

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



Tesis:

Análisis de la resistencia a la compresión de un concreto fisurado, utilizando la bacteria PAENIBACILLUS POLYMYXA como bioreparador por el método de inyección, Cusco - 2024

Asesor:

Mg. Ing. Mendoza Nina, Renato Héctor

Autores:

Davila Ardiles, Daivid

Quispe Tito, Carlos Enrique

Para optar al Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Cusco- Cusco- Perú

2025



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Acta N°: 007

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Cusco, a los 07 días del mes de Agosto del 2025, siendo las 11:00 am horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Sub Directoral N° 266-2025-UTEA-FC-FI-EPIC de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Mg. Laime Calvo Edixon
Dictaminante:	Mg. Flores Condori Jessica
Replicante :	Mg. Chávarry Morvelí Daniel

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Análisis de la resistencia a la compresión de un concreto fisurado, utilizando la bacteria PAENIBACILLUS POLYMYXA como bioreparador por el método de inyección, Cusco - 2024

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br.: Quispe Ttito Carlos Enrique
(Apellidos y Nombres)

Br.: Davila Ardiles Daivid
(Apellidos y Nombres)

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

(Denominación del Título)

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO (S):

Por: Unanimidad
(Unanimidad o Mayoría) (*)

Emitiéndose el calificativo final de:

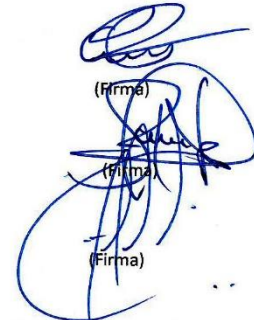
Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Br. Quispe Ttito Carlos Enrique	Aprobado Notable
Br. Davila Ardiles Daivid	Aprobado Notable

Siendo las 12:45 p.m horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Mg. Laime Calvo Edixon
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

Dictaminante: Mg. Flores Condori Jessica
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

Replicante: Mg. Chávarry Morvelí Daniel
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)



(Firma)
(Firma)
(Firma)

(*) **Mayoría:** Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; **Unanimidad:** Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art. 18 RGGAT.

(**): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

Análisis de la resistencia a la compresión de un concreto fisurado, utilizando la bacteria PAENIBACILLUS POLYMYXA como bioreparador por el método de inyección, Cusco - 2024.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	7 %
2	Submitted to Universidad Tecnologica de los Andes Trabajo del estudiante	5 %
3	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	3 %
4	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	2 %
5	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	<1 %
6	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
7	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
8	core.ac.uk Fuente de Internet	<1 %
9	repositorio.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
10	repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	repositorio.uap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
12	Submitted to uncedu Trabajo del estudiante	<1 %
13	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

Submitted to unhuancavelica

Metadatos

Datos del Autor	
Apellidos y nombres	: Davila Ardiles, Daivid
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de Identidad	: 76865284
URL ORCID	: https://orcid.org/0009-0001-0124-9276
Apellidos y nombres	: Quispe Ttito, Carlos Enrique
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de Identidad	: 46805672
URL ORCID	: https://orcid.org/0009-0001-3431-3019
Datos del Asesor	
Apellidos y nombres	: Mg. Ing. Mendoza Nina, Renato Héctor
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de Identidad	: 44159849
URL ORCID	: https://orcid.org/0000-0002-2454-354X
Datos de la investigación	
Facultad	: Ingeniería
Escuela Profesional	: Ingeniería Civil
Línea de Investigación	: Gestión de la Infraestructura para el Desarrollo Sostenible
Rango de años en que se realizó la investigación	: Agosto 2024 – julio 2025
Fuente de financiamiento	: Autofinanciado
Porcentaje de similitud	: 21 %
URL de OCDE	: https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01

Dedicatoria

Dedico este logro a Dios, cuyo amor y guía divina iluminaron mi camino, haciendo posible este sueño. Mi gratitud eterna a mis abuelos Pascual y Salome, y a mi madre Lady Katharine, cimientos de mi fortaleza. A mis tíos Edgar, Cristhiam, Karen y Clebert, por su apoyo inquebrantable y decisivo durante los desafíos de mi formación. A mis amigos, almas compañeras de cada batalla, testigos de mis victorias y derrotas, gracias por ser la esencia que hace cada alegría más intensa y cada triunfo más dulce. Sin el respaldo de todos, este logro hubiera permanecido como un anhelo distante.

Daivid Davila Ardiles

A Dios, por darme la vida, sabiduría e inteligencia. Dedico esta tesis a mis padres, Rufino y Timote, por su amor incondicional, apoyo y sacrificios; a mis hermanos, Jorge Ronaldo, Lenin Diego, Yesica, Rodolfo y a mi hijo Ricardo Javier, por ser pilares fundamentales; a mis amigos y compañeros, por su motivación en momentos desafiantes; a mi amiga Katoska y a todos quienes contribuyeron a mi formación. Agradezco a cada persona que dejó una huella en mi camino, haciendo posible este logro académico y personal. Gracias por ser parte de este capítulo de mi vida.

Carlos Enrique Quispe Ttito

Agradecimiento

Agradecemos a Dios, nuestra guía constante, por el amor incondicional que nos brinda, por el regalo de la vida, por bendecirnos a nosotros y a nuestra familia, y por las valiosas lecciones que aprendemos día a día bajo Su sabio cuidado.

En primer lugar, expresamos nuestra más sincera gratitud al asesor de tesis, Renato Héctor Mendoza Nina, y a los ingenieros Ivan Luis Alarcón Manini y Juan Pedro Luciano Cortez Vargas, cuya mentoría excepcional ha sido el pilar sobre el que se ha edificado este trabajo. Su sabio orientación, incondicional apoyo y confianza depositada en nosotros han sido fundamentales para superar nuestros límites y alcanzar nuestros objetivos.

Agradecemos a nuestros profesores y mentores de la Universidad, quienes nos han brindado su sabiduría y han inspirado nuestra pasión por la carrera de ing. Civil. Sus enseñanzas y consejos han sido una guía constante en nuestra formación académica y personal.

A nuestros compañeros de estudio, gracias por su apoyo incondicional y por compartir este viaje académico. Los momentos de colaboración y camaradería han hecho de esta experiencia algo inolvidable.

Carlos Enrique Quispe Ttito

Daivid Davila Ardiles

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo determinar si el bio reparador a base de bacterias sella las fisuras del concreto aumentando su resistencia a la compresión, tanto con el nitrato de calcio y lactato de calcio, curadas con la misma solución y curadas con agua, todo esto por el método de inyección.

El tipo de investigación es cuantitativa, con un diseño experimental y descriptivo. La metodología consistió en la elaboración de soluciones de bio reparación dividida en dos grupos tanto el nitrato de calcio y lactato de calcio, esto con la finalidad de poder sellar las fisuras, primero en discos de concreto sobresaliendo los curados con lactato de calcio con un 88.59% de sellado en comparación a los 62.57% del nitrato de calcio, posteriormente en los testigos de concreto, para poder mejorar su resistencia inicial tratándolas con las soluciones en sus periodos de curación de 37,44,51 y 58 días para evaluar su desempeño.

Los resultados demostraron que a los 58 días el lactato de calcio curado con la misma solución lactato de calcio tiene mayor eficiencia a la hora de sellar con un 94.24%, obteniendo una resistencia final después del tratamiento de 263.10kg/cm² en comparación al nitrato de calcio que alcanzó un porcentaje de sellado de 84.47% y una resistencia final de 250.81%.

En general comparando ambas soluciones el lactato de calcio es más eficaz a la hora de sellar las fisuras en el concreto.

Palabras clave: Bio concreto, concreto fisurado, bacteria *Paenibacillus polymyxa*, método de inyección, bio reparador.

Abstract

The objective of this research is to determine whether the bacteria-based bio-repair agent seals cracks in concrete, increasing its compressive strength, both with calcium nitrate and calcium lactate, cured with the same solution and cured with water, all using the injection method.

The type of research was quantitative, with an experimental and descriptive design. The methodology consisted of preparing bio-repair solutions divided into two groups, calcium nitrate and calcium lactate, with the aim of sealing the cracks, first in concrete discs, with those cured with calcium lactate achieving 88.59% sealing compared to 62.57% for calcium nitrate, Subsequently, in the concrete samples, in order to improve their initial strength by treating them with the solutions during their curing periods of 37, 44, 51, and 58 days to evaluate their performance.

The results showed that after 58 days, calcium lactate cured with the same calcium lactate solution was more effective at sealing, with 94.24%, achieving a final strength after treatment of 263.10 kg/cm² compared to calcium nitrate, which achieved a sealing percentage of 84.47% and a final resistance of 250.81%.

In general, when comparing both solutions, calcium lactate is more effective at sealing cracks in concrete.

Keywords: Bio concrete, cracked concrete, *Paenibacillus polymyxa* bacteria, injection method, bio repair.

Índice

Portada	i
Acta de sustentación	ii
Reporte similitud	iii
Metadatos	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento	vi
Resumen	vii
Abstract.....	viii
Índice	ix
Índice de tablas	xi
Índice de figuras	xiv
Índice de anexos	xviii
Glosario	xix
I Introducción	20
II Planteamiento del problema	22
2.1 Descripción y formulación del problema.....	22
2.2 Objetivos	24
2.2.1 Objetivo general	24
2.2.2 Objetivos específicos	24
2.3 Justificación e Importancia	25
2.4 Variables	27
III Marco Teórico.....	28
3.1 Antecedentes	28
3.2 Bases teóricas.....	40
3.3 Definición de términos.....	67
IV Metodología.....	69
4.1 Tipo y nivel de investigación	69
4.2 Ámbito temporal y espacial	70
4.3 Población y muestra.....	70
4.4 Instrumentos.....	73
4.5 Procedimientos.....	73

4.6	Análisis de datos	141
4.7	Consideraciones éticas.....	179
V	Resultados y discusión.....	180
VI	Conclusiones.....	194
VII	Recomendaciones.....	196
VIII	Referencias	197
IX	Anexos.....	200

Índice de tablas

Tabla 1	Número muestras a elaborar.	71
Tabla 2	Cantidad de pruebas realizadas en laboratorio.	72
Tabla 3	Equipos y herramientas usados en el laboratorio de microbiología.	74
Tabla 4	Datos del tiempo y la concentración de curva de crecimiento bacteriana.	87
Tabla 5	Equipos y herramientas usados en el laboratorio de mecánica de suelos.	94
Tabla 6	Cantidad de material grueso retenido en cada malla.	97
Tabla 7	Cantidad de material fino retenido en cada malla.	97
Tabla 8	Prueba granulométrica de la cantera de vicho (agregado grueso).	98
Tabla 9	Granulometría de agregado de la cantera de Unancha (fino).	101
Tabla 10	Tabla de resultados del análisis de humedad.	103
Tabla 11	Ensayo del grado de saturación de las partículas finas y gruesas.	104
Tabla 12	Obtención de la masa específica aparente de los agregados finos.	106
Tabla 13	Obtención de la masa específica aparente de los agregados gruesos.	106
Tabla 14	Cálculo de la absorción y el peso específico de la partícula gruesa.	107
Tabla 15	Cálculo de la absorción y el peso específico de la partícula fina.	109
Tabla 16	Procesamiento de información de laboratorio.	114
Tabla 17	Ensayo de la prueba a la abrasión de la cantera de vicho.	116
Tabla 18	Datos utilizados para el diseño de mezclas.	118
Tabla 19	Valores de diseño para 01 metro cúbico en estado seco.	126
Tabla 20	Corrección por el contenido de humedad de la dosificación de los agregados en estado seco.	128
Tabla 21	Resistencia a la compresión de la prueba piloto.	129
Tabla 22	Resumen del control de fisuras de la prueba piloto.	131
Tabla 23	Cálculo del revenimiento del concreto insitu.	135
Tabla 24	Aplicación de las Sustancias Químicas A y BN., inyectadas a los testigos fisurados curadas con agua destilada.	139
Tabla 25	Aplicación de las Solución BN y A en los testigos fisurados a los 30 días y a partir de los 37, 44 y 51 días curadas con el bio reparador.	140
Tabla 26	Aplicación de las Sustancias Químicas A y BL., inyectadas a los testigos fisurados curadas con agua destilada.	140
Tabla 27	Aplicación las sustancias BL y A en los testigos fisurados a los 30 días y a partir de los 37, 34 y 41 días curadas con el bio reparador.	141

Tabla 28	Cuadro resumen de los totales del control de fisuras en discos de concreto.	143
Tabla 29	Cuadro resumen de la briqueta L-23 fisura 4.	150
Tabla 30	Cuadro resumen de la briqueta L-24 fisura 3.	151
Tabla 31	Cuadro resumen de la briqueta L-45 fisura 3.	152
Tabla 32	Cuadro resumen de la briqueta L-21 fisura 6.	153
Tabla 33	Cuadro resumen de la briqueta L-48 fisura 2.	154
Tabla 34	Cuadro resumen de la briqueta L-44 fisura 1.	155
Tabla 35	Cuadro resumen de la briqueta N-47 fisura 2.	156
Tabla 36	Cuadro resumen de la briqueta N-46 fisura 2.	157
Tabla 37	Cuadro resumen de la briqueta N-43 fisura 7.	158
Tabla 38	Cuadro resumen de la briqueta N-21 fisura 2.	159
Tabla 39	Cuadro resumen de la briqueta N-20 fisura 2.	160
Tabla 40	Cuadro resumen de la briqueta N-24 fisura 4.	161
Tabla 41	Cálculo de resistencia a la compresión del concreto patrón.	168
Tabla 42	Cálculo de resistencia a la compresión del concreto fisurado + solución A + Solución BN, Curadas con solución A + Solución BN.	169
Tabla 43	Cálculo de resistencia a la compresión del concreto fisurado + solución A + Solución BN, Curadas con Agua.	170
Tabla 44	Cálculo de resistencia a la compresión del concreto fisurado + solución A + Solución BL, Curadas con solución A + Solución BL.	171
Tabla 45	Cálculo de resistencia a la compresión del concreto fisurado + solución A + Solución BL, Curadas con Agua.	172
Tabla 46	Cálculo del porcentaje de sellado del concreto fisurado + solución A + Solución BN, Curadas con solución A + Solución BN.	173
Tabla 47	Cálculo del porcentaje de sellado del concreto fisurado + solución A + Solución BN, Curadas con Agua.	174
Tabla 48	Cálculo del porcentaje de sellado del concreto fisurado + solución A + Solución BL, Curadas con solución A + Solución BL.	175
Tabla 49	Cálculo del porcentaje de sellado del concreto fisurado + solución A + Solución BL, Curadas con Agua.	176
Tabla 50	Cuadro resumen de las resistencias y porcentajes de sellado.	177
Tabla 51	Prueba de normalidad de la curva de crecimiento bacteriano.	182
Tabla 52	Prueba de hipótesis Rho de Spearman.	183
Tabla 53	Prueba de normalidad del sellado de fisuras del concreto.	184

