el concreto sin tratamiento.

H_1 : Existe diferencia significativa entre la permeabilidad del concreto reparado y el concreto sin tratamiento.

Criterio de decisión

Si $p \leq 0.05 \rightarrow$ Se rechaza H_0 y se concluye que existe diferencia significativa

Si $p > 0.05 \rightarrow$ Se acepta H_0 y se concluye que no existe diferencia significativa

Tabla 32

Prueba de hipótesis de la permeabilidad del concreto fisurado y el concreto sin tratamiento

Prueba de muestras independientes								
		t	gl	Significación	Diferencia de medias	error estándar de la diferencia	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
				P de un factor			Inferior	Superior
Valor	Se asumen varianzas iguales	5.9	4	0.021	83.94	14.33	44.15	123.73

Nota. Tomado de (IBM SPSS Statistics, 2026)

Interpretación

El valor de la significancia obtenido fue de $p= 0.021$, siendo menor que el nivel de significancia de 0.05; por lo cual se rechaza la H_0 y se acepta la H_1 . En consecuencia, **existen diferencias significativas** en la permeabilidad entre el concreto reparado y el concreto sin tratamiento.

5.5. ANALISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN (MODULO DE ROTURA) DE VIGAS DE CONTROL Y VIGAS BIOREPARADAS

El módulo de rotura promedio de las vigas VF-1 a VF-3 a los 28 días fue de 3.16 Mpa y para las vigas VF-4 a VF-6 fue de 3.13 Mpa, valores que representan la capacidad resistente inicial a flexión del concreto.

Posterior al tratamiento con bioreparador que induce la precipitación de carbonato de calcio (CaCO_3) reparando fisuras de hasta 0.8mm, las vigas reparadas VF-1, VF-2 y VF-3 alcanzaron una resistencia residual promedio de 0.08 Mpa, lo que equivale a una recuperación del 2.67 % respecto a su resistencia inicial.

Por otro lado, las vigas fisuradas sin tratamiento VF-4, VF-5 y VF-6 no presentaron recuperación alguna con 0.00 Mpa, lo que evidencia que, sin intervención biológica, el concreto fisurado pierde su capacidad resistente a flexión.

Comparativamente, las vigas tratadas con el agente bioreparador mostraron un comportamiento mecánico superior frente a las vigas de control, con resultados de resistencia residual de 0.08 MPa y 0.00 MPa respectivamente. Este resultado indica que el mecanismo de reparación inducido por las esporas de *Priestia megaterium* permitió la precipitación de carbonato

de calcio en las fisuras de hasta 0.8 mm, generando una reparación parcial y la formación de un puente de adherencia entre las superficies fisuradas.

Es importante señalar que el bioreparador contribuye a una restitución parcial de la capacidad resistente, pero no sustituye la integridad estructural frente a esfuerzos de flexión.

5.6. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA PERMEABILIDAD DE VIGAS DE CONTROL Y VIGAS BIOREPARADAS

Las vigas tratadas con la solución bioreparadora presentaron una reducción del paso del flujo de agua a través de las fisuras. El promedio de permeabilidad disminuyó de 1.51 ml/seg en estado fisurado inicial a 0.45 ml/seg a los 56 días posterior al tratamiento bacteriano, lo que representa una reducción del 70.2 %. Esta disminución se atribuye a la precipitación de carbonato de calcio (CaCO_3) inducida microbiológicamente, que permitió como material que sellante en las fisuras e impidió el paso del flujo de agua.

Por otro lado, las vigas de control sin tratamiento bacteriano no mostraron mejora en su impermeabilidad. La permeabilidad promedio fue de 5.03 ml/seg en estado fisurado inicial a 4.99 ml/seg respecto a los 56 días, lo que confirma la ausencia de un mecanismo de sellado.

A los 56 días, las vigas bioreparadas presentaron un promedio de permeabilidad de 0.45 ml/seg, mientras que las vigas sin tratamiento fueron de 4.99 ml/seg. Esto representa una reducción que se atribuye al agente reparador bacteriano que mediante su actividad metabólica induce a la precipitación de carbonato de calcio, lo que permite sellar la abertura de fisura lo cual limita el paso del flujo de agua a través de la fisura.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

CG. El bioreparador *Priestia megaterium* influye en la recuperación parcial de la resistencia a flexión y en la reducción de la permeabilidad de las muestras de concreto fisurado. Se evidenció una restitución respecto al módulo de rotura inicial y una reducción en la permeabilidad respecto al concreto fisurado antes del tratamiento.

CE1. El bioreparador *Priestia megaterium* permitió recuperar de manera parcial el 2.67% de la resistencia a flexión del concreto respecto al módulo de rotura a los 28 días, este valor fue determinado a partir del promedio de las tres muestras evaluadas. Esta recuperación se atribuye al sellado parcial de fisuras de hasta 0.8 mm mediante la precipitación de carbonato de calcio inducida biológicamente, lo cual permitió la unión de las superficies fisuradas y la formación de un puente de adherencia, contribuyendo a la restitución parcial de la resistencia del concreto.

CE2. El bioreparador *Priestia megaterium* redujo la permeabilidad del concreto fisurado en 70.2% respecto al concreto fisurado en su estado inicial, este valor fue determinado a partir del promedio de las tres muestras evaluadas. Este comportamiento se atribuye a la precipitación de carbonato de calcio inducida biológicamente, lo cual permitió el sellado parcial de las fisuras de aberturas de hasta 0.6 mm, limitando el paso de flujo del agua a través del elemento, disminuyendo la permeabilidad del concreto fisurado.

CE3. El concreto bioreparado recupera parcialmente la resistencia a flexión y reduce la permeabilidad respecto al concreto fisurado sin tratamiento bacteriano. Así mismo, la resistencia a flexión de las vigas tratadas con bioreparador presentó una recuperación en 2.67 %, mientras que

las vigas sin tratamiento bacteriano presentaron una recuperación del 0%. Además, la permeabilidad de vigas reparadas con tratamiento bacteriano presentó una reducción en 70.2%, mientras que la reducción en vigas sin tratamiento fue de 0%. Por consiguiente, se confirma que el concreto tratado con *Priestia megaterium* es menos permeable y recupera la resistencia a flexión en comparación con el concreto sin la aplicación del microorganismo.

6.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar estudios con diversas especies de bacterias no patógenas o patógenas mediante DNA recombinante con fines de reparación del concreto fisurado.

Se recomienda desarrollar futuras investigaciones enfocadas a la estabilización de taludes, mejoramiento de suelo y generadores de electricidad mediante el uso de bacterias, promoviendo la aplicación de tecnologías limpias y sostenibles con el medio ambiente.

Se recomienda realizar estudios a mayor escala, con el propósito de evaluar el comportamiento del concreto tratado con bacterias bajo condiciones reales de carga y exposición ambiental, considerando variación de temperatura, presencia de humedad, estiaje y presencia de agentes químicos que podrían influir en el proceso de biorreparación.