Tabla 54 Prueba de hipótesis t- de student.	186
Tabla 55 Resultados finales promedio de la carga axial de las diferentes edades de los ensayos.	186
Tabla 56 Prueba de normalidad del sellado de fisuras del concreto.	188
Tabla 57 Prueba de hipótesis Anova de un factor.	190
Tabla 58 Resistencia a la carga axial del (CF +BN), Curadas Con BN.	190
Tabla 59 Resistencia a la carga axial del (CF +BN), Curadas Con agua.	191
Tabla 60 Resistencia a la carga axial del (CF +BL), Curadas Con BL.	191
Tabla 61 Resistencia a la carga axial del (CF +BL), Curadas Con agua.	191

Índice de figuras

Figura 1	Tipos de bacteria.	43
Figura 2	La esporulación de la sepa bacteriana <i>Paenibacillus polymyxa</i>	44
Figura 3	Bacteria del género <i>Bacillus</i>	46
Figura 4	Aislamiento de <i>Paenibacillus polymyxa</i>	47
Figura 5	(a) aerobios, (b) anaerobios, (c) aerobios facultativos, (d) microaerófilos, (e) anaerobios aerotolerantes.	48
Figura 6	Curva típica de crecimiento de una población bacteriana.	49
Figura 7	Enfoque de sellado con carbonato de calcio.	51
Figura 8	Formula de porcentaje de vacíos.	56
Figura 9	Formula de porcentaje de absorción.	57
Figura 10	Formula de porcentaje de humedad.	57
Figura 11	Clasificación de los fallos en una edificación.	61
Figura 12	Guía para anchos de fisura razonables, concreto armado bajo cargas de servicio.	62
Figura 13	Costura de una fisura.	63
Figura 14	Orientación de la Reparación con barras.	64
Figura 15	Para corregir fisuración en loza y en viga.	65
Figura 16	Microscopio para medición de Fisuras.	66
Figura 17	Medidor de fisuras sika.	66
Figura 18	Comprobación final del estado y la exactitud de la balanza.	77
Figura 19	Protocolo para la elaboración de medios de cultivo y su posterior dilución.	78
Figura 20	Agitación térmica de los medios de cultivo.	78
Figura 21	Uso de la autoclave para esterilización de los medios de cultivo.	79
Figura 22	Proceso de enfriar los medios de cultivos en condiciones ambientales.	79
Figura 23	Utilización de placas y tubos para el crecimiento de microorganismos.	80
Figura 24	Solidificación de los medios de cultivos en las placas Petri.	81
Figura 25	Cepa bacteriana y medios de cultivo sólidos y líquidos para su reactivación.	81
Figura 26	Trabajo en un ambiente estéril.	82
Figura 27	Re suspensión del inóculo en medio líquido.	82
Figura 28	Introducción de la bacteria en placas de Petri con agar.	83
Figura 29	Traspaso de la cepa bacteriana a un medio de cultivo líquido.	84

Figura 30	Sembrado de la cepa bacteriana en caldo BHI.....	85
Figura 31	Cuantificación de crecimiento bacteriano utilizando un espectrofotómetro..	86
Figura 32	Curva de crecimiento de colonias.	88
Figura 33	Formación de esporas bajo estrés térmico.	89
Figura 34	Sedimentación de esporas mediante fuerza centrífuga.	90
Figura 35	Cantidad en gramos de cada componente de las soluciones A y B.	92
Figura 36	Producto bio reparador final.	93
Figura 37	División de la muestra de agregados grueso de la C. Vicho.....	95
Figura 38	División de la muestra de agregados fino C. Unancha.	95
Figura 39	Clasificación de agregados por tamaño.	96
Figura 40	Cantidad de material en cada tamiz.	96
Figura 41	Perfil de granulometría del agregado grueso.	99
Figura 42	Límites máximos y mínimos del tamaño de las partículas finas.....	100
Figura 43	Perfil granulométrico do agregado fino.	101
Figura 44	Secado al horno.	102
Figura 45	Peso específico de masa y peso específico saturado.....	110
Figura 46	Peso unitario suelto.	111
Figura 47	Peso unitario Compacto.	112
Figura 48	Selección de gradación de las muestras de ensayo a realizar en la máquina.	115
Figura 49	Verificación de resistencia mecánica de los agregados.	115
Figura 50	Formula de desgaste.....	115
Figura 51	Resistencia a la compresión promedio.....	119
Figura 52	Selección del asentamiento según tipo de estructura.	120
Figura 53	Consistencia y asentamiento.	120
Figura 54	Selección del volumen de agua por m ³ , agua en litros/m ³ para (TMN) de agregados y consistencia indicada.	121
Figura 55	Selección, contenido de aire atrapado.....	122
Figura 56	Selección, relación agua/cemento por resistencia, para F'cr.	122
Figura 57	Selección, peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto.	124
Figura 58	Saturación del concreto fisurado de la prueba piloto.....	130
Figura 59	Control de fisuras de la prueba piloto.	131
Figura 60	Elaboración de concreto.....	133

Figura 61 Validación del ensayo.	134
Figura 62 Desmolde de los testigos de concreto.	135
Figura 63 Curado de los testigos de concreto.	137
Figura 64 Control de fisuras realizada en la máquina de compresión axial.	137
Figura 65 Curva de crecimiento de colonias.	141
Figura 66 Fisuras del disco DN-01 antes (izquierda) y después (derecha) de la reparación.	144
Figura 67 Fisuras del disco DN-02 antes (izquierda) y después (derecha) de la reparación.	144
Figura 68 Fisuras del disco LN-01 antes (izquierda) y después (derecha) de la reparación.	145
Figura 69 Fisuras del disco LN-02 antes (izquierda) y después (derecha) de la reparación.	145
Figura 70 Control de fisuras en discos de concreto.	146
Figura 71 Saturación del concreto fisurado de las 96 briquetas con serigrafías N y L.	149
Figura 72 Lactato de calcio curado con lactato de calcio.	149
Figura 73 Lactato de calcio curado con lactato de calcio.	150
Figura 74 Lactato de calcio curado con agua.	151
Figura 75 Lactato de calcio curado con lactato de calcio.	152
Figura 76 Lactato de calcio curado con agua.	153
Figura 77 Lactato de calcio curado con agua.	154
Figura 78 Nitrato de calcio curado con agua.	155
Figura 79 Nitrato de calcio curado con agua.	156
Figura 80 Nitrato de calcio curado con agua.	157
Figura 81 Nitrato de calcio curado con nitrato de calcio.	158
Figura 82 Nitrato de calcio curado con nitrato de calcio.	159
Figura 83 Nitrato de calcio curado con nitrato de calcio.	160
Figura 84 Distribución de los resultados de Resistencia a Compresión del Nitrato vs Lactato curadas con bio reparador a los 37 días de tratamiento.	162
Figura 85 Distribución de los resultados de Resistencia a Compresión del Nitrato vs Lactato curadas con bio reparador a los 44 días de tratamiento.	162
Figura 86 Distribución de los resultados de Resistencia a Compresión del Nitrato vs Lactato curadas con bio reparador a los 51 días de tratamiento.	163

Figura 87 Distribución de los resultados de Resistencia a Compresión del Nitrato vs Lactato curadas con bio reparador a los 58 días de tratamiento.....	164
Figura 88 Distribución de los resultados de Resistencia a Compresión del Nitrato vs Lactato curadas con agua a los 37 días de tratamiento.....	164
Figura 89 Distribución de los resultados de Resistencia a Compresión del Nitrato vs Lactato curadas con agua a los 44 días de tratamiento.....	165
Figura 90 Distribución de los resultados de Resistencia a Compresión del Nitrato vs Lactato curadas con agua a los 51 días de tratamiento.....	166
Figura 91 Distribución de los resultados de Resistencia a Compresión del Nitrato vs Lactato curadas con agua a los 58 días de tratamiento.....	167
Figura 92 Gráfico resumen de resistencias.....	178
Figura 93 Gráfico resumen de porcentajes de sellado.....	178

Índice de anexos

Anexo 1 Matriz de consistencia.	201
Anexo 2 Matriz de operacionalización de variables.	202
Anexo 3 Análisis de costos de los materiales del bio reparador.	203
Anexo 4 Análisis de costos de los materiales del concreto 210 kg/cm ²	203
Anexo 5 Base de datos.	204
Anexo 6 Galería de fotografías.	206

Glosario

RCP: Resistencia del Concreto Patrón

CF: concreto fisurado

BI: Bio reparador

NC: nitrato de calcio

CBI: curado con bio reparador

CA: curados con agua

LC: lactato de calcio

BHI: caldo infusión cerebro corazón

SA: solución A

SBN: solución “B” con nitrato de calcio

SBL: solución “B” con lactato de calcio

CP: concreto patrón

BN: bio reparador nitrato de calcio

BL: bio reparador lactato de calcio

ACI: American Concrete Institut

I Introducción

La expansión del uso del concreto en el mundo es rápida, lo que hace que el desarrollo de soluciones de concreto sostenible sea una prioridad urgente desde una perspectiva ambiental. En la actualidad, se estima que aproximadamente el 7% de las emisiones de CO₂ de origen humano en la atmósfera son consecuencia de la producción de cemento. Por lo tanto, las estrategias que faciliten la prolongación de la vida útil de las estructuras de concreto no solo aumentarían la durabilidad del material, sino que también lo harían más sostenible. Uno de estos mecanismos, que ha recibido cada vez más atención en los últimos años, es la capacidad de auto reparación, es decir, la habilidad del concreto para curar de manera autónoma las fisuras (Jonkers, et al., 2010).

La formación de fisuras y la subsecuente penetración de agentes corrosivos agresivos constituyen un obstáculo significativo para la longevidad del concreto. Esta situación puede dar lugar a la corrosión anticipada del refuerzo, así como al colapso prematuro de la estructura. Como resultado, se hace necesario implementar medidas de mantenimiento y reparación que pueden resultar costosas. (Wiktor y Jonkers, 2015).

La aparición de fisuras en las estructuras de concreto puede afectar negativamente su durabilidad. Las fisuras son un fenómeno casi inevitable en el concreto. Al unirse y formar una red continua, estas fisuras pueden aumentar la permeabilidad del material, lo

que reduce su resistencia frente a la penetración de agentes externos. (Schlangen y Joseph, 2009).

En resumen, la implementación de la autocuración mediante la precipitación bacteriana de CaCO_3 ofrece una solución prometedora para la reparación de fisuras en el concreto. Al ser más compatible con el concreto y menos perjudicial para el medio ambiente, esta técnica se posiciona como una alternativa valiosa en el ámbito de la construcción. La combinación de innovación y sostenibilidad es clave para el desarrollo de materiales más eficientes y responsables.

II Planteamiento del problema

2.1 Descripción y formulación del problema.

“La seguridad de las estructuras de concreto armado es de máxima importancia, especialmente considerando su uso generalizado en todos los niveles sociales. Por ello, es crucial garantizar que estas construcciones sean resistentes y seguras, protegiendo la vida de sus ocupantes y prevenir riesgos asociados a un manejo inapropiado de materiales o a otros factores que puedan afectar su estabilidad” (Eduardo Torroja, 1957).

La raíz de las fallas estructurales en muchas construcciones peruanas se encuentra en un cálculo inadecuado de la dosificación, lo que pone de relieve la necesidad de una planificación y ejecución más precisas en la construcción.

“La formación de fisuras en el concreto, tanto en su estado plástico como en su estado endurecido, constituye un problema técnico recurrente en la industria de la construcción, que puede deberse a una variedad de factores, incluyendo, pero no limitándose a, la contracción plástica, el asentamiento, o la exposición a condiciones ambientales adversas, y que puede tener implicaciones significativas en términos de resistencia y durabilidad de las estructuras” (Stephen Popovics, 1998).

“Durante el estado plástico del concreto, el proceso de evaporación del agua desencadena una contracción notable en las horas siguientes a su colocación, en el momento en que la pasta de cemento sigue siendo plástica y el endurecimiento aún no ha iniciado. Esta pérdida de humedad superficial genera tensiones internas debido a la diferencia en la velocidad de secado entre las capas superiores e inferiores, lo que puede

provocar fisuras por contracción plástica, especialmente en condiciones de alta temperatura, baja humedad relativa o vientos fuertes que aceleran la evaporación. Si las tensiones superan la resistencia a la tracción incipiente del concreto fresco, se forman fisuras superficiales, generalmente irregulares y poco profundas, que pueden afectar la integridad y durabilidad de la estructura si no se controlan adecuadamente.” (Mehta & Monteiro, 2006).

“Cuando la contracción supera la capacidad de deformación de la superficie del concreto, puede ocurrir un resquebrajamiento, lo que pone en riesgo la integridad de la estructura. El período de mayor riesgo se presenta entre las 2 y 4 horas posteriores, coincidiendo con el final de la exudación y el inicio de la retracción, un momento crítico que requiere especial atención” (Adam Neville, 1995).