Se recomienda desarrollar futuras investigaciones orientadas al uso de nanotecnología y prototipos avanzados que permitan recuperar la rigidez y la resistencia al corte del concreto sometido a cargas cíclicas con la finalidad de mejorar su comportamiento mecánico.

Se recomienda evaluar diferentes concentraciones de *Priestia megaterium*, tiempos de tratamiento y medios nutritivos, con la finalidad de determinar las condiciones óptimas que permitan incrementar la precipitación de carbonato de calcio y mejorar la recuperación de la resistencia mecánica y la reducción de la permeabilidad del concreto fisurado.

7. BIBLIOGRAFÍA

- ACI 224. (1993). *Causas, Evaluación y Reparación de Fisuras en Estructuras de Hormigón*. American Concrete Institute. <https://www.inti.gob.ar/publicaciones/descargac/272>
- Aldazábal, J. (2016). *Formulación de medios de cultivo y su efecto en la producción de esporas de Bacillus thuringiensis var. israelensis. Huánuco, 2015 [Tesis para optar título de biólogo, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]*. <https://repositorio.unsch.edu.pe/server/api/core/bitstreams/221e5e25-0bad-40a8-bcad-10cc4d5bc555/content>
- American Concrete Institute. (2022). *Selecting proportions for normal density and high density concrete guide*. American Concrete Institute. <https://storethinghiem.vn/uploads/files/31-ACI%20211.1-22.pdf>
- Azpilcueta, J. F. (2022). *Evaluación Estructural Reservorio de la Comunidad de Pucutu de 80 m³ de Capacidad*.
- De Muynck, W., De Belie, N., & Verstraete, W. (2010). Microbial carbonate precipitation in construction materials: A review. En *Ecological Engineering* (Vol. 36, Número 2, pp. 118-136). <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.02.006>
- Giraldo, N. (2017). *Autorreparación de Fisuras en Concreto Rígido para Pavimentos mediante la Adición de Bacterias Bioprecipitadoras de Carbonato de Calcio - Estado del Arte y Diseño Experimental*.
- Helene, P., & Pereira, F. (2003). *Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón*.

- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. del P. (2014). *Metodología de la Investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill / Interamericana Editores.
https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf
- Hwang, H. H., Chien, P. R., Huang, F. C., Yeh, P. H., Hung, S. H. W., Deng, W. L., & Huang, C. C. (2022). A Plant Endophytic Bacterium *Priestia megaterium* StrainBP-R2 Isolated from the Halophyte *Bolboschoenus planiculmis* Enhances Plant Growth under Salt and Drought Stresses. *Microorganisms*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/microorganisms10102047>
- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, Beatrix., Panarese, W. C., & Tanesi, Jussara. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. Portland Cement Association.
- Matallana, R. (2019). *El Concreto Fundamentos y Nuevas Tecnologías*.
<https://conconcreto.com/wp-content/uploads/2023/02/EL-CONCRETO-Fundamentos-y-nuevas-tecnologias..pdf>
- McCormac, J. C., & Brown, R. H. (2017). *Diseño de Concreto Reforzado*.
https://www.academia.edu/124371549/Dise%C3%B1o_de_Estructuras_De_Concreto_reforzado_McCormac
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2001). *Concrete Microstructure, Properties and Materials*.
- Mendoza, R. H., & Sánchez, J. Marx. (2017). “ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO UTILIZANDO BACTERIAS DEL GÉNERO BACILLUS Y BIOPOLÍMEROS COMO BIOREPARADOR, CUSCO-2016”.

MVCS. (2019). E.060 Concreto Armado. *SENCICO*.

<https://www.cip.org.pe/publicaciones/2021/enero/portal/e.060-concreto-armado-sencico.pdf>

Newman, J., & Choo, B. S. (2003). *Advanced Concrete Technology*. Butterworth-Heinemann.

<https://www.faculty.uobasrah.edu.iq/uploads/teaching/1645380226.pdf>

Nilson, A. H., & Darwin, D. (1997). *Diseño de Estructuras de Concreto*. McGraw-Hill.

<https://marodyc.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/06/disec3b1o-de-estructuras-de-concreto-nilson-arthur.pdf>

NRMCA. (s. f.). *CIP 16-Resistencia a Flexión del concreto*. Recuperado www.nrmca.org.

Rodríguez, S. (2010). *La Dureza del Agua*. <http://www.edutecne.utn.edu.ar>

Sangadji, S., Wiktor, V., Jonkers, H., & Schlangen, E. (2013). *Injecting a liquid bacteria-based repair system to make porous network concrete healed*.

<https://share.google/yxi0sbV2LLuoZgpXW>

Sotomayor, C. (2020). *Entendiendo a las Fisuras y Grietas en las Estructuras de Concreto*.

<https://consultcreto.com/wp-content/uploads/2024/12/ENTENDIENDO-A-LAS-FISURAS-Y-GRIETAS-EN-LAS-ESTRUCTURAS-DE-CONCRETO.pdf>

Tziviloglou, E., Jonkers, H. M., & Schlangen, E. (2014a). *Bacteria-based self-healing concrete to increase liquid tightness of cracks*. 650-655. www.ams.tudelft.nl

Tziviloglou, E., Jonkers, H. M., & Schlangen, E. (2014b). *Bacteria-based self-healing concrete to increase liquid tightness of cracks*. 650-655. www.ams.tudelft.nl

8. ANEXOS

ANEXO A. FORMATOS DE EVALUACIÓN DE DATOS

ANEXO A1: FORMATO DE ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS: "INFLUENCIA DEL BIOREPARADOR *Priestia megaterium* EN LA
RESISTENCIA A FLEXIÓN Y PERMEABILIDAD DEL CONCRETO
FISURADO EN OBRAS HIDRÁULICAS, CUSCO - 2024"

ANALISIS GRANULOMETRICO AGREGADO GRUESO

Peso muestra seca (gr) =	2845.00		Peso muestra postamizado (gr) =	2816.40
Peso muestra seca lavada (gr) =	2817.60		Error Peso M. postamizado (gr) =	1.20
% Material fino pasa N° 200 =	0.96%		Error peso tamizado =	0.04%