La industria de la construcción experimenta un crecimiento sostenido, caracterizado por un desarrollo e innovación constantes, lo que a su vez genera desafíos y demandas crecientes para contar con materiales de construcción de la más alta calidad, capaces de acompañar el ritmo acelerado de los avances tecnológicos y satisfacer las exigencias cada vez más altas del mercado. Es justamente este tipo de estructuras lo que la sociedad demanda en la actualidad: construcciones que no solo destaquen por su calidad y durabilidad, sino que también incorporen un enfoque innovador desde su concepción hasta su ejecución.

En busca de una solución efectiva para abordar la problemática, se propone un enfoque innovador de mejorar la calidad del concreto mediante el **método de inyección** de las esporas bacterianas de la familia *Bacillus* (*Paenibacillus polymyxa*), con el objetivo de reducir al mínimo las fallas estructurales causadas por fisuras en el concreto, logrando así una mayor longevidad y un funcionamiento óptimo.

2.1.1 Problema General

¿Cómo el bio reparador a base de bacterias sella las fisuras del concreto aumentado su resistencia a la compresión?

2.1.2 Problemas Específicos

- a) ¿cuál es la máxima concentración bacteriana en el medio de cultivo ocurre antes de las 24 horas de inoculado?
- b) ¿En qué medida el lactato de calcio sella mayor cantidad de fisuras en el concreto a comparación que el nitrato de calcio presentes en la solución B.?
- c) ¿Como la bacteria *Paenibacillus polymyxa* aumenta la resistencia a la compresión de un concreto fisurado a los 37, 44, 51 y 58 días de tratamiento?

2.2 Objetivos

2.2.1 Objetivo general

Determinar si el bio reparador a base de bacterias sella las fisuras del concreto aumentado su resistencia a la compresión.

2.2.2 Objetivos específicos

- a) Determinar la máxima concentración bacteriana en el medio de cultivo ocurre antes de las 24 horas de inoculado.
- b) Determinar si el lactato de calcio sella mayor cantidad de fisuras en el concreto a comparación que el nitrato de calcio presentes en la solución B.
- c) Determinar si la bacteria *Paenibacillus polymyxa* aumenta la resistencia a la compresión de un concreto fisurado a los 37, 44, 51 y 58 días de tratamiento.

2.3 Justificación e Importancia

El objetivo principal de este estudio es desarrollar e innovar en el campo de los materiales de construcción, específicamente en el concreto fisurado. Utilizando el método de la inyección de la bacteria *Paenibacillus polymyxa*, complementando así los conocimientos teóricos adquiridos durante la formación académica.

“Debido a su notable resistencia, *Paenibacillus polymyxa* puede prosperar en ambientes con pH altamente alcalino, en situaciones de escasa oxigenación y a cambios bruscos de temperatura, lo que la convierte en un candidato idóneo para aplicaciones en contextos de construcción de concreto. Esta bacteria puede dormir dentro del concreto durante mucho tiempo. Sin embargo, en cuanto aparecen fisuras que dejan entrar agua y nutrientes, se despierta y vuelve a la actividad” (Wang et al. 2012).

Por otro lado, se ha elegido la bacteria *Paenibacillus polymyxa* debido a que a nivel nacional es poco estudiada y a nivel local no se encontraron antecedentes de dicha bacteria, teniendo en cuenta que el Perú tiene una diversidad climática amplia el cual puede influir al momento de manipular dicha bacteria.

Al momento que se realizó la investigación se ha buscado en todos los laboratorios microbiológicos a nivel nacional y solo tenían disponibles la bacteria *Paenibacillus polymyxa* limitándonos así hacer investigaciones con otra bacteria del género *Bacillus*.

2.3.1 Justificación Teórica

“La incorporación de bacterias mediante el método de inyección, permite al material sellarse automáticamente. Este proceso de selladura se logra a través de la precipitación de calcita (CaCO_3) inducida por los microorganismos, lo que restaura las propiedades mecánicas del concreto, aumentando significativamente la vida útil y el tiempo de servicio de las estructuras construidas con este innovador material” (Paucar y Gomez, 2023).

La implementación del bio concreto utilizando la bacteria *Paenibacillus polymyxa* en Perú es un tema de investigación y análisis que aún es bastante reciente. Este enfoque proporciona un método para mejorar la resistencia del concreto a las fuerzas de compresión, debido a la escasa información que se tiene sobre este tema.

2.3.2 Justificación Metodológica

La presente investigación se fundamenta en una exhaustiva compilación, evaluación y análisis de literatura científica internacional pertinente, centrada en las mismas variables de estudio que guían el trabajo. Para garantizar la precisión y confiabilidad de los hallazgos, se emplearon buscadores académicos especializados como herramientas clave en la búsqueda, sistematización y categorización de fuentes científicas, las cuales constituyeron la base empírica del estudio. Dichas fuentes fueron organizadas en función de las variables específicas examinadas en cada una de las referencias consultadas.

2.3.3 Justificación Práctica

Este estudio del bio concreto a base de bacterias (*Paenibacillus polymyxa*), no solo sentará las bases para futuras investigaciones de tesis visionarias, sino que también inspirará a estudiantes de ingeniería civil a pensar fuera de los límites convencionales, abriendo así nuevas vías para abordar los desafíos del siglo XXI con soluciones innovadoras y sostenibles.

2.4 Hipótesis

2.4.1 Hipótesis general

El bio reparador a base de bacterias sella las fisuras del concreto aumentando su resistencia a la compresión.

2.4.2 Hipótesis específico

- a) La máxima concentración bacteriana en el medio de cultivo ocurre antes de las 24 horas de inoculado.
- b) El lactato de calcio sella mayor cantidad de fisuras en el concreto a comparación que el nitrato de calcio presentes en la solución B.
- c) La bacteria *Paenibacillus Polymyxa* aumenta la resistencia a la compresión de un concreto fisurado a los 37, 44, 51 y 58 días de tratamiento.

2.4 Variables

Variable	Dimensiones	Indicadores
Variable independiente:		
Bacterias Paenibacillus Polymyxa	X1 Cell/ml	Concentración bacteriana
Variable dependiente:		
sellado de fisuras	Y1 kg/cm ²	Resistencia a la compresión
	Y2 mm ³	Dimensión de fisuras

III Marco Teórico

3.1 Antecedentes

3.1.1 Internacionales

Según Wang et al. (2024), en su artículo titulado “Calcium lactate as a nutrient source in bio-concrete: Healing efficiency and long-term performance”. Entre los precursores más estudiados se encuentran el nitrato de calcio y el lactato de calcio, los cuales actúan como nutrientes para bacterias productoras de carbonato de calcio. Esta comparativa analiza su eficacia en la reparación, considerando factores como la velocidad de precipitación, la adherencia del material sellante y la resistencia mecánica recuperada. Los estudios demostraron que el nitrato de calcio promueve una precipitación más rápida de carbonato de calcio en lo que se traduce en una cicatrización temprana de fisuras. Sin embargo, el lactato de calcio genera un sellado más denso y adherente, mejorando la durabilidad a largo plazo. Además, el hormigón con lactato de calcio mostró una mayor recuperación de resistencia mecánica, aunque con un tiempo de reacción más lento debido a la complejidad metabólica de las bacterias al metabolizar este compuesto. En conclusión, mientras el nitrato de calcio es más efectivo para reparaciones rápidas, el lactato de calcio ofrece un sellado más durable y una mejor recuperación estructural. La elección entre ambos precursores dependerá de las condiciones específicas del proyecto, priorizando velocidad o resistencia a largo plazo. Futuras investigaciones podrían

explorar combinaciones de ambos compuestos para optimizar el proceso de autorreparación.

Según Saleha et al. (2024). En su artículo titulado "Optimization of calcium carbonate production by three strains of the genus *Lysinibacillus*". En el estudio de las tres cepas de *Lysinibacillus* aisladas del suelo de una cantera, se identificó como problemática principal la variabilidad en las curvas de crecimiento entre las cepas, lo que dificultó la estandarización de las condiciones óptimas de producción de carbonato de calcio (CaCO_3). Algunas cepas mostraron una fase prolongada, mientras que otras alcanzaron rápidamente la fase exponencial, sugiriendo diferencias en su adaptación a los medios de cultivo y disponibilidad de nutrientes. Esta inconsistencia en el crecimiento bacteriano afectó directamente la eficiencia y reproducibilidad de la precipitación de CaCO_3 , clave para la formación de bio concreto. Los resultados demostraron que, a pesar de las diferencias en las curvas de crecimiento, las tres cepas fueron capaces de inducir la precipitación de CaCO_3 en diferentes grados. La cepa con el crecimiento más estable y fase exponencial más prolongada presentó la mayor producción de carbonato, correlacionándose con una mayor actividad metabólica y alcalinización del medio. Sin embargo, se observó que condiciones subóptimas (pH, temperatura y concentración de calcio) afectaron la cinética de crecimiento y, por ende, la eficiencia de la bio mineralización. Se concluyó que la optimización de las curvas de crecimiento de *Lysinibacillus* es fundamental para maximizar la producción de CaCO_3 y su aplicación en bio concreto. La estandarización de parámetros como el tiempo de inoculación, la composición del medio y las condiciones ambientales permitiría reducir la variabilidad inter cepas. Además, se destacó el potencial de estas bacterias como una alternativa sostenible en la construcción, aunque se requieren estudios adicionales para escalar el proceso y mejorar la consistencia en la formación del material.

Según La Massachusetts Institute of Technology (2022) en su artículo titulado "Effect of Different Bacterial Strains on the Compressive Strength of Bio-Concrete", publicado en una revista de investigación especializada en materiales de construcción sostenibles, aborda la creciente necesidad de desarrollar alternativas ecológicas al concreto tradicional, el cual genera un alto impacto ambiental debido a las emisiones de CO₂ durante su producción. La introducción destaca que el bio-concreto, un material innovador que incorpora microorganismos como *Bacillus subtilis* y *Sporosarcina pasteurii*, promueve la precipitación de carbonato de calcio (CaCO₃) para auto reparar fisuras, mejorando así su durabilidad. Sin embargo, la investigación previa ha sido limitada en comparar sistemáticamente cómo distintas cepas bacterianas afectan la resistencia a la compresión, propiedad crítica para aplicaciones estructurales. Los objetivos del estudio fueron: (a) evaluar el impacto de tres cepas bacterianas (*Bacillus pseudofirmus*, *Sporosarcina pasteurii* y *Bacillus megaterium*) en la resistencia mecánica del bio-concreto a 7, 14 y 28 días de curado; (b) analizar la correlación entre la actividad metabólica bacteriana y la formación de CaCO₃ mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) y espectroscopía de rayos X (EDX); y (c) determinar la viabilidad económica de estas cepas en escalas industriales, considerando costos de cultivo y dosificación óptima. Los resultados revelaron que *Sporosarcina pasteurii* incrementó la resistencia a la compresión en un 22.5% a 28 días (45 MPa vs. 36.7 MPa del concreto control), seguida por *Bacillus pseudofirmus* (18.1%), mientras que *Bacillus megaterium* mostró un efecto marginal (8.3%). Los análisis microestructurales confirmaron que las dos primeras cepas produjeron mayores depósitos de CaCO₃ en los poros del concreto, reduciendo su permeabilidad. No obstante, *B. megaterium* presentó una menor tasa de supervivencia en pH alcalinos (>12), limitando su eficacia. Adicionalmente, el estudio identificó que una dosificación de 10⁶ células/mL optimizaba el balance entre costo y

desempeño, ya que concentraciones superiores (10^8 células/mL) no mejoraron significativamente la resistencia, pero incrementaron los costos en un 30%. En las conclusiones, los autores enfatizan que la selección de la cepa bacteriana es un factor determinante en el diseño de bio-concreto, siendo *S. pasteurii* la más promisoría para aplicaciones estructurales. Sin embargo, señalan que su implementación a gran escala requiere superar desafíos como la estabilidad bacteriana en condiciones industriales y la estandarización de protocolos de inoculación (ACI, 2019). Finalmente, el estudio sugiere futuras investigaciones sobre combinaciones sinérgicas de cepas y el uso de nutrientes encapsulados para prolongar la viabilidad bacteriana. Estos hallazgos contribuyen a la literatura al proporcionar datos cuantitativos comparativos que hasta ahora eran escasos, respaldando la viabilidad técnica del bio-concreto como alternativa sostenible.

Según Fan & Anchal. (2022) En su artículo titulado *Enhancement of concrete durability using bacterial self-healing agents*. “El concreto, ampliamente utilizado en construcción, presenta limitaciones debido a su susceptibilidad a fisuras y deterioro ambiental, lo que reduce su vida útil. Como alternativa innovadora, la auto reparación bacteriana ha surgido como una estrategia prometedora para mejorar su durabilidad. Se investigó que el uso de *Bacillus subtilis* y *Sporosarcina pasteurii* como agentes auto reparadores, analizando su capacidad para precipitar carbonato de calcio (CaCO_3) y sellar fisuras de manera autónoma. Sus resultados demostraron que las muestras tratadas con bacterias redujeron el ancho de fisuras entre un 60% y 80% en 28 días, además de incrementar la resistencia a la compresión en un 15%-20% en comparación con el grupo control. Los microorganismos mostraron supervivencia en la matriz del concreto, activándose ante la presencia de agua, aunque su eficacia varió según la especie bacteriana y las condiciones de humedad. Los autores concluyeron que esta técnica mejora significativamente la durabilidad del material y reduce costos de mantenimiento,

contribuyendo a una construcción más sostenible. Sin embargo, destacaron la necesidad de futuras investigaciones para optimizar su aplicación en diferentes entornos”.