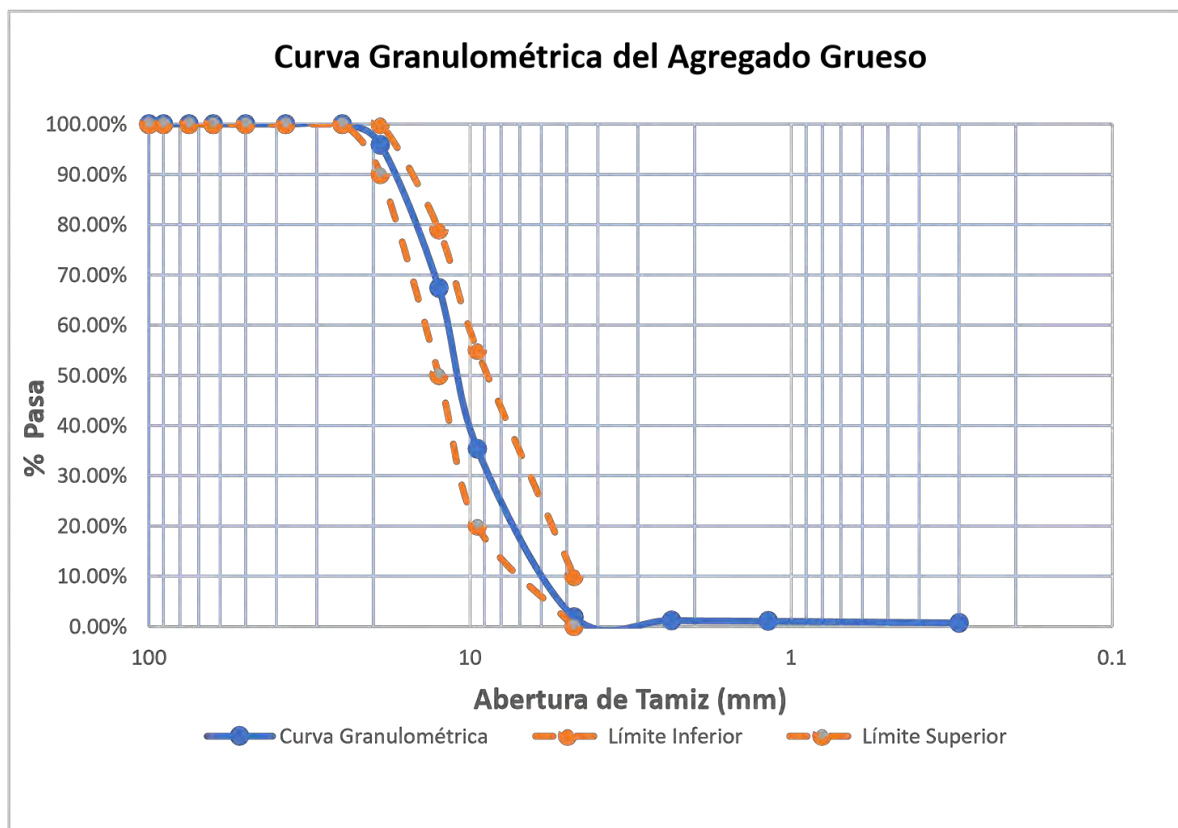
Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido (gr)	%	%	% Pasa	Huso 67	
							Límite Inferior	Límite Superior
4"	100	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
3 1/2"	90	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
3"	75	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
2 1/2"	63	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
2"	50	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
1 1/2"	37.5	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
1"	25	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
3/4"	19	115.60	115.77	4.11%	4.11%	95.89%	100%	90%
1/2"	12.5	802.90	803.07	28.50%	32.61%	67.39%	79%	50%
3/8"	9.5	901.70	901.87	32.01%	64.62%	35.38%	55%	20%
N° 4	4.75	944.70	944.87	33.53%	98.15%	1.85%	10%	0%
N° 8	2.36	17.70	17.87	0.63%	98.79%	1.21%		
N° 16	1.18	3.40	3.57	0.13%	98.91%	1.09%		
N° 50	0.3	10.20	10.37	0.37%	99.28%	0.72%		
Bandeja		20.20	20.20	0.72%	100.00%			
Σ=		2816.40	2817.60	100.00%				

N° mallas retienen= 7

Corrección (gr) = 0.17

Módulo de Fineza = 6.62

6<MF<8





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL
CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS: "INFLUENCIA DEL BIOREPARADOR *Priestia megaterium* EN LA
RESISTENCIA A FLEXIÓN Y PERMEABILIDAD DEL CONCRETO
FISURADO EN OBRAS HIDRÁULICAS, CUSCO - 2024"**

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO

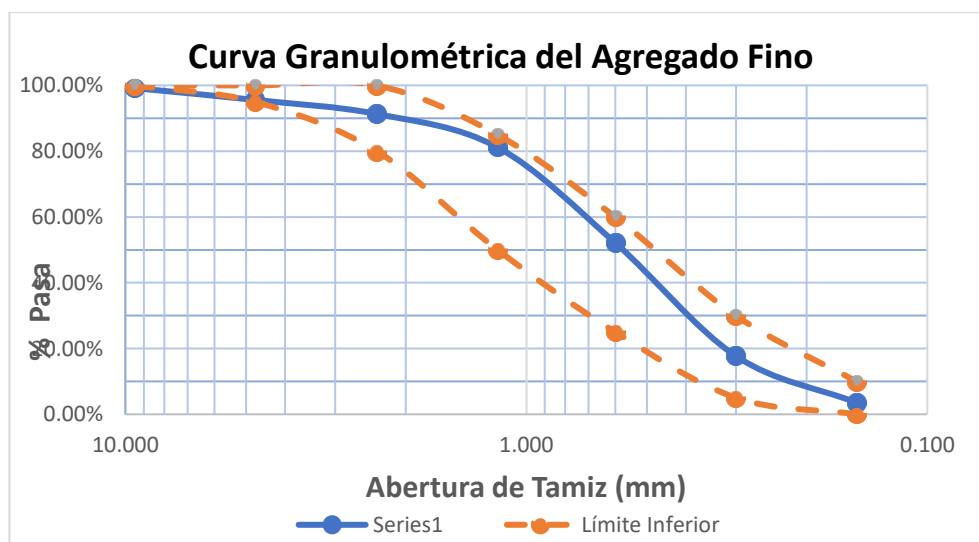
Peso muestra seca (gr) =	1872.10		Peso muestra postamizado (gr) =	1820.50
Peso muestra seca lavada (gr) =	1820.50		Error Peso M. postamizado (gr) =	0.00
% Material fino pasa N° 200 =	2.76%		Error peso tamizado =	0.00%

Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa	Huso (NTP 400.037)	
						Límite Inferior	Límite Superior
3/8"	9.500	14.00	0.77%	0.77%	99.23%	100%	100%
N° 4	4.750	65.70	3.61%	4.38%	95.62%	95%	100%
N° 8	2.360	77.80	4.27%	8.65%	91.35%	80%	100%
N° 16	1.180	184.30	10.12%	18.78%	81.22%	50%	85%
N° 30	0.600	529.10	29.06%	47.84%	52.16%	25%	60%
N° 50	0.300	627.00	34.44%	82.28%	17.72%	5%	30%
N° 100	0.150	258.10	14.18%	96.46%	3.54%	0%	10%
N° 200	0.075	62.80	3.45%	99.91%	0.09%		
Bandeja		1.70	0.09%	100.00%	0.00%		
Σ=		1820.50	100.00%				