Según Xiaoqui et al. (2021), En su artículo titulado “Optimization of Bacterial Growth Conditions for Enhanced Crack Healing in Bio-Concrete” El uso de bacterias en bio-hormigón (bio-concreto) ha surgido como una prometedora solución para la auto-reparación de grietas, mejorando la durabilidad y sostenibilidad de las estructuras. Sin embargo, la efectividad de este proceso depende en gran medida de las condiciones óptimas de crecimiento bacteriano, que influyen directamente en la producción de carbonato de calcio, principal compuesto sellador. Esta investigación se centra en optimizar parámetros como pH, temperatura, nutrientes y disponibilidad de oxígeno para maximizar la actividad bacteriana y, en consecuencia, la eficiencia de la reparación autónoma, este estudio analizó la curva de crecimiento de *Bacillus subtilis* en diferentes condiciones ambientales, midiendo la densidad óptica (DO) a lo largo del tiempo. Se observó que un pH cercano a 9, una temperatura de 30°C y la presencia de nutrientes como urea y calcio favorecían una fase logarítmica prolongada, esencial para una alta actividad metabólica. Además, la aireación moderada demostró ser crítica para mantener la viabilidad bacteriana en la matriz del hormigón, evitando la entrada en fase de declive prematuro, Los resultados mostraron que las bacterias cultivadas en condiciones optimizadas incrementaron la producción de carbonato de calcio en un 40%, sellando grietas de hasta 0.8 mm en 14 días. La microscopía electrónica confirmó la formación de cristales densos en las zonas reparadas. Se concluye que el control preciso de las condiciones de crecimiento bacteriano es clave para mejorar la eficacia del bio-hormigón, aunque se recomienda evaluar su estabilidad a largo plazo en condiciones reales de exposición ambiental.

3.1.2 Nacionales

Según Alvarez y Chuquispuma (2024) en la tesis titulada “Concentraciones de bacterias *Bacillus subtilis* para la determinación de sellado de fisuras en el bio concreto”. La presente investigación tuvo como objetivo determinar la concentración óptima de bacterias *Bacillus subtilis* para lograr un sellado efectivo de fisuras en el bio concreto, evaluando su influencia en propiedades mecánicas como la resistencia a la compresión y flexión, así como en la absorción de agua. El estudio abordó el problema de las fisuras en estructuras de concreto, las cuales comprometen su durabilidad y seguridad, proponiendo el uso de *Bacillus subtilis* por su capacidad de precipitar carbonato de calcio, sellando las grietas de manera autónoma. Los objetivos específicos incluyeron determinar las dosis de concentración bacteriana que maximizan la resistencia a la compresión y flexión, reducen la absorción de agua y disminuyen el ancho de las fisuras. Para ello, se trabajó con dos concentraciones de bacterias (1×10^5 UFC/ml y 1×10^8 UFC/ml) y lactato de calcio como nutriente, comparando sus resultados con un concreto patrón sin bacterias. Los resultados demostraron que la concentración de 1×10^5 UFC/ml fue la más efectiva en mejorar las propiedades mecánicas del bio concreto. A los 28 días, esta concentración aumentó la resistencia a la compresión en un 17.92% (451 kg/cm^2 frente a 382 kg/cm^2 del concreto patrón) y la resistencia a la flexión en un 7.14% (60 kg/cm^2 frente a 56 kg/cm^2). Además, redujo la absorción de agua a un 6.23%, en comparación con el 6.56% de la concentración 1×10^8 UFC/ml y el 7.12% del concreto patrón. Sin embargo, en el sellado de fisuras, la concentración de 1×10^8 UFC/ml mostró mayor eficacia, logrando una reducción de hasta 30 mm en el ancho de las fisuras, frente a los 25 mm de la concentración 1×10^5 UFC/ml. Estos resultados indican que, aunque ambas concentraciones mejoran las propiedades del concreto, cada una tiene ventajas específicas: la menor concentración optimiza las resistencias mecánicas, mientras que la mayor favorece el autosellado. En conclusión, la

adición de *Bacillus subtilis* y lactato de calcio al concreto mejora significativamente sus propiedades mecánicas y su capacidad de auto reparación. La concentración de 1×10^5 UFC/ml es la más recomendable para incrementar la resistencia a la compresión y flexión, mientras que la de 1×10^8 UFC/ml es ideal para el sellado de fisuras. Estos hallazgos respaldan la viabilidad del bio concreto como una solución sostenible y eficiente para prolongar la vida útil de las estructuras, reduciendo costos de mantenimiento.

Mendoza y Rivas (2023) presentaron la tesis “análisis de la resistencia a la compresión de un concreto incorporado con las bacterias *bacillus subtilis* y *paenibacillus polymyxa* como bio reparadores, elaborado con agregados de las canteras chiguata y la poderosa mediante el método ACI y el método módulo de fineza de la combinación de agregados para un diseño $f_c=210$ kg/cm², usando cemento yura tipo IP y cemento frontera tipo IP, en la ciudad de Arequipa 2022” Este estudio se propuso evaluar la resistencia a la compresión de un concreto innovador, enriquecido con las bacterias bio reparadoras *Bacillus subtilis* y *Paenibacillus polymyxa*, utilizando agregados de las canteras Chiguata y La Poderosa. El objetivo fue comparar el desempeño de este concreto reparado mediante dos enfoques: la inyección de soluciones bacterianas (Solución A y Solución B) y el reemplazo de agua, bajo un diseño de resistencia característica de 210 kg/cm². Se fabricaron prototipos de concreto con cemento de alta calidad (Yura y Frontera tipo IP), sometidos a curado en solución o agua, para posteriormente medir su resistencia a la compresión en diferentes etapas (7, 14, 21 y 28 días). Se analizaron los efectos de la concentración bacteriana (en un rango del 10% al 20%) y el método de curado sobre la resistencia final. Los resultados mostraron que la inyección de soluciones bacterianas alcanzó una resistencia máxima de 196.09 kg/cm², mientras que el reemplazo de agua demostró ser más eficiente, logrando una resistencia de 335.71 kg/cm². La precipitación de carbonato de calcio inducida por las bacterias tuvo un impacto significativo en la

mejora de la resistencia a largo plazo (28 días). Este estudio destacó la eficacia de las bacterias *Bacillus subtilis* y *Paenibacillus polymyxa* en la reparación de fisuras en concreto, subrayando la importancia crucial del método de aplicación y la concentración bacteriana en la optimización de la resistencia mecánica del concreto.

Arnold Santos (2021), presentó la tesis “Aplicación del bio concreto para reparar agrietamiento de los decantadores de la planta de tratamiento de agua La atarjea - Lima” Esta investigación se enfocó en explorar la aplicación práctica del bio concreto enriquecido con *Bacillus subtilis* para la auto reparación de grietas en decantadores de la planta de tratamiento de agua La Atarjea, en Lima. El objetivo principal era diseñar un método innovador, rentable y eficiente para reducir los costos de mantenimiento y reparar daños estructurales, aprovechando la capacidad de las bacterias para producir calcita. Para ello, se incorporaron bacterias *Bacillus subtilis* en mezclas de bio concreto, con el fin de evaluar su eficacia en la auto reparación de grietas simuladas. A través de pruebas exhaustivas, se analizaron la formación de calcita y su impacto positivo en la integridad estructural de las muestras. Los resultados demostraron la viabilidad y factibilidad del uso de *Bacillus subtilis* para la auto reparación de grietas, ya que las bacterias produjeron calcita de manera efectiva, sellando fisuras y mejorando significativamente la durabilidad de las estructuras. Esta investigación pionera ofrece una solución innovadora, sostenible y económica para minimizar los costos de mantenimiento en infraestructuras críticas, como plantas de tratamiento de agua, mediante la integración de biotecnología en materiales de construcción, abriendo camino a nuevas oportunidades para la conservación y rehabilitación de estructuras.

Según Araujo Huamán (2020), en la tesis titulada "Estudio sobre la influencia de la aplicación de cepas bacterianas como aditivo ante la presencia de fisuras en el concreto en Latinoamérica" aborda uno de los problemas más comunes en las estructuras de

concreto armado: las fisuras, las cuales generan efectos negativos como la corrosión del acero de refuerzo, comprometiendo la seguridad estructural y elevando los costos de mantenimiento. En Latinoamérica, especialmente en países como Perú, Chile y Ecuador, se han realizado investigaciones limitadas sobre el uso de cepas bacterianas para reparar fisuras en el concreto, a pesar de los beneficios económicos y científicos que esta tecnología podría aportar. El objetivo general del estudio fue determinar el estado de conocimiento acerca de la influencia de estas cepas bacterianas, mientras que los objetivos específicos incluyeron identificar las cepas bacterianas adecuadas y evaluar su impacto en las propiedades de resistencia y durabilidad del concreto. Los resultados revelaron que, de 12 cepas bacterianas analizadas, cinco demostraron ser efectivas para la bio reparación: *Bacillus Firmus*, *Paenibacillus Lactis*, *Bacillus Subtilis*, *Bacillus Pseudofirmus* y *Bacillus Cohnii*. Estas cepas lograron precipitar carbonato de calcio (CaCO_3), sellando fisuras y mejorando las propiedades mecánicas del concreto. Destacó especialmente *Paenibacillus Lactis*, que selló fisuras de hasta 2 mm de ancho con un 70% de efectividad a los 28 días, mientras que *Bacillus Firmus* alcanzó un 68.3% en fisuras de 1 mm. Además, se observó un incremento del 35% en la resistencia a la compresión al usar *Paenibacillus Lactis* y del 14.08% con *Bacillus Firmus*. En cuanto a la resistencia a la flexión, solo un estudio evaluó esta propiedad, reportando un valor de 5.7 MPa para *Bacillus Cohnii*, superior al concreto convencional. Sin embargo, se identificaron limitaciones, como la falta de estudios sobre permeabilidad y la interacción de las bacterias con el acero de refuerzo. Las conclusiones destacan que, aunque los estudios en Latinoamérica son escasos, los resultados son prometedores. Las cepas bacterianas no solo reparan fisuras, sino que también mejoran la resistencia del concreto, lo que podría reducir costos de mantenimiento y extender la vida útil de las estructuras. No obstante, se

requiere más investigación para explorar otras variables, como temperaturas ambientales diferentes y la eficacia en condiciones reales.

Asenjo Alarcón (2019) en su tesis titulada “Influencia de la incorporación del aditivo bacteriano en la reparación del proceso de fisuración controlada del concreto En el marco de una investigación de vanguardia llevada a cabo en Cajamarca, Perú”, Este estudio se centró en investigar el impacto de un aditivo bacteriano en la reparación de fisuras en concreto, aprovechando las propiedades únicas de las bacterias del género *Bacillus*. El objetivo principal era evaluar cómo estas bacterias pueden mejorar la durabilidad y resistencia del concreto, al mismo tiempo que se optimizaba el proceso de reparación de fisuras mediante técnicas innovadoras. Para lograr esto, se incorporaron bacterias *Bacillus* en mezclas de concreto, creando fisuras controladas para evaluar el efecto del aditivo bacteriano. Se llevaron a cabo ensayos de resistencia mecánica y análisis microestructurales detallados para determinar la eficacia del aditivo en la formación de carbonato de calcio (CaCO_3) y su influencia en las propiedades del material. Los resultados demostraron que el aditivo bacteriano es una herramienta efectiva para reparar fisuras, mejorando significativamente la resistencia y durabilidad del concreto. La formación de CaCO_3 no solo selló las fisuras, sino que también redujo la permeabilidad y aumentó la integridad estructural del material. Este estudio pionero ofrece una solución innovadora y sostenible para abordar el problema de las fisuras en el concreto, resaltando el gran potencial de las bacterias *Bacillus* para mejorar las propiedades mecánicas y la durabilidad de los materiales de construcción, abriendo nuevas vías para la creación de infraestructuras más resilientes y sostenibles.

Ascate y Miranda (2019), en la tesis titulada “Diseño de bio concreto con *Bacillus subtilis* para mejorar la resistencia en un concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ ”. Tuvo como objetivo general diseñar un bio concreto que incrementara la resistencia del concreto mediante la

incorporación de *Bacillus subtilis*, analizando propiedades físicas de los agregados, tiempo de crecimiento bacteriano y porcentajes óptimos de solución bacteriana. Los resultados demostraron que la curva de crecimiento bacteriano alcanzó su máxima densidad óptica ($DO = 0.540$) a las 23 horas, confirmando la fase exponencial, mientras que, a los 28 días de curado, la adición del 12% de bacterias aumentó la resistencia a compresión en un 14% (246.06 kg/cm^2) y a flexión en un 13% (2.41 kg/cm^2) respecto al concreto patrón. Los porcentajes óptimos calculados fueron 11.70% para compresión y 11.95% para flexión, logrando superar la resistencia objetivo de 240 kg/cm^2 . Se concluyó que *B. subtilis* es efectivo para mejorar la durabilidad del concreto, con un crecimiento bacteriano óptimo a las 23 horas y un curado estándar de 28 días, validando su potencial en aplicaciones de ingeniería civil sostenible.

3.1.3 Regionales o locales

Mendoza Nina (2022) en su tesis titulada “análisis de la permeabilidad del agua en el concreto mediante la aplicación de bacterias (bio concreto)”. En un hito significativo que marca la convergencia de la ciencia y la tecnología, una investigación interdisciplinaria que combina los campos de la microbiología, la química y la ingeniería civil ha dado lugar al desarrollo de un innovador enfoque para la autocuración de fisuras en concreto. Este método, conocido como bio concreto, se basa en la capacidad única de ciertas bacterias para sintetizar calcita (CaCO_3) en condiciones aeróbicas, lo que permite sellar efectivamente las fisuras que comúnmente surgen en las infraestructuras de concreto debido a una variedad de factores, incluyendo movimientos sísmicos, fluctuaciones de temperatura, asentamientos diferenciales y la presencia de humedad. La importancia de abordar estas fisuras radica no solo en su impacto en la resistencia y durabilidad de las construcciones, sino también en las significativas pérdidas económicas y daños ambientales que generan, afectando negativamente la sostenibilidad de los

proyectos. Un análisis comparativo exhaustivo de los resultados experimentales demostró que, en contraste con las muestras de concreto tratadas con bacterias, las muestras sin tratamiento bacteriano no exhibieron autocuración de fisuras, lo que resultó en una permeabilidad notablemente mayor. La formación de carbonato de calcio en las fisuras, el sellado de fisuras de hasta 1 mm de ancho y la reducción de la permeabilidad fueron criterios fundamentales observados. El seguimiento evaluativo se llevó a cabo en tres etapas clave: inicialmente a los 30 días sin intervención bacteriana, seguido de evaluaciones posteriores a los 54 y 86 días tras la aplicación de bacterias, empleando un enfoque integral que combinó pruebas de permeabilidad, observaciones estereoscópicas y análisis químicos de carbonatos. El impacto de este estudio trascenderá más allá de sus conclusiones inmediatas, ya que sus resultados proporcionarán una base sólida para futuras investigaciones en el campo, al mismo tiempo que facilitarán la introducción exitosa de este producto innovador en el mercado. Esta implementación no solo se alinearán con los ambiciosos objetivos ambientales que el Estado Peruano ha establecido para el año 2030, sino que también se ajustará a los pilares fundamentales de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, lo que contribuirá significativamente a la promoción de un desarrollo sostenible y responsable en el país.

Mendoza y Quijano (2017) en su tesis titulada “Análisis de la resistencia del concreto utilizando bacterias del género *Bacillus* y biopolímeros como bio reparador” Este estudio se enfocó en evaluar la resistencia del concreto cuando se incorporan bacterias del género *Bacillus* y biopolímeros como agentes de reparación biológica. El objetivo principal era demostrar la viabilidad de reparar fisuras en estructuras de concreto utilizando una solución innovadora y respetuosa con el medio ambiente. Para lograr esto, se crearon probetas de bio concreto que combinaban bacterias *Bacillus* con biopolímeros, sometiéndolas a rigurosos ensayos de resistencia mecánica. Se investigó detalladamente

la capacidad de las bacterias para sellar fisuras a través de la producción de carbonato de calcio (CaCO_3) y su impacto positivo en las propiedades del concreto. Los resultados mostraron que las probetas de bio concreto mantuvieron su resistencia intacta, lo que demuestra la eficacia de la solución bio reparadora para sellar fisuras de manera efectiva. La formación de CaCO_3 no solo mejoró la integridad estructural del material, sino que también contribuyó a su durabilidad a largo plazo. Este estudio pionero ofrece una solución práctica, viable y sostenible para la reparación de fisuras en concreto, resaltando el gran potencial de las bacterias *Bacillus* y los biopolímeros para mejorar la resistencia y durabilidad de las infraestructuras, abriendo camino a nuevas oportunidades para la construcción de estructuras más resilientes y respetuosas con el medio ambiente.

No se encontraron más antecedentes locales actuales con respecto al tema de investigación.

3.2 Bases teóricas.

3.2.1 Bases teóricas del componente microbiológico.

3.2.1.1 Bio reparador

“Se define como una combinación de dos o más soluciones que contienen esporas bacterianas, las cuales actúan como intermediarias en la síntesis de carbonato de calcio a partir de lactato de calcio o nitrato de calcio. Posteriormente, este carbonato se transforma en calcita (CaCO_3), capaz de reparar fisuras de hasta 1 mm de ancho”. (Goodfellow et al., 2009).

“Las bacterias de géneros como *Bacillus* o *Paenibacillus* desempeñan un papel crucial en la producción de carbonato de calcio (CaCO_3) a través de su metabolismo de nutrientes específicos, tales como la urea o el lactato de calcio. Este proceso bioquímico tiene lugar en un entorno con presencia de iones de calcio y un pH alcalino, condiciones que favorecen la nucleación y crecimiento de cristales de CaCO_3 . Como resultado, estos

cristales se forman y depositan en las fisuras, sellándolas de manera efectiva" (Achal et al., 2011).

"En un proceso bioquímico, las bacterias descomponen la urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) en dos componentes clave: amonio (NH_4^+) y carbonato (CO_3^{2-}). Cuando iones de calcio (Ca^{2+}) están presentes en el entorno, el carbonato libre reacciona químicamente con ellos, dando lugar a la formación de carbonato de calcio (CaCO_3). Este compuesto, a su vez, se deposita de manera natural en las fisuras, sellándolas de manera efectiva" (De Muynck et al., 2010).

"Un proceso bioquímico clave es al descomponer la urea, las bacterias liberan amonio, lo que a su vez aumenta significativamente el pH del entorno circundante, creando un ambiente alcalino. Este cambio en el pH desencadena un efecto beneficioso, ya que el entorno alcalino favorece la precipitación de carbonato de calcio (CaCO_3), un componente esencial para la formación de depósitos que pueden sellar y reparar fisuras" (Wang et al., 2012)

"Las bacterias crean complejas comunidades microbianas conocidas como biofilms, que desempeñan un papel crucial en la reparación de fisuras. Estos biofilms no solo proporcionan un entorno protector para las bacterias, sino que también actúan como matrices ideales para la deposición de carbonato de calcio (CaCO_3). De esta manera, los cristales de CaCO_3 se adhieren firmemente a las fisuras, sellándolas de manera efectiva, gracias a la superficie de contacto proporcionada por el biofilm." (Wehbe, 2016).

"Para llevar a cabo su metabolismo y producir carbonato de calcio (CaCO_3), las bacterias necesitan acceder a fuentes de nutrientes esenciales, como la urea, el lactato de calcio o el nitrato de calcio. La selección de la fuente de calcio y los nutrientes adecuados es crucial, ya que puede significativamente influir en la eficiencia del proceso de bio

reparación, determinando en última instancia el éxito en la reparación de fisuras y daños en materiales" (Erşan et al., 2015).

"La eficacia de la bio reparación mediante bacterias depende críticamente de una serie de factores ambientales clave. La temperatura, la humedad y la disponibilidad de oxígeno son elementos fundamentales que inciden directamente en la actividad bacteriana, influyendo así en la eficiencia global del proceso de reparación. Un entorno óptimo en cuanto a estos parámetros es esencial para maximizar el potencial de las bacterias en la reparación de daños y fisuras." (Jonkers et al., 2010).

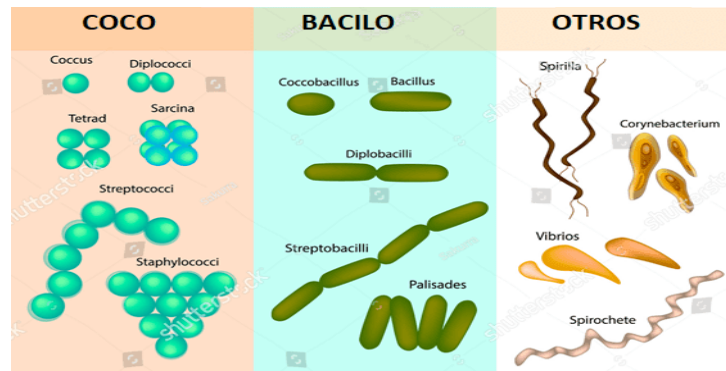
3.2.1.2 Género Bacillus

"Estas bacterias presentan una morfología característica, con células en forma de varilla y completamente rectas, cuyas dimensiones pueden variar entre 0.5 y 2.5 micrómetros de ancho y entre 1.2 y 10 micrómetros de largo. Es común observarlas organizadas en pares o formando cadenas, y sus extremos pueden ser tanto redondeados como cuadrados. Desde el punto de vista de su identificación, son clasificadas como Gram positivas, y su capacidad de movimiento se debe a la presencia de flagelos peritricos. En cuanto a su reproducción, forman endosporas que pueden adoptar formas ovaladas, redondas o incluso cilíndricas, y que se destacan por su extraordinaria resistencia a una amplia gama de condiciones ambientales adversas. Cada célula madura contiene como máximo una espora, y la formación de estas estructuras de resistencia no se ve afectada por la exposición al oxígeno del aire. Desde una perspectiva fisiológica, estas bacterias pueden ser tanto aerobias, requiriendo oxígeno para su metabolismo, como facultativamente anaerobias, capaces de adaptarse a ambientes sin oxígeno, mostrando una notable versatilidad en su capacidad para crecer en una amplia gama de temperaturas, niveles de pH y concentraciones de sal. Su distribución es amplia, encontrándose en una

diversidad de hábitats, y aunque la mayoría son inofensivas, algunas especies pueden ser patógenas para vertebrados o invertebrados.” (Holt et al., 1994).

Figura 1

Tipos de bacteria.



Nota. Adoptado de (Mendoza. 2022).

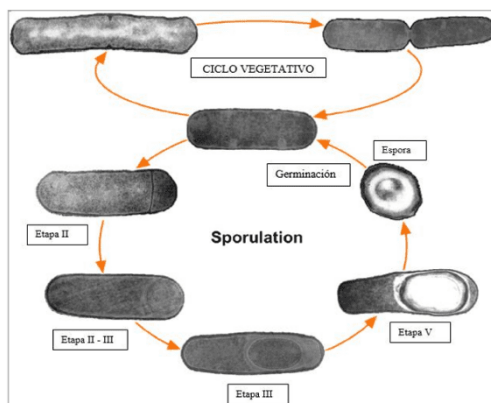
“El género *Bacillus* ocupa un lugar destacado en el panorama de la historia de la humanidad, especialmente en el ámbito de la medicina y la microbiología. Un momento crucial en esta narrativa se produjo en 1881, cuando el visionario científico Louis Pasteur logró desarrollar con éxito la primera vacuna antibacteriana, utilizando para ello una cepa debilitada de *Bacillus anthracis*. Sin embargo, este logro se fundamentó en descubrimientos anteriores, como los realizados por Robert Koch en 1876, quien, al emplear *Bacillus* como modelo, proporcionó la primera evidencia experimental convincente de que un organismo vivo podía ser el agente causal directo de una enfermedad infecciosa, sentando así las bases para la teoría de los gérmenes y revolucionando nuestra comprensión de las enfermedades infecciosas.” (Barth et al., 2004).

“La formación de esporas de *Paenibacillus polymyxa* se ha establecido como un modelo de estudio para la diferenciación celular en bacterias, debido a su relativa simplicidad. En el caso de *B. subtilis*, el proceso de formación de esporas resistentes al calor, que transcurre en aproximadamente 23 horas a 35 °C, se caracteriza por una

secuencia de etapas morfológicas claramente delineadas, lo que facilita su análisis y comprensión.” (Piggot y Hilbert, 2004).

Figura 2

La esporulación de la sepa bacteriana *Paenibacillus polymyxa*.



Nota. Adoptado de (Mendoza y Sánchez, 2017).

3.2.1.3 Elección de microorganismo de la Especie Bacteriana.

Entre la amplia gama de bacterias potencialmente utilizables en aplicaciones de concreto, destacan variedades como *Bacillus pasteurii*, *Escherichia coli*, *Bacillus sphaericus*, *Bacillus cereus*, *Bacillus cohnii*, *Bacillus halodurans*, y *Bacillus pseudoformis*, entre otras. Para este estudio específico, hemos optado por *Paenibacillus polymyxa* debido a su:

- **Accesibilidad amplia:** Fácilmente disponible en el mercado, lo que facilita su adquisición y manipulación.
- **Perfil de seguridad bajo:** No representa un riesgo patógeno significativo para la salud humana, garantizando un entorno de trabajo seguro.
- **Presencia ambiental común:** Su naturaleza no invasiva y frecuente presencia en el medio ambiente reducen las preocupaciones éticas y de bioseguridad asociadas con su manipulación.

3.2.1.3.1 *Temperatura.*

Cada microorganismo es capaz de crecer en un rango muy determinado de temperatura. De esta manera, se puede decir que las bacterias de acuerdo con su ambiente térmico pueden ser clasificadas como microorganismos euriotérmicas (amplio rango de temperatura) y estenotérmicas (estrecho rango de temperatura). Dentro de estos rangos de temperaturas las bacterias pueden ser: (Luna Fontalvo, 2012).

- **Psicrófilas:** Bacterias que crecen en un rango de temperatura entre -10°C - 25°C . siendo 15°C la temperatura óptima. (Luna Fontalvo, 2012)
- **Mesófilas:** Bacterias que crecen en un rango de temperatura entre 15°C - 45°C . siendo 37°C la temperatura óptima. (Luna Fontalvo, 2012)
- **Termófilas:** Bacterias que crecen en un rango de temperatura entre 45°C - 100°C . siendo 65°C la temperatura óptima. (Luna Fontalvo, 2012)

3.2.1.3.2 *Acidez y Alcalinidad (pH).*

Al igual que la temperatura cada microorganismo tiene un rango de pH dentro del que se puede desarrollar. A diferencia de la temperatura, el pH óptimo de desarrollo suele ser un valor muy bien definido para cada microorganismo y es crítico para el crecimiento. La mayoría de las bacterias tienen crecimiento óptimo cuando tienen igual concentración de iones H^+ y OH^- . (Luna Fontalvo, 2012).

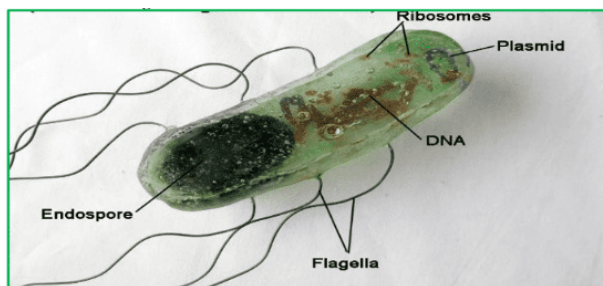
Clasificación según el pH óptimo bacteriano:

- **Acidófilas:** son las bacterias que viven a valores de pH entre 2-6. Por lo general los hongos tienden a tolerar valores más ácidos que las bacterias. (Luna Fontalvo, 2012)
- **Alcalófilas:** Bacterias que viven a valores de pH entre 8-12. (Luna Fontalvo, 2012)

- **Neutrófilas:** Bacterias que viven en valores cercanos a la neutralidad, pH entre 6.5-7.8. Por lo general ninguna bacteria crece exactamente a pH 7. (Luna Fontalvo, 2012).

Figura 3

Bacteria del género Bacillus.



Nota. Adoptado de (Mendoza y Sánchez, 2017).