N° mallas retienen = 8

Corrección = 0.00

Módulo de Fineza = 2.58 2.3 < MF < 3.1



ANEXO A2: FORMATOS PARA ENSAYOS DE AGREGADOS



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "INFLUENCIA DEL BIOREPARADOR *Priestia megaterium* EN LA
RESISTENCIA A FLEXIÓN Y PERMEABILIDAD DEL CONCRETO
FISURADO EN OBRAS HIDRÁULICAS, CUSCO - 2024"

PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

Descripción	M1	M2
Volumen frasco (ml)	500	500
Peso del frasco seco y limpio (gr)	454.87	454.87
Nº mallas retienen=	1257.1	1301.8
Peso de la arena en condición SSS (gr)	500	500
Peso del frasco + arena + agua (gr)	1569.1	1613
Peso seco de la arena (gr)	491.3	491.4
GE (gravedad específica) gr/cm3	2.613	2.603
GE (gravedad específica) Promedio gr/cm3	2.608	
GEss (gravedad específica SSS) gr/cm3	2.660	2.648
GEss (gravedad específica SSS) Promedio gr/cm3	2.65394	
GEa (gravedad específica aparente) gr/cm3	2.740	2.727
GEa (gravedad específica aparente) Promedio gr/cm3	2.73354	
Porcentaje de absorción (%)	1.77%	1.75%
Porcentaje de absorción Promedio (%)	1.76%	



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "INFLUENCIA DEL BIOREPARADOR *Priestia megaterium* EN LA
RESISTENCIA A FLEXIÓN Y PERMEABILIDAD DEL CONCRETO
FISURADO EN OBRAS HIDRÁULICAS, CUSCO - 2024"

PESO UNITARIO AGREGADO GRUESO

Descripción	M-01	M-02
Volumen molde H= 16.7 cm, D=15.26 cm (m³)	0.003054326	0.00305433
Peso del molde (Kg)	7246	7246
Peso del agregado suelto + molde (Kg)	11305	11316
Peso del agregado suelto (Kg)	4059	4070
Peso volumétrico seco suelto (Kg/m³)	1328.935	1332.536
Peso volumétrico seco suelto promedio (Kg/m³)	1330.74	
Peso del molde (Kg)	7246	7246
Peso del agregado compactado + molde (Kg)	12009	11971
Peso del agregado Compactado (Kg)	4763	4725
Peso volumétrico seco varillado (Kg/m³)	1559.427404	1546.98603
Peso volumétrico seco varillado promedio (Kg/m³)	1553.21	





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**TESIS: "INFLUENCIA DEL BIOREPARADOR *Priestia megaterium* EN LA
 RESISTENCIA A FLEXIÓN Y PERMEABILIDAD DEL CONCRETO
 FISURADO EN OBRAS HIDRÁULICAS, CUSCO - 2024"**



PESO UNITARIO AGREGADO FINO

Descripción	M-01	M-02
Volumen molde H= 16.7 cm, D=15.26 cm (m³)	0.003054326	0.00305433
Peso del molde (Kg)	7246	7246
Peso del agregado suelto + molde (Kg)	11780	11765
Peso del agregado suelto (Kg)	4534	4519
Peso volumétrico seco suelto (Kg/m³)	1484.45	1479.54
Peso volumétrico seco suelto promedio (Kg/m³)	1482.00	
Peso del molde (Kg)	7246	7246
Peso del agregado compactado + molde (Kg)	12492	12549
Peso del agregado Compactado (Kg)	5246	5303
Peso volumétrico seco varillado (Kg/m³)	1717.56	1736.23
Peso volumétrico seco varillado promedio (Kg/m³)	1726.89	

CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO FINO

Descripción	M-01	M-02	M-03
Peso capsula	40.49	40.59	39.73
Peso capsula + material húmedo	117.46	123.49	102.44
Peso capsula + material seco	111.4	116.5	97.4
Peso del agua	6.06	6.99	5.04
Peso del suelo seco	70.91	75.91	57.67
Contenido de humedad (%)	8.55	9.21	8.74
Contenido de humedad promedio (%)	8.83		

CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO GRUESO

Descripción	M-01	M-02	M-03
Peso capsula	22.63	23.42	22.03
Peso capsula + material húmedo	166.27	178.46	161.44
Peso capsula + material seco	164.2	176.4	159.8
Peso del agua	2.07	2.06	1.64
Peso del suelo seco	141.57	152.98	137.77
Contenido de humedad (%)	1.46	1.35	1.19
Contenido de humedad promedio (%)	1.33		



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS: "INFLUENCIA DEL BIOREPARADOR *Priestia megaterium* EN LA RESISTENCIA A FLEXIÓN Y PERMEABILIDAD DEL CONCRETO FISURADO EN OBRAS HIDRÁULICAS, CUSCO - 2024"

DISEÑO DE MEZCLA PARA CONCRETO

1. Condiciones de Diseño

Resistencia y Asentamiento		Aditivos	
$f'c$ (kg/cm ²) =	280	Incorporado de aire:	NO
Slump:	4"	Plastificante:	NO

2. Características de los Materiales

2.1 Cemento:

Marca y Tipo: Yura Tipo HS

Peso Específico(kg/m³) = 2750

Peso Volumetrico (kg/m³) = 1500

2.2 Agua: Agua potable de la red publica

2.3 Agregados

	Agregado Fino	Agregado Grueso	Unidad
Tamaño máximo nominal	-	3/4"	"
Módulo de fineza	2.58	6.62	
Peso unitario suelto	1482.00	1330.74	kg/m ³
Peso unitario compacto	1726.89	1553.21	kg/m ³
Peso específico	2608	2597	kg/m ³
% Absorción	1.76	1.93	%
% Humedad	0.59	0.39	%

3. Resistencia de diseño

$$f'c < 210 \text{ kg/cm}^2 \quad f'cr = f'c + 70 \text{ kg/cm}^2$$

$$210 \text{ kg/cm}^2 \leq f'c \leq 350 \text{ kg/cm}^2 \quad f'cr = f'c + 84 \text{ kg/cm}^2$$

$$350 \text{ kg/cm}^2 < f'c \quad f'cr = f'c + 98 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Para } f'c &= 280 && \text{kg/cm}^2 \\ f'cr &= \mathbf{364} && \text{kg/cm}^2 \end{aligned}$$