3.2.1.4 Bacteria *Paenibacillus polymyxa*.

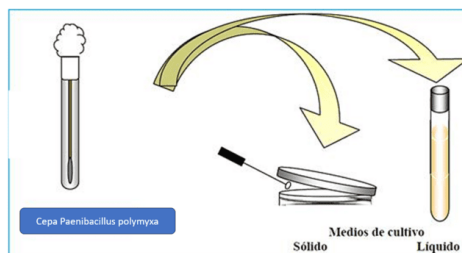
“El género *Paenibacillus*, inicialmente compuesto por 11 especies con *P. polymyxa* como tipo, ha experimentado un crecimiento significativo. A través de transferencias desde *Bacillus* y descubrimientos recientes, ha pasado de 33 especies en 2003 a un total de 90 en la actualidad.” (Goodfellow et al., 2009).

3.2.1.4.1 *Re suspensión de cepa (Caldo BHI).*

“Un grupo de bacterias descendientes de una única célula progenitora, visible a simple vista como un cúmulo de miles de microorganismos, se conoce como colonia. Para obtener colonias individuales y aisladas, se esparce la muestra sobre un medio de agar utilizando un asa de siembra esterilizada, permitiendo su crecimiento separado” (Merino, 2010).

Figura 4

Aislamiento de Paenibacillus polymyxa.



Nota. Adoptado de (Merino, 2010).

3.2.1.4.2 *Técnicas de siembra en placa Petri.*

“Esta técnica tiene como objetivo obtener colonias aisladas a partir de un inóculo. Para llevarla a cabo: (i) se sostiene la placa de Petri con una mano, ligeramente inclinada, mientras que con la otra mano se manipula un asa de siembra previamente esterilizada mediante flameado directo. Luego, se toma una pequeña cantidad del caldo de cultivo con el asa y se distribuye en un área periférica de la placa, realizando movimientos circulares para asegurar una distribución homogénea del inóculo” (Madigan et al., 2018).

3.2.1.4.3 *Siembra en placa Petri por la técnica de siembra en cuadrantes.*

" Esta técnica consiste en diluir el inóculo a medida que se realizan estrías en la superficie del agar. Para llevarla a cabo, la placa se divide en cuatro cuadrantes (ya sea de manera imaginaria o marcándolos con un rotulador en la base). Luego, se esteriliza el asa en el mechero, se toma el inóculo y se procede a realizar estrías en los cuatro cuadrantes consecutivos, sin necesidad de esterilizar el asa nuevamente ni tomar más inóculo. Una vez sembradas, las placas se incuban a la temperatura adecuada según el tipo de bacteria. El objetivo de esta técnica es que, en el cuarto cuadrante (donde se realiza la última estría), se obtengan colonias bacterianas aisladas, lo que facilita su identificación y estudio." (Rojas, 2011).

3.2.1.4 *Técnicas de siembra en medios contenidos en tubos*

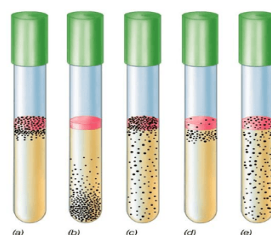
"La siembra en medios contenidos en tubos exige un manejo especialmente cuidadoso, ya que incluso una sola partícula contaminante procedente del aire puede proliferar con mayor rapidez que el microorganismo objetivo, potencialmente sobrepasándolo y comprometiendo el resultado deseado" (Rojas 2011).

3.2.1.5 **Oxígeno.**

"El crecimiento de microorganismos en condiciones anaerobias, aerobias, anaerobias facultativas, microaerófilas y aerotolerantes se puede observar según la posición de las colonias (representadas como puntos negros) dentro de tubos de caldo de tioglicolato. El oxígeno solo penetra una corta distancia en el tubo, lo que permite que los aerobios estrictos crezcan únicamente en la superficie. Los anaerobios, sensibles al oxígeno, crecen lejos de la superficie. Los anaerobios facultativos pueden desarrollarse tanto en presencia como en ausencia de oxígeno, por lo que crecen a lo largo de todo el tubo, aunque su crecimiento es más abundante cerca de la superficie debido a su capacidad para respirar. Los microaerófilos prefieren condiciones con bajos niveles de oxígeno y crecen en una zona intermedia. Por último, los anaerobios aerotolerantes crecen uniformemente a lo largo del tubo, pero no muestran un crecimiento mejorado cerca de la superficie, ya que solo pueden fermentar y no dependen del oxígeno" (González, 2007).

Figura 5

(a) aerobios, (b) anaerobios, (c) aerobios facultativos, (d) microaerófilos, (e) anaerobios aerotolerantes.



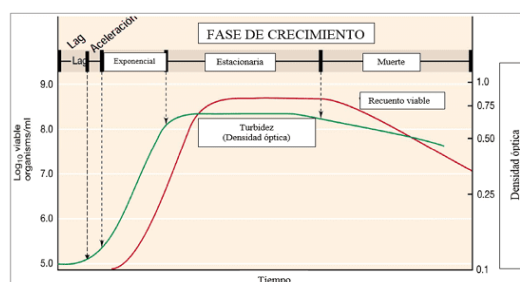
Nota. Adaptada (González,2007).

3.2.1.6 Crecimiento microbiano

“El crecimiento microbiano se refiere al aumento en el número de células microbianas en una población, en lugar del tamaño individual de las células. Este proceso está influenciado por factores como la disponibilidad de nutrientes, la temperatura, el pH, la oxigenación y la humedad” (González, 2007).

Figura 6

Curva típica de crecimiento de una población bacteriana.



Nota. Adaptada (González, 2007).

3.2.1.7 Solución A

"La fórmula secreta detrás del bio concreto auto reparador radica en la combinación perfecta de cuatro ingredientes clave: silicato de sodio (4,8 g/L), gluconato de sodio (125 g/L), extracto de levadura (1 g/L) y una concentración específica de bacterias *Paenibacillus polymyxa* de $(1,6 \times 10^8)$ esporas/L). Cada componente desempeña un papel vital: el silicato de sodio aporta sílice esencial, mientras que el gluconato de sodio y el extracto de levadura proporcionan los nutrientes necesarios para el crecimiento y activación de las bacterias. Una vez activadas, estas bacterias precipitan carbonato de calcio, sellando eficazmente las fisuras y mejorando significativamente la durabilidad del concreto. Esta sinergia de ingredientes no solo optimiza el proceso de autor reparación, sino que también reduce considerablemente los costos de mantenimiento a largo plazo, ofreciendo una solución innovadora y sostenible para la industria de la construcción" (Wiktor & Jonkers, 2014).

3.2.1.8 Solución B.

"En el contexto del bio concreto, tanto el lactato de calcio como el nitrato de calcio (concentración de 500 g/L) desempeñan un papel crucial como fuentes de calcio y nutrientes esenciales para bacterias específicas, como las del género *Bacillus*. Estas bacterias *Paenibacillus polymyxa*, presentes en una concentración de $1,6 \times 10^8$ esporas/L, metabolizan eficientemente estos compuestos, lo que conlleva un aumento del pH y, como resultado, la precipitación de carbonato de calcio (CaCO_3). Este proceso bioquímico tiene un impacto directo en la integridad del material, sellando efectivamente las fisuras y mejorando significativamente la resistencia del bio concreto. Es notable que el lactato de calcio destaque por su versatilidad, actuando simultáneamente como fuente de carbono y calcio, lo que lo convierte en una opción particularmente eficaz en este contexto" (Wiktor & Jonkers, 2014).

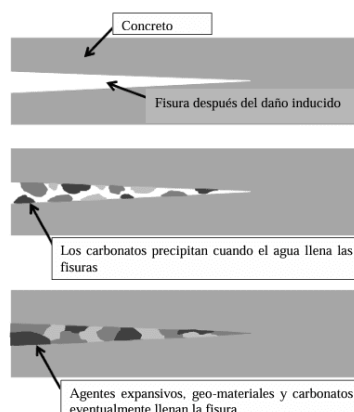
Con respecto a la solución B en este tema de investigación se va a realizar una comparación entre el nitrato de calcio y el lactato de calcio para determinar quién es más efectivo.

3.2.1.9 Carbonato de calcio.

"El Carbonato de Calcio (CaCO_3) en Bio concreto se define como un compuesto químico precipitado dentro de la matriz del concreto mediante la actividad metabólica de microorganismos, específicamente bacterias, que convierten compuestos inorgánicos en CaCO_3 , sellando grietas y poros, y mejorando la durabilidad y sostenibilidad del concreto" (Muynck et al., 2008).

Figura 7

Enfoque de sellado con carbonato de calcio.



Nota. Adaptada (Li & Herbert, 2012).

3.2.2 Bases teóricas del componente concreto.

3.2.1.10 Concreto

“El concreto es un material compuesto de uso extendido en la construcción por su resistencia, durabilidad y versatilidad. Su composición incluye cemento, agregados como arena y grava, agua y aditivos. Sus propiedades físicas y mecánicas, como la resistencia a la compresión, la permeabilidad y la durabilidad, son factores clave para determinar su calidad”(SENCICO, 2020).

3.2.1.10.1 *Propiedades del Concreto fresco:*

Las propiedades del concreto fresco son referidas a las características y comportamientos del concreto antes de su fraguado y endurecimiento. Estas propiedades son evaluadas durante la etapa de mezclado, colocación y vibrado del concreto. Algunas de las propiedades del concreto fresco son según (MTC, 2016):

- **El calor de hidratación** es una propiedad inherente del proceso químico de fraguado y endurecimiento del cemento. Durante la hidratación, el cemento reacciona con el agua, generando calor como subproducto. Esta liberación de

- calor puede ser significativa, especialmente en grandes volúmenes de concreto, y puede provocar el aumento de la temperatura interna del concreto (MTC, 2016).
- **Trabajabilidad:** Algunos aditivos pueden mejorar la trabajabilidad del concreto, facilitando su colocación y compactación. Esto se puede lograr mediante la reducción de la viscosidad o la mejora de la cohesión del concreto (MTC, 2016).
 - **Tiempo de fraguado:** Algunos aditivos acelerantes pueden reducir el tiempo de fraguado del concreto, lo que significa que comienza a endurecerse más rápidamente después de la mezcla. Esto puede ser beneficioso en situaciones donde se requiere un fraguado rápido o un desencofrado temprano. Abanto (MTC, 2016)
 - **Retención de asentamiento:** Los aditivos reductores de agua o superplastificantes pueden mejorar la capacidad del concreto de mantener su asentamiento (slump) durante un período de tiempo más prolongado. Esto permite una mayor trabajabilidad y facilidad de colocación, especialmente en concretos de alta resistencia. (MTC, 2016)
 - **Segregación:** Es la separación de los componentes del concreto, especialmente la separación de los agregados más gruesos del mortero. La segregación puede ocurrir debido a una mala trabajabilidad o una falta de cohesión en el concreto fresco. (MTC, 2016)
 - **Exudación:** Se refiere a la liberación de agua de la mezcla de concreto, que puede ocurrir cuando el agua de mezclado se separa de los materiales sólidos. Una exudación excesiva puede afectar la relación agua-cemento y la uniformidad del concreto. (MTC, 2016)
 - **Aire atrapado:** El aire atrapado en el concreto fresco se refiere a la presencia de pequeñas burbujas de aire distribuidas dentro de la masa de concreto. Estas

burbujas de aire pueden estar compuestas principalmente de aire, pero también pueden contener pequeñas cantidades de otros gases, como dióxido de carbono. (MTC, 2016)

- **Relación agua/cemento:** La relación agua-cemento representa la proporción entre la cantidad efectiva de agua y la masa de cemento en una mezcla de concreto fresco. Este concepto fue introducido en 1918 por el investigador estadounidense Duff A. Abrams, quien también diseñó el Cono de Abrams para evaluar la consistencia del concreto. Abrams demostró la existencia de una relación directa entre esta proporción y la resistencia a la compresión del concreto endurecido. (MTC, 2016)

3.2.1.11 Agregados.

Los agregados son grupos de partículas con origen natural o artificial que pueden ser procesadas o producidas, y que tienen dimensiones que se ajustan a los límites establecidos. Estos materiales, conocidos como áridos, incluyen:

- **Agregado grueso:** Este es el material que se retiene en un tamiz de 4,75 mm (N° 4), derivado de la desintegración natural o mecánica de rocas y que cumple con las normas establecidas.
- **Grava:** Es un agregado grueso resultante de la desintegración natural de materiales rocosos, hallado en canteras y lechos de ríos en su forma natural.
- **Agregado fino:** Comprende el material que pasa por un tamiz de 9,5 mm (3/8 pulg) y se retiene en uno de 74 μm (N° 200), y debe cumplir con los requisitos normativos.
- **Arena:** Este es el agregado fino obtenido de la desintegración natural de rocas.

Las propiedades de los agregados influyen directamente en la calidad del concreto, por lo que es fundamental que cumplan con ciertos requisitos normativos. La

norma ASTM C33 establece las especificaciones para los agregados finos y gruesos en concreto, incluyendo límites de granulometría, contenido de impurezas y resistencia al desgaste (ASTM, 2020). Además, la norma ASTM C136/C136M regula el procedimiento para el análisis granulométrico de los agregados, determinando la distribución de tamaños de partículas en una muestra (ASTM, 2021).

En el Perú, la NTP 400.037 especifica los requisitos granulométricos y de limpieza para los agregados utilizados en concreto estructural (INACAL, 2020). Asimismo, la NTP 400.038 establece el método de ensayo para la determinación del porcentaje de humedad y absorción de los agregados, parámetros esenciales para el ajuste del diseño de la mezcla (INACAL, 2019). Estas normativas garantizan que los agregados utilizados en proyectos de infraestructura cumplan con los estándares de calidad y desempeño.

3.2.1.11.1 Características físicas de los agregados.

De acuerdo con Kosmatka et al. (2002) “Las características clave de los agregados, como la densidad, resistencia, porosidad y distribución de partículas (granulometría), se evalúan mediante pruebas estándar que facilitan la comparación con valores de referencia. Para una evaluación efectiva de estos requisitos, es crucial entender ciertos conceptos numéricos asociados con estas propiedades.”

3.2.1.11.2 Condiciones de saturación.

“La saturación de una partícula de agregado ideal se puede analizar en una progresión que va desde su estado completamente seco hasta alcanzar una humedad superficial, permitiendo una clara visualización de los diferentes conceptos de saturación a lo largo de este proceso” (ASTM C127, 2015).

“En el proceso de diseño de mezclas, la saturación de los agregados es un aspecto crucial que debe ser considerado con atención, especialmente cuando se trata de

materiales extraídos de canteras que pueden estar saturados o parcialmente saturados, requiriendo un acondicionamiento previo para su uso adecuado” (Mehta y Monteiro, 2014).

3.2.1.11.3 *Peso específico.*

La norma (NTP 400.022.2013), establece el método de ensayo para determinar el peso específico (densidad); peso específico aparente, peso específico de masa y peso específico de masa saturado superficialmente seco del agregado fino. Las definiciones que se sugieren en la presente norma son:

➤ *Peso Específico.*

Es la relación a una temperatura estable, de la masa de un volumen unitario de material, a la masa del mismo volumen de agua destilada libre de gas. (NTP 400.022.2013).

➤ *Peso Específico De Masa. (Pem)*

Es la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de material (incluyendo los poros permeables e impermeables naturales del material). (NTP 400.022.2013).

➤ *Peso Específico Aparente.*

Es la relación a una temperatura estable, de la masa en el aire, de un volumen unitario de material, a la masa en el aire de igual densidad de un volumen igual de agua destilada libre de gas, si el material es un sólido, el volumen es igual a la porción impermeable. (NTP 400.022.2013).

➤ *Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco. (PeSSS)*

Es lo mismo que el peso específico de masa, excepto que la masa incluye el agua en los poros permeables. (NTP 400.022.2013).

3.2.1.11.4 *Peso Unitario.*

El peso unitario de acuerdo a la (NTP 400.017.2011), es el peso (Masa) por unidad de volumen (Este término es obsoleto, es preferible usar el término densidad de masa). Generalmente se expresa en kilos por metro cubico. De acuerdo a la normativa se estudiaron:

- Peso unitario volumétrico seco suelto.
- Peso unitario volumétrico seco compactado.

3.2.1.11.5 *Porcentaje de vacíos.*

El porcentaje de vacíos, según la Norma Técnica Peruana, se refiere a la proporción de espacios vacíos entre las partículas de un agregado (fino, grueso o mixto) en estado suelto o compactado. Se calcula la diferencia entre el volumen total del agregado y el volumen de las partículas sólidas, expresado como un porcentaje.

La NTP 400-017-2011 establece los métodos para determinar la densidad de masa (peso unitario) del agregado y calcular el porcentaje de vacíos. Esta norma proporciona los procedimientos, equipos y cálculos necesarios para obtener estos parámetros de manera precisa.

Figura 8

Formula de porcentaje de vacíos.

$$\% \text{ vacios} = \frac{(S_B * Da - Pu * Da)}{S_B} * 100$$

Donde:

- S_B : Peso Especifico de Masa
- Da : Densidad del agua
- Pu : Peso Unitario Compactado seco

3.2.1.11.6 *Absorción*

La norma (NTP 400.022.2013), establece el método de ensayo para determinar el porcentaje de absorción (después de 24 horas en el agua). Podemos definir la absorción,

como la cantidad de agua absorbida por el agregado sumergido en el agua durante 24 horas. Se expresa como un porcentaje del peso del material seco, que es capaz de absorber, de modo que se encuentre el material saturado superficialmente seco.

Figura 9

Formula de porcentaje de absorción.

$$\% \text{ absorcion} = \frac{500 - W_0}{W_0} * 100$$

Donde:

500= es la cantidad de agregado fino saturado superficialmente seco (gr)

W_0 =peso del agregado fino secado al horno (gr)

3.2.1.11.7 *Contenido de humedad.*

“Es la cantidad de agua que contiene el agregado en un momento dado, el contenido de humedad es una de las propiedades físicas del agregado que no se encuentra limitada en especificaciones, sin embargo, podemos manifestar, que, en los agregados finos, el contenido de humedad puede llegar a representar un 8% a más, mientras que en el agregado grueso dicho contenido de humedad, puede representar un 4%.” (NTP 339.185, 2013)

Figura 10

Formula de porcentaje de humedad.

$$\% \text{ humedad} = \% \omega = \frac{H - S}{S} * 100$$

Donde:

- H: Peso del agregado Húmedo
- S: Peso del agregado en condición Seca.

3.2.1.11.8 *Porosidad*

“La porosidad en agregados, según las normas se refiere a la cantidad de espacio vacío dentro del agregado. Este espacio vacío, o porosidad, se determina mediante un

método de ensayo que involucra el peso unitario o densidad del agregado” (NTP 400.017, 2012).

3.2.1.12 Tipos de cemento y sus aplicaciones

“A continuación, se presentan los distintos tipos de cementos y sus usos principales.” (Pasquel, 2002).

Cementos según la Norma ASTM C150: La norma ASTM C150 regula los cementos Portland empleados en la construcción, estableciendo cinco tipos principales: el Tipo I, de uso general; el Tipo II, con moderada resistencia a sulfatos; el Tipo III, de alta resistencia inicial; el Tipo IV, de bajo calor de hidratación, ideal para estructuras masivas; y el Tipo V, con alta resistencia a los sulfatos. Estos cementos son ampliamente utilizados en diversas aplicaciones estructurales y de infraestructura (ASTM, 2023).

3.2.1.13 Agua.

“El agua utilizada en la preparación del concreto juega un papel fundamental en el proceso de hidratación del cemento y en la calidad final de la mezcla. La normativa ASTM C1602 regula los requisitos para el agua de mezclado y curado del concreto, estableciendo límites en la cantidad de impurezas permitidas, como sulfatos, cloruros y materia orgánica” (ASTM, 2020).

En el Perú, la NTP 339.088 establece los requisitos de calidad del agua para concreto, incluyendo los límites permisibles de contaminantes y el método de ensayo para su evaluación (INACAL, 2019). Asimismo, la Norma Técnica E.060 del Reglamento Nacional de Edificaciones exige que el agua utilizada en el concreto sea potable o cumpla con los estándares establecidos en la NTP 339.088 (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2019).

Agua para el curado: El agua de curado es utilizada para mantener el concreto húmedo después de su colocación y acabado. Ayuda a prevenir la pérdida excesiva de

humedad y permite que el concreto se endurezca adecuadamente, mejorando su resistencia y durabilidad. (MTC, 2016)

3.2.1.14 Diseño de mezcla

El diseño de mezclas de concreto es un proceso fundamental para garantizar la resistencia, durabilidad y trabajabilidad del material, especialmente en entornos expuestos a agentes agresivos como los sulfatos. En el ámbito internacional, el American Concrete Institute (ACI) establece criterios fundamentales a través de la norma ACI 211, la cual detalla los procedimientos para la dosificación de mezclas de concreto en función de la resistencia requerida, el tamaño máximo del agregado y las condiciones de exposición (ACI, 2009).

En el contexto peruano, el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) regula el diseño de mezclas de concreto mediante la Norma Técnica E.060 - Concreto Armado. Esta normativa establece las especificaciones y requisitos mínimos de resistencia y durabilidad del concreto en función a los factores a los cuales este expuesto. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2019). Además, la Norma Técnica Peruana (NTP) 339.034 especifica los procedimientos para la dosificación de mezclas de concreto en el país (INACAL, 2020).

3.2.1.15 Mecanismo de Hidratación

Según Fernández Cánovas (2002) “La hidratación es un proceso químico complejo entre agua y componentes del cemento, transformando un estado plástico en uno endurecido y resistente. Los componentes del cemento reaccionan con el agua, produciendo hidróxidos e hidratos de calcio. La finura del cemento acelera la reacción, mientras que el tiempo la ralentiza. A diferencia de la creencia común, la hidratación no une partículas de cemento, sino que las dispersa en productos de hidratación. Este proceso

exotérmico libera calor y se ve influenciado por temperatura, tiempo y relación agua/cemento, determinando sus diferentes etapas:

- **Plástico:** La combinación de agua y polvo de cemento para formar una pasta moldeable es crucial. A medida que se reduce la proporción de agua en relación con el cemento, se logra una mayor concentración de partículas de cemento en la pasta compactada, lo que a su vez resulta en una estructura de hidratación significativamente más resistente. La presencia de yeso en la mezcla desempeña un papel importante al ralentizar el proceso de reacción, lo que da lugar a un periodo de latencia o reposo, cuya duración puede variar entre 40 y 120 minutos, dependiendo de factores como la temperatura ambiente y el tipo específico de cemento utilizado
- **Fraguado Inicial:** En este estado, se aceleran las reacciones químicas en la pasta de cemento, lo que inicia el endurecimiento y la pérdida de plasticidad, con un aumento en la resistencia a la deformación y generación de calor de hidratación.
- **Fraguado Final:** Una vez concluida la etapa de fraguado inicial, se alcanza un estado caracterizado por un endurecimiento notable y la presencia de deformaciones permanentes, marcando el punto en que la estructura del gel se estabiliza mediante el ensamblaje definitivo de sus partículas endurecidas.
- **Endurecimiento:** Una vez superado el fraguado final, se alcanza un estado de estabilidad en el que las propiedades de resistencia no solo se conservan, sino que también experimentan un aumento progresivo con el transcurso del tiempo. La hidratación sostenida de los silicatos de calcio

es la reacción principal que sustenta este proceso, el cual, en teoría, puede extenderse de manera indefinida”.

3.2.1.16 Fisuras

3.2.1.16.1 Las fisuras en el Concreto

“La fisuración del concreto puede ser causada por múltiples factores y puede tener consecuencias variadas, desde afectar solo la estética de una estructura hasta indicar problemas estructurales graves o falta de durabilidad. La gravedad de las fisuras depende del tipo de estructura y la naturaleza de la fisuración, por lo que lo que puede ser aceptable en un edificio residencial puede no serlo en una estructura que requiere una mayor integridad, como un depósito de líquidos” (Grant, 1993).

Figura 11

Clasificación de los fallos en una edificación.

Ítem	Clasificación	Descripción
1	Microfisuras: $e < 0.05$ mm	En general carecen de importancia.
2	Fisuras: $0.1 < e < 0.2$ mm	En general son poco peligrosas, a excepción de ambientes agresivos, donde esto puede favorecer la corrosión.
3	Macrofisuras: $0.2 < e < 0.4$ mm	Estas son las fisuras que pueden presentar repercusiones estructurales de importancia.
4	Grietas: $0.4 < \text{ancho} < 1.00$ mm	Existe reducción en la capacidad sísmoresistente. Debe desocuparse el edificio y proceder a la rehabilitación temporal.
5	Fracturas: $1.0 < \text{ancho} < 5.0$ mm	Existe una reducción importante en la capacidad sísmo resistente. Deberá procederse a una evaluación definitiva urgente, para determinar se procede a la demolición.
6	Dislocación: ancho > 5.0 mm	

Nota. (Torrealva, 2018).

Figura 12

Guía para anchos de fisura razonables, concreto armado bajo cargas de servicio.

Condición de Exposición	Ancho de fisura	
	in.	mm
Aire seco o membrana protectora	0,016	0,41
Humedad, aire húmedo, suelo	0,012	0,30
Productos químicos descongelantes	0,007	0,18
Agua de mar y rocío de agua de mar, humedecimiento y secado	0,006	0,15
Estructuras para retención de agua†	0,004	0,10

Nota. (ACI 224R-01, 2001).

3.2.1.16.2 Formas de tratamiento de las fisuras en el concreto.

A. Costura de fisuras

“El proceso de reparación de fisuras, conocido como 'coser', involucra dos pasos clave: primero, se perforan orificios estratégicamente a ambos lados de la fisura; posteriormente, se insertan abrazaderas metálicas en forma de U en estos orificios, asegurándolas firmemente con mortero para garantizar una reparación sólida.” (Sydney, 1965).

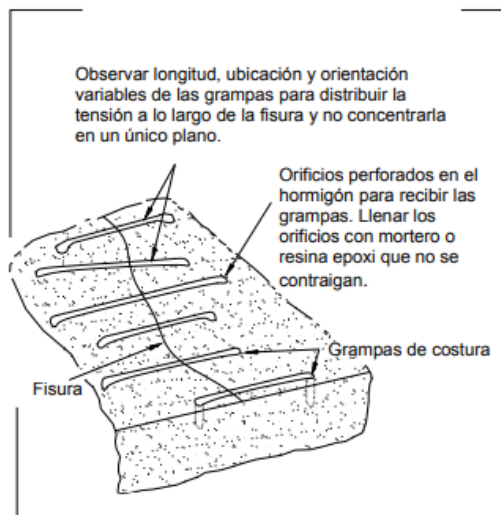
“El objetivo principal de este método es recuperar la resistencia a la tracción en fisuras de gran magnitud, garantizando así la integridad estructural del material.” (Hoskins, 1991).

Coser una fisura puede incrementar la rigidez de la estructura, generando un efecto de restricción adicional. Como resultado, pueden aparecer nuevas fisuras en áreas distintas del concreto, debido a la redistribución de tensiones. En algunos casos, es necesario reforzar las secciones adyacentes para minimizar el riesgo de nuevas fisuras. Para una resolución efectiva, puede ser conveniente combinar la cosecha de fisuras con

otras técnicas, con el fin de abordar de manera exhaustiva la concentración de tensiones y asegurar la estabilidad global de la estructura.

Figura 13

Costura de una fisura.



Nota. Costura de una fisura. (Johnson, 1965).