4. Contenido de Aire Atrapado

$$\text{Aire atrapado} = 2.0\%$$

5. Volumen de Agua

$$\text{Tamaño máximo nominal} = 3/4"$$

$$\text{Asentamiento} = 4"$$

$$A (\text{Agua}) = \mathbf{220} \quad \text{lt/m}^3$$

6. Relación A/C

$$A/C = 0.42$$

7. Contenido de Cemento

$$C (\text{Cemento}) = 523.810 \quad \text{kg}$$

Factor cemento = 12.32 bol/m³

8. Peso del Agregado

Grueso

Tamaño máximo nominal: 3/4"
 Módulo de fineza: 2.58
 b/b₀: 0.642
 Peso unitario compacto: 1553.21 kg/m³
Peso A. grueso = 997.16 kg

9. Volumen Absoluto de los Componentes

Materiales	Peso (kg)	PE (kg/m³)	Vol. Absoluto (m³)
Cemento	523.81	2750	0.1905
Agua	220	1000	0.2200
Aire	2%	-	0.0200
A. Grueso	997.16	2597	0.3840
A. Fino		2608	0.1856

10. Peso de Agregado Fino

Peso A. fino (kg) = 483.93

11. Proporcionamiento de los Materiales en Estado Seco

Materiales	Peso (kg)
Cemento	523.81
Agua	220.00
A. Grueso	997.16
A. Fino	483.93

12. Peso del Agregado Fino Corregido por Humedad

Materiales	% Humedad	Peso (kg)
A. Grueso	0.39	1001.050
A. Fino	0.59	486.788

13. Aporte de Agua a la Mezcla

Materiales	% Humedad	% Absorción	Aporte agua (lt)
A. Grueso	0.39	1.93	-15.416
A. Fino	0.59	1.76	-5.695

14. Agua Efectiva

Agua = 220 lt
 Agua agregados = -21.112 lt
Agua efectiva = 241.112 lt

15. Pesos Corregidos - Proporcionamiento del Diseño

Materiales	Pesos (kg/m³)
Cemento	523.81
A. Grueso	1001.050
A. Fino	486.788
Agua	241.112

16. Proporción en Peso

Cemento	A. Fino	A. Grueso	Agua
1 kg	0.93 kg	1.91 kg	19.56t

17. Proporción en Peso por bolsa de cemento

Cemento	A. Fino	A. Grueso	Agua
1 bolsa	39.50 kg	81.22 kg	831.42t

18. Proporción en Peso por tandas de metro cúbico de concreto

Cemento	A. Fino	A. Grueso	Agua
12.32 bolsas	486.79 kg	1001.05 g	241.11t

19. Materiales por metro cúbico

Materiales	Pesos corregidos(kg)	Peso unitario (kg/m³)	Volumen (m³)
Cemento	523.81	1500	0.3492
Agua	241.11	1000	0.2411
A. Grueso	1001.05	1330.74	0.7523
A. Fino	486.79	1481.996251	0.3285

20. Proporción en volumen

Cemento	A. Fino	A. Grueso	Agua
1 m³	0.94 m³	2.15 m³	19.56 lt

ANEXO A3: FORMATOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXIÓN



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "INFLUENCIA DEL BIOREPARADOR *Priestia megaterium* EN LA
RESISTENCIA A FLEXIÓN Y PERMEABILIDAD DEL CONCRETO
FISURADO EN OBRAS HIDRÁULICAS, CUSCO - 2024"



ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXIÓN

Dimensiones de la viga 15 x 15 x 60 cm

Caso	A1	A2	A3	H1	H2	H3	Altura	L2	L3	Longitud
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
VF-1	15	15.1	15.2	15.2	15.3	15.3	15.27	60	60	59.93
VF-2	15	15	15	15	15.1	15.1	15.07	60	60	60.00
VF-3	15	15	15	15	15.1	15.1	15.07	60.00	60	60.00
VF-4	15.1	15.1	15.1	14.9	15	15	14.97	60	60	60.03
VF-5	15	15	15	15	15	15	15.00	59.8	59.8	59.83
VF-6	15	15	15	15.1	15	15.1	15.07	59.8	59.8	59.80

Resistencia a flexión antes de aplicar bioreparador

Caso	B	H	L	Carga		Módulo de rotura	
	(cm)	(cm)	(cm)	(Kg)	(N)	(Kg/cm2)	(Mpa)
VF-1	15.10	15.27	45	2433.5	23872.9	31.12	32.24
VF-2	15.00	15.07	45	2451.7	24050.9	32.40	
VF-3	15.00	15.07	45	2512.4	24647.1	33.2	
VF-4	15.10	14.97	45	2617.2	25675	34.82	31.97
VF-5	15.00	15.00	45	2267.1	22239.8	30.23	
VF-6	15.00	15.07	45	2334.2	22898.4	30.85	

Muestras con la aplicación de bioreparador

Caso	B	H	L	Carga		Módulo de rotura			Fisura	Reparación	
	(cm)	(cm)	(cm)	(Kg)	(N)	(Kg/cm2)		(Mpa)	%		(mm)
VF-1	15.10	15.27	45	124.74	1223.68	1.59	0.86	0.08	2.67	0.6	Parcial
VF-2	15.00	15.07	45	25.5	250.155	0.34				0.8	Parcial
VF-3	15.00	15.07	45	49	480.69	0.65				0.5	Parcial

Muestras sin la aplicación de bioreparador

Caso	B	H	L	Carga		Módulo de rotura			Fisura	Reparación	
	(cm)	(cm)	(cm)	(Kg)	(N)	(Kg/cm2)	(Mpa)	%	(mm)		
VF-4	15.10	14.97	45	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.8	Nula
VF-5	15.00	15.00	45	0	0	0.00				2	Nula
VF-6	15.00	15.07	45	0	0	0.00				1	Nula

ANEXO A4: FORMATO DE LA PRUEBA DE PERMEABILIDAD



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS: "INFLUENCIA DEL BIOREPARADOR *Priestia megaterium* EN LA RESISTENCIA A FLEXIÓN Y PERMEABILIDAD DEL CONCRETO FISURADO EN OBRAS HIDRÁULICAS, CUSCO - 2024"

PRUEBA DE PERMEABILIDAD

Dimensiones de la viga 10 x 10 x 34 cm

Caso	A1 (cm)	A2 (cm)	A3 (cm)	Ancho (cm)	H1 (cm)	H2 (cm)	H3 (cm)	Altura (cm)	L1 (cm)	L2 (cm)	L3 (cm)	Longitud (cm)
VBP-1	10	10	10.1	10.07	10	10	10	10.00	34	34	34	34.00
VBP-2	9.9	10	10	9.97	10.1	10	10	10.03	33.9	34	33.9	33.93
VBP-3	10	10	10.1	10.07	10	10	10	10.00	34.10	34.10	34.1	34.10
VBP-4	10	10	10.2	10.10	10	10.1	10	10.03	33.9	33.9	34	33.93
VBP-5	10.1	10	10	10.07	10	10.1	10	10.03	34	34	34	34.00
VBP-6	10	10	9.9	9.97	10	10	9.9	9.97	34	34	34	34.00

Permeabilidad antes de aplicar bioreparador

Caso	B (cm)	H (cm)	L (cm)	Edad (Días)	Volumen Parcial (ml)			Volumen (ml)	Tiempo (seg)	Permeabilidad (ml/seg)		Fisura (mm)
					V1	V2	V3					
VBP-1	10	10	34	28	1680	1843	1906	1809.67	600	3.02	1.51	0.5
VBP-2	10	10	34	28	268	276	284	276.00	600	0.46		0.3
VBP-3	10	10	34	28	615	685	590	630.00	600	1.05		0.6
VBP-4	10	10	34	28	2247	2543	2200	2330.00	600	3.88	5.03	0.7
VBP-5	10	10	34	28	3028	2900	2779	2902.33	600	4.84		0.8
VBP-6	10	10	34	28	3530	4175	3736	3813.67	600	6.36		0.7

Permeabilidad posterior de ser sumergidas en solución bioreparadora

Caso	B (cm)	H (cm)	L (cm)	Edad (Días)	Volumen Parcial (ml)			Volumen (ml)	Tiempo (seg)	Permeabilidad (ml/seg)		%	Fisura (mm)	Reparación
					V1	V2	V3							
VBP-1	10	10	34	56	795	795.00	795.00	795.00	600	1.33	0.45	70.2	0.5	Parcial
VBP-2	10	10	34	56	5.00	5.00	5.00	5.00	600	0.01			0.3	Parcial
VBP-3	10	10	34	56	0	0	0	0.00	600	0			0.6	Parcial

Permeabilidad de muestras sin aplicación de bioreparador

Caso	B (cm)	H (cm)	L (cm)	Edad (Días)	Volumen Parcial (ml)			Volumen (ml)	Tiempo (seg)	Permeabilidad (ml/seg)		%	Fisura (mm)	Reparación
					V1	V2	V3							
VBP-4	10	10	34	56	2185.00	2600.00	2141.00	2308.67	600	3.85	4.99	0.80	0.7	Nula
VBP-5	10	10	34	56	2985.00	2960.00	2731.00	2892.00	600	4.82			0.8	Nula
VBP-6	10	10	34	56	3456.00	3902.00	3995.00	3784.33	600	6.31			0.7	Nula

ANEXO B: MATRIZ DE OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADOR
Variable X: Bioreparador <i>Priestia megaterium</i>	Es una combinación de dos soluciones que integran esporas de bacterias, las cuales inducen la precipitación de carbonato de calcio (Mendoza & Sánchez, 2017).	Determinación de la concentración de esporas de <i>Priestia megaterium</i> presentes en la solución bioreparadora mediante lectura en espectrofotómetro.	Bacterias <i>Priestia megaterium</i>	Esporas de <i>Priestia megaterium</i> (esporas/L)
Variable Y1: Resistencia a flexión	Es la capacidad para resistir esfuerzos de flexión, que generan tracción en un lado del eje neutro y compresión en el lado opuesto, actuando como componentes normales. Su función es resistir el momento flector (Nilson & Darwin, 1997).	Medición mediante el ensayo de resistencia a flexión según la norma correspondiente en muestras de concreto simple con cargas a los tercios de la luz.	Resistencia a flexión del concreto fisurado	Módulo de rotura (Mpa)
Variable Y2: Permeabilidad	Paso de agua que pasa a través del concreto cuando está sometido bajo presión o la capacidad para resistir la penetración del agua o alguna sustancia ya sea líquido, gases o iones (Kosmatka et al., 2004).	Medición mediante la prueba de permeabilidad de muestras de concreto simple que presenta un orificio circular en la sección transversal a lo largo de toda su longitud.	Permeabilidad del concreto fisurado	Filtración (mL/seg)

Nota: Fuente: elaboración propia

ANEXO D: CERTIFICADOS**ANEXO D1: CERTIFICADO DE USO DE LABORATORIO FIC-UNSAAC**

"AÑO DE LA ESPERANZA Y EL FORTALECIMIENTO DE LA DEMOCRACIA"
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**CERTIFICADO N° 0001 - USO DE LABORATORIO DE
MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES PARA TESIS DE
INVESTIGACIÓN**

EL QUE SUSCRIBE JEFE DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL.

HACE CONSTAR:

Que los tesisistas: conductores a la obtención del título profesional de Ingeniero Civil: Bach. KARIN LIDIA PUMASUPA HUAYANA y Bach. DENIS MORALES HUAMAN, hizo uso del laboratorio para ejecución de la tesis de investigación: "INFLUENCIA DEL BIOREPARADOR *Priestia megaterium* EN LA RESISTENCIA A FLEXIÓN Y PERMEABILIDAD DEL CONCRETO FISURADO EN OBRAS HIDRÁULICAS, CUSCO - 2024".

Los ensayos que realizaron son los siguientes:

Nro.	ENSAYO	NORMA	CANTIDAD
01	Contenido de humedad del agregado fino y grueso	NTP 339.185	02
02	Granulometría y caracterización de los agregados	NTP 400.012	01
03	Determinación de peso unitario del agregado grueso	NTP 400.017	02
04	Peso específico de agregado grueso	NTP 400.021	02
05	Peso específico de agregado fino	NTP 400.022	02
06	Disco de mezclas	ACI 211.1	01
07	Ensayo de compresión de probetas de concreto	NTP 339.034	06
08	Método de ensayo para determinar la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo	NTP 339.078	12

Se le expide la presente constancia a solicitud escrita por los interesados; con fines académicos para la tesis de investigación.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
Facultad de Ingeniería Civil
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

Cusco, 27 de abril del 2026


Ing. Luz Marlene Nieto Palomares
Jefe de Laboratorio



ANEXO D2: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN



TEST & CONTROL

*Laboratorio de calibración con sistema de gestión
que cumple los requisitos de la ISO/IEC 17025:2017*

Certificado de Calibración

TC-22276-2025



Proforma : 08963

Solicitante : FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

Dirección : AV. DE LA CULTURA, NRO. 733, CUSCO - PERÚ

Fecha de emisión: 2025-09-08

Instrumento de medición : MAQUINA COMPRESORA DE CONCRETO

Marca : ELE INTERNATIONAL

Modelo : 36-3088/06

N° de Serie : 1886-1-3514

Intervalo de Indicación : 0 kN a 2224 kN

Resolución : 0,1 kN

Identificación : NO INDICA

Clase de Exactitud : 1

Ubicación : Laboratorio de mecánica de suelos

Fecha de Calibración : 2025-09-01

TEST & CONTROL S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipos de medición basado a la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

TEST & CONTROL S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad, garantizando la satisfacción de nuestros clientes.

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

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.

Los resultados son válidos solamente para el ítem sometido a calibración, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Lugar de calibración
Instalaciones de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Método de calibración
Segun la norma UNE-EN ISO 7500-1 2018 "Materiales metálicos Calibración y verificación de máquinas de ensayos uniaxiales estáticos. Parte 1: Máquinas de ensayo de tracción/compresión. Calibración y verificación del sistema de medida de fuerza".

TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.

El presente documento carece de valor sin firma y sello.



Lic. Nicolás Ramos Paucar
Gerente Técnico
CFP: 0316

PGC-16-r41 / enero 2024 / Rev. 03

Página : 1 de 3

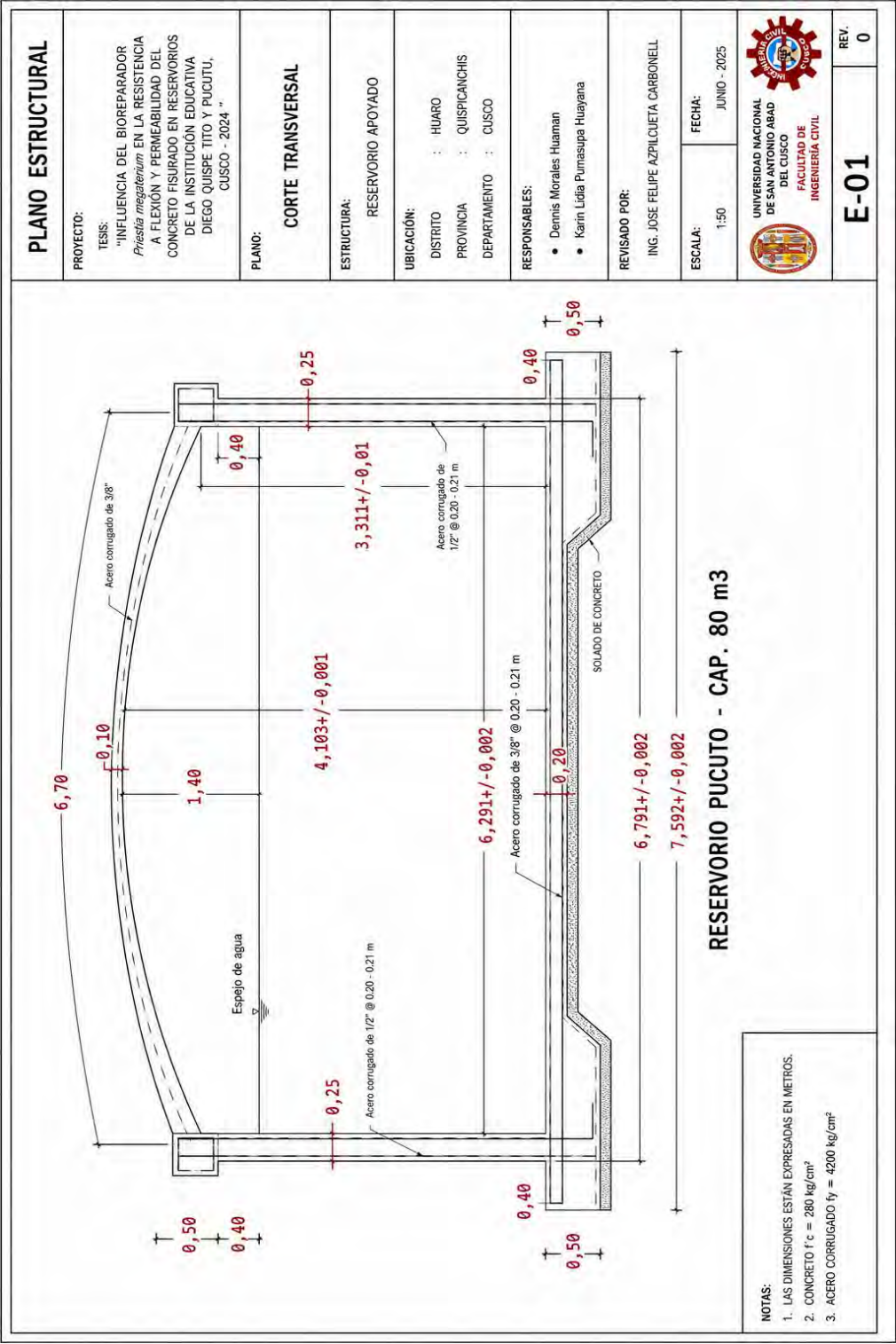


Av. Simón Bolívar 1619 Pueblo Libre - Lima ☎ 990089889 ✉ informes@testcontrol.com.pe

Empresa con responsabilidad social, que acerca la ciencia a los que comparten nuestra pasión por la metrología.

ANEXO E: PLANOS DE LOS RESERVORIOS EXPLORADOS

ANEXO E1: PLANO DEL REVERSORIO PUCUTO



PATOLOGIA ESTRUCTURAL		Registro de la patología estructural del reservorio.		PROYECTO:		TESIS: "INFLUENCIA DEL BIOREPARADOR <i>Priestia megaterium</i> EN LA RESISTENCIA A FLEXIÓN Y PERMEABILIDAD DEL CONCRETO FISURADO EN RESERVORIOS DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA DIEGO QUISPE TITO Y PUCUTU, CUSCO - 2024 "		ESTRUCTURA:		RESERVORIO APOYADO		UBICACIÓN:		DISTRITO : HUARO PROVINCIA : QUISPICANCHIS DEPARTAMENTO : CUSCO		RESPONSABLES: - Dennis Morales Huaman - Karin Lidia Pumasupa Huayana		REVISADO POR:		ING. JOSE FELIPE AZPILCUETA CARBONELL		ESCALA:		S/E		FECHA:		JUNIO - 2025		 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL 		REV.		0	
A-01																																			

acceso

Ø, 55

1, 60m

fisuras verticales ancho promedio 1,5 mm

Ø, 60m

Ø, 50m

1, 54m

fisuras horizontales ancho promedio 2 mm

19, 76m

3, 31m

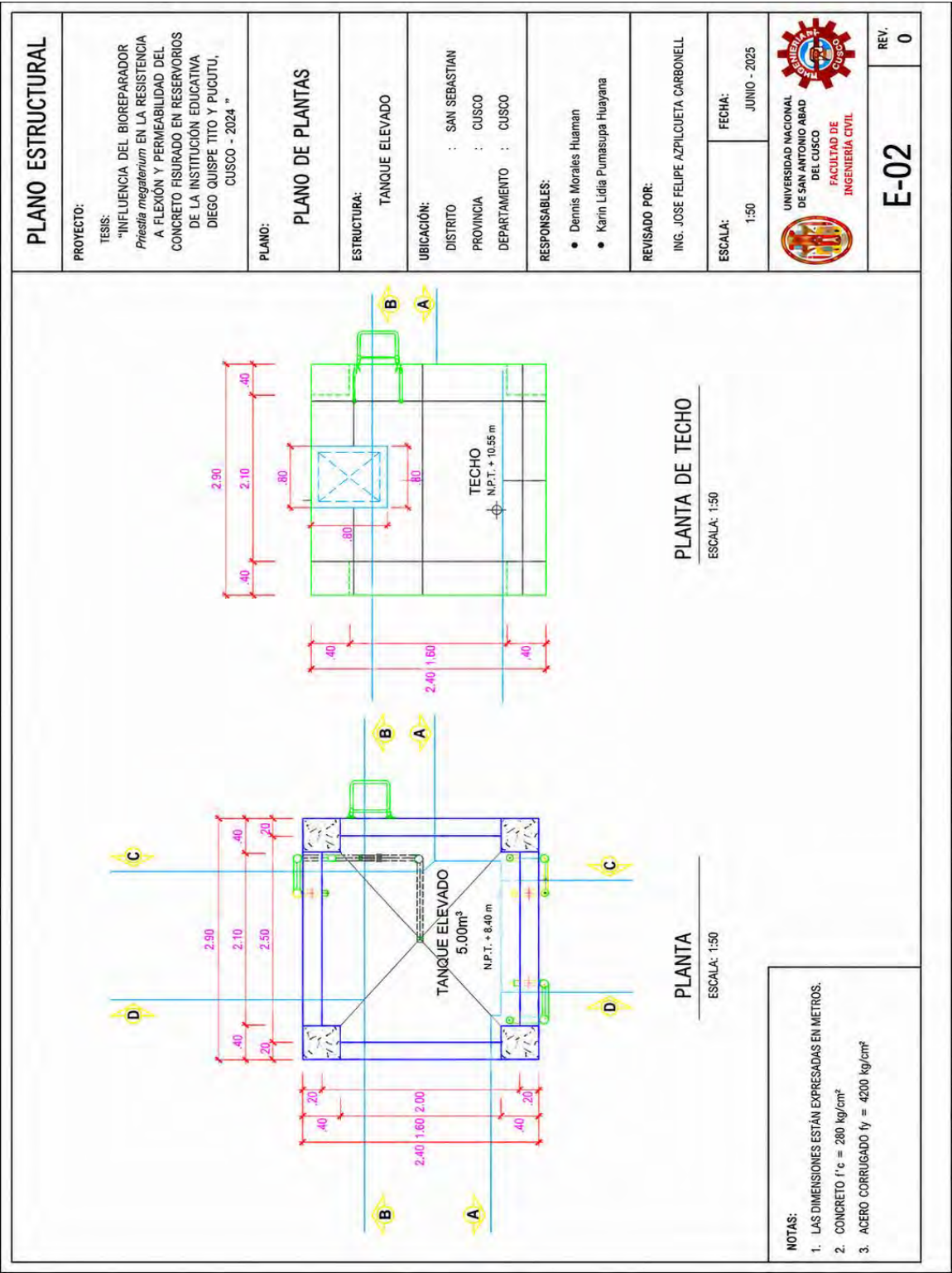
1, 30m

fisuras verticales ancho promedio 1,5 mm

PROYECCION DEL PERIMETRO DEL MURO CIRCULAR INTERIOR RESERVORIO PUCUTO

PATOLOGIA ESTRUCTURAL

ANEXO E2: PLANO DEL RESERVORIO DE LA I.E. DIEGO QUISPE TITO



ANEXO F: REGISTRO FOTOGRÁFICO



Ensayo de granulometría de los agregados fino y grueso, Método de selección de muestra por cuarteo



Medición de asentamiento en cono de Abrams y elaboración de probetas para control de calidad y verificación de la resistencia de diseño



Rotura mediante el ensayo de compresión de probetas



Preparación de medio de cultivo líquido (Caldo BHI) y esterilización del medio de cultivo en autoclave



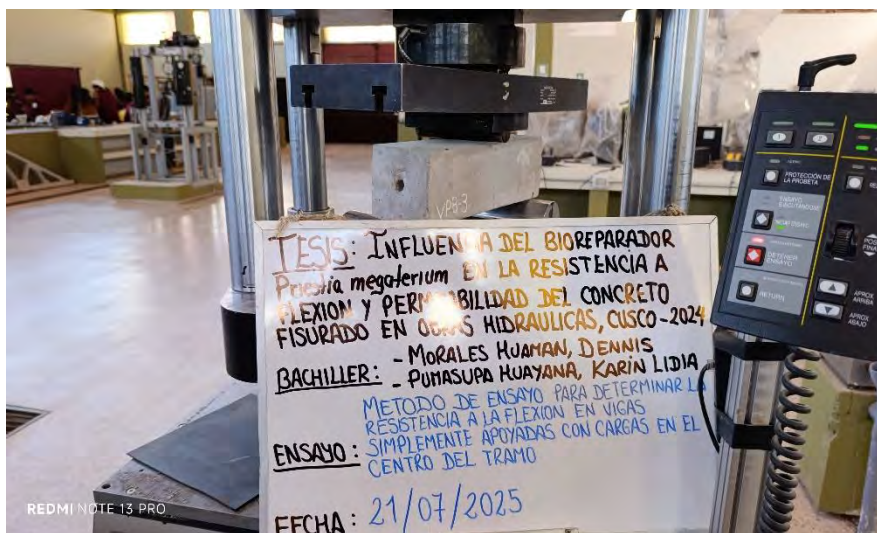
Siembra en Placas Petri



Crecimiento en masa de bacterias en medio de cultivo líquido Agar BHI



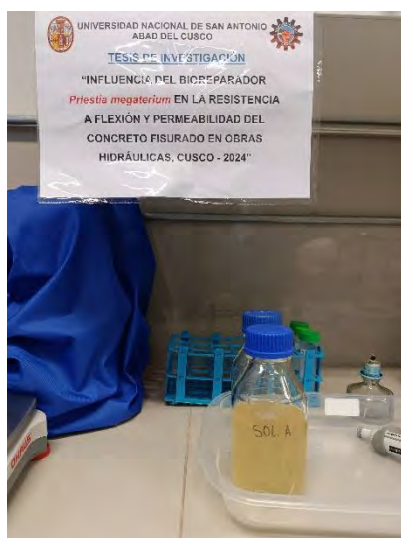
Decantación por centrifugado de esporas bacterianas de las bacterias



Ensayo a flexión de vigas 15x15x60 cm y prismas de concreto simple de 10x10x34cm en la maquina universal.



Prueba de permeabilidad y registro de datos de prismas de concreto de 10x10x34cm



Preparación de la solución A y solución B, componentes de la solución bioreparadora en el laboratorio de microbiología



Aplicación mediante inmersión en la solución bioreparadora a vigas y prismas de concreto simple de 15x15x60cm y 10x10x34cm respectivamente



Prueba de efervescencia con ácido clorhídrico diluido para verificar la presencia de carbonato de calcio.