B. Armadura Convencional

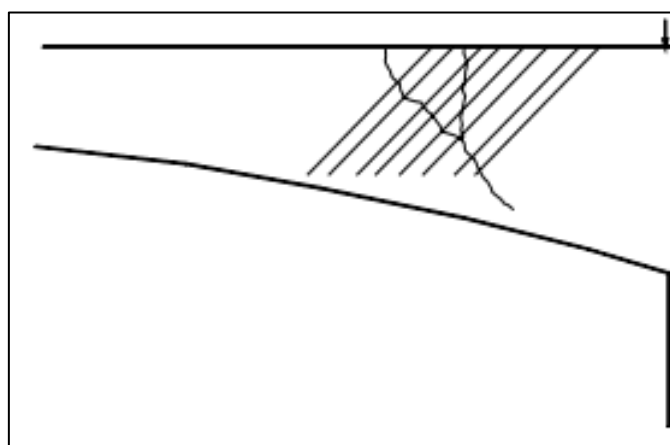
“Una técnica particularmente efectiva para la reparación de vigas de concreto dañadas por fisuras en estructuras de puentes es la inserción de barras de armadura, las cuales se aseguran firmemente utilizando adhesivo epoxi, garantizando así una reparación sólida y duradera.” (Stratton & McCollom, 1974).

“El proceso de reparación de fisuras en estructuras de concreto implica una serie de pasos cuidadosamente planificados y ejecutados. Inicialmente, se sella la fisura para evitar cualquier daño adicional. Luego, se perforan orificios estratégicamente en un ángulo de aproximadamente 90 grados, de manera que intersequen el plano de fisuración, permitiendo así una reparación efectiva. Posteriormente, se inyecta adhesivo epoxi en estos orificios y en la fisura misma, asegurando una unión sólida. Un aspecto crucial de este proceso es la colocación de barras de armadura, específicamente de tamaños No. 4 o 5, que se extienden al menos 0,5 m a cada lado de la fisura, proporcionando un refuerzo

estructural significativo. La separación entre estas barras de armadura se selecciona en función de los objetivos específicos de la reparación, ofreciendo flexibilidad en el diseño. Es fundamental que el adhesivo epoxi utilizado en este proceso tenga una baja viscosidad para asegurar una inyección y unificación efectivas, y que cumpla con los rigurosos estándares de calidad establecidos en ASTM C 881 Tipo IV.” (Grant, 1993).

Figura 14

Orientación de la Reparación con barras.



Nota. (Stratton et al., 1978).

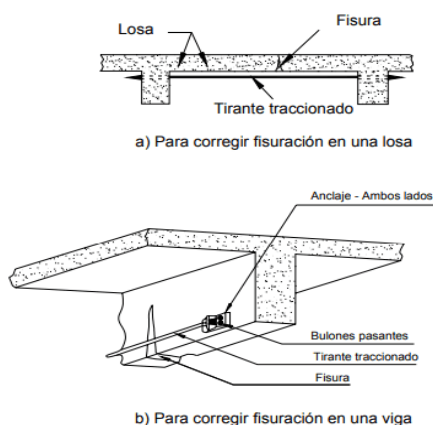
C. Acero de Pretensado

“En el ámbito de la ingeniería estructural, el postensado emerge como una solución altamente efectiva para abordar dos desafíos comunes: el refuerzo de secciones críticas de elementos estructurales y el cierre de fisuras preexistentes. Esta técnica, que consiste en aplicar una fuerza de compresión a través de barras o cables de pretensado, requiere una atención especial en dos aspectos clave. Primero, es fundamental asegurar un anclaje adecuado del acero de pretensado para evitar cualquier tipo de fallo o desplazamiento del problema hacia otras partes de la estructura. Segundo, es esencial realizar el procedimiento con el debido cuidado y precisión, lo que incluye un análisis detallado de los efectos de la fuerza de tesado sobre las tensiones internas de la estructura, considerando especialmente la excentricidad de la carga. Además, en el caso de

estructuras indeterminadas, es imprescindible evaluar los efectos de los momentos secundarios y las reacciones inducidas que puedan surgir durante el proceso de postensado, garantizando así la integridad y estabilidad de la estructura.” (Nilson, 1987, pág. 126).

Figura 15

Para corregir fisuración en losa y en viga.



Nota. Ejemplo de pre tensado (Johnson, 1965).

3.2.1.16.3 Formas de controlar las fisuras en el concreto.

“La evaluación de fisuras en una estructura es un proceso sistemático que permite determinar la gravedad, las causas y las posibles soluciones para reparar las fisuras. Este proceso es fundamental para garantizar la seguridad, durabilidad y funcionalidad de la estructura. A continuación, se describe el procedimiento detallado para evaluar fisuras, basado en normativas y prácticas reconocidas” (Rosa Katherine, 2019).

A. Inspección Visual.

La Identificación de Fisuras se realiza con el Objetivo de Reconocer la presencia, ubicación y características de las fisuras.

Proceso:

- Observar la estructura en busca de fisuras visibles.
- Registrar las dimensiones de las fisuras.

- Tomar fotografías y hacer esquemas para documentar las fisuras.

B. Medición del Ancho de las Fisuras.

- Uso de Calibradores o fisurómetro digital.
 - ❖ **Herramientas:** Calibradores de fisuras, fisurómetros o microscopios portátiles.
 - ❖ **Proceso:** Medir el ancho de la fisura en varios puntos para obtener un valor promedio.

Figura 16

Microscopio para medición de Fisuras.



Nota. Web de compras mercado libre.

Figura 17

Medidor de fisuras sika.



Nota. Sika certificación ISO-9001.

C. Análisis de las Causas

➤ Factores a Considerar

- ❖ **Cargas estructurales:** Verificar si las fisuras son causadas por cargas excesivas o mal diseño.
- ❖ **Retracción por secado:** Evaluar si la pérdida de humedad ha generado tensiones internas.
- ❖ **Corrosión del acero:** Inspeccionar el estado del refuerzo metálico para detectar oxidación.
- ❖ **Movimientos térmicos:** Analizar si los cambios de temperatura han causado expansión o contracción.
- ❖ **Deficiencias constructivas:** Revisar posibles errores en la dosificación, colocación o curado del concreto.

3.3 Definición de términos.

3.3.1 Método de inyección.

"La inyección en concreto fisurado es una solución innovadora y especializada que fusiona materiales de vanguardia con técnicas de aplicación avanzadas, con el objetivo de restaurar la integridad estructural y significativamente prolongar la vida útil de edificios e infraestructuras. Para garantizar su eficacia, es crucial llevar a cabo un diagnóstico exhaustivo y preciso, seleccionar los materiales más adecuados para cada caso y ejercer un control meticuloso durante todo el proceso de aplicación, asegurando así un resultado óptimo y duradero" (Jorge Condori, 2023).

3.3.2 Bio concreto.

"El bio concreto es un material de construcción que incorpora bacterias productoras de carbonato de calcio (CaCO_3) y nutrientes en la matriz del concreto.

Cuando se forman fisuras, las bacterias se activan y precipitan CaCO_3 , sellando las fisuras y restaurando la integridad estructural" (Jonkers et al., 2010).

3.3.3 Resistencia

“La pasta de cemento, con sus propiedades adhesivas, es la clave para la superior resistencia a la compresión en concreto en comparación con la tracción. La concentración de esta pasta, medida por la relación agua/cemento, es el factor principal que influye en esta resistencia. Además, el proceso de curado desempeña un papel esencial, aunque indirecto, al apoyar la hidratación necesaria para alcanzar la máxima resistencia del concreto” (Pasquel, 2002).

3.3.4 Compresión

Desde una perspectiva técnica, la resistencia a la compresión se caracteriza por la relación entre la carga soportada y el área de aplicación, siendo común su expresión en unidades de presión como kg/cm^2 , MPa o psi. La evaluación de esta propiedad es fundamental en la verificación de conformidad de una mezcla de concreto con respecto a la resistencia a la compresión especificada ($f'c$) para una aplicación estructural específica.

“Los resultados de las pruebas con cilindros de concreto sirven para controlar la calidad, aceptar o rechazar el concreto, y estimar su resistencia en estructuras. Estos datos permiten planificar aspectos clave de la construcción, como el momento óptimo para remover las formaletas, y evaluar la eficacia del curado y la protección proporcionada a la estructura, garantizando así su integridad y durabilidad” (Pasquel, 2002).

IV Metodología

4.1 Tipo y nivel de investigación

4.1.1 Tipos de investigación

Esta investigación es de Tipo Cuantitativa debido a que busca comprobar su Hipótesis a partir de la recolección y análisis de los resultados numéricos extraídos de las pruebas de laboratorio de las muestras preparadas. Además, la investigación presenta un enfoque secuencial, preciso y concreto que busca evaluar la influencia del Bio reparador en las fisuras del concreto midiendo sus propiedades de resistencia a la compresión.

Es una Investigación Experimental porque comprueba la hipótesis manipulando controladamente la variable independiente, como es la cantidad del bio reparador en las fisuras del concreto, generando así una relación de causa y efecto. Este tipo de investigación plantea que las modificaciones de las variables dependientes en este caso el incremento de la resistencia a la compresión y el porcentaje de sellado de las fisuras en el concreto se deba exclusivamente a los cambios en la variable independiente. El objetivo es obtener resultados concretos y verificables para responder a los objetivos planteados en la investigación.

4.1.2 Niveles de investigación

Esta investigación tiene un nivel de investigación descriptivo, ya que se relaciona con el objetivo de describir y caracterizar las propiedades y comportamiento del concreto en las condiciones mencionadas. Se busca obtener información detallada sobre la resistencia a la compresión inyectando el bio reparador en las fisuras del concreto. Este enfoque permite proporcionar una imagen clara y detallada de las características del concreto evaluado en la investigación.

4.2 Ámbito temporal y espacial

Temporal: El proyecto se llevó a cabo de manera temporal durante el año 2024, con pruebas realizadas en distintos meses del mismo año.

Espacial: el estudio se realizó en la ciudad del cusco en los laboratorios de mecánica de suelos y microbiología.

4.3 Población y muestra

4.3.1 Población

La investigación se llevó a cabo en probetas de concreto con una resistencia a la compresión de 210 kg/cm², las cuales fueron sometidas a un proceso de fisuración controlada para evaluar la eficacia de una solución bio reparadora a base de bacterias.

Tabla 1*Número muestras a elaborar.*

CANTIDAD DE MUESTRA UTILIZADAS EN LOS ENSAYOS DE LABORATORIO (CONCRETO f'c: 210 kg/cm²)		
DESCRIPCION	SIMBOLOGIA	CANTIDAD
Resistencia del Concreto Patrón	RCP	24.00
Testigos de Concreto de 15 x 30 cm (discos de concreto de espesor 2.54 cm)	DC	4.00
TESTIGOS PARA PRUEBAS EXPERIMENTALES CURADAS CON SOLUCIÓN NITRATO DE CALCIO (N)		
Testigos de Concreto fisuradas + Bio reparador (Solución Nitrato de Calcio) Curadas Con Bio reparador	CF+BI_NC_CBI	24.00
Testigos de Concreto fisuradas + Bio reparador (Solución Nitrato de Calcio) Curadas Con Agua	CF+BI_NC_CA	24.00
TESTIGOS PARA PRUEBAS EXPERIMENTALES CURADAS CON SOLUCIÓN LACTATO DE CALCIO (L)		
Testigos de Concreto fisuradas + Bio reparador (Solución Lactato de Calcio) Curadas con Bio reparador.	CF+BI_LC_CBI	24.00
Testigos de Concreto fisuradas + Bio reparador (Solución Lactato de Calcio) Curadas con Agua	CF+BI_LC_CA	24.00
Total, de Testigos		124.00

4.3.2 Muestra

Dado que todos los elementos de la población fueron incluidos en el análisis, la muestra y la población son idénticas. Esto significa que los resultados obtenidos son directamente generalizables a toda la población de probetas de concreto tratadas con bio reparador.

Las probetas cilíndricas fueron sometidas a pruebas de resistencia a la compresión para asegurar que el concreto utilizado cumple con los requerimientos establecidos tanto en las normas nacionales como en las internacionales, específicamente en lo referente a las especificaciones del ACI para el diseño de mezclas.

Para garantizar la reproducibilidad de los resultados, se emplearon moldes cilíndricos con las dimensiones estándar de 10 cm x 20 cm en la fabricación de las probetas, evitando así variaciones dimensionales que pudieran influir en los ensayos.

Siguiendo el procedimiento establecido en la norma técnica peruana, las probetas fueron sometidas a un ciclo de curado en agua y, al finalizar, se determinó su resistencia a la compresión axial. (INACAL - NTP 339.034.2017).

Tabla 2

Cantidad de pruebas realizadas en laboratorio.

MUESTRAS EXPERIMENTALES				
Edades (días)	7 días	14 días	28 días	60 días
RCP	6.00	6.00	6.00	6.00
TESTIGOS PARA PRUEBAS EXPERIMENTALES CURADAS CON SOLUCIÓN NITRATO DE CALCIO (N):				
Edades (días)	37 días	44 días	51 días	58 días
CF+BI-NC-CBI	6.00	6.00	6.00	6.00
CF+BI-NC-CA	6.00	6.00	6.00	6.00
DC (15 cm x 30 cm)		2.00		
TESTIGOS PARA PRUEBAS EXPERIMENTALES CURADAS CON SOLUCIÓN LACTATO DE CALCIO (L)				
CF+BI-LC-CBI	6.00	6.00	6.00	6.00
CF+BI-LC-CA	6.00	6.00	6.00	6.00
DC (15 cm x 30 cm)		2.00		
Sub total de Testigos	30.00	34.00	30.00	30.00
TOTAL	124.00			

4.3.3 Muestreo

Debido a las limitaciones del estudio y a la disponibilidad de las briquetas, se empleó un muestreo no probabilístico por conveniencia, considerando la totalidad de las unidades fabricadas.

4.4 Instrumentos

Siguiendo los protocolos establecidos en las normas ASTM y NTP, se realizaron pruebas de laboratorio en las muestras de concreto en laboratorios de la ciudad del Cusco. Los datos obtenidos fueron procesados y analizados mediante el software Excel y SPSS.

Con el fin de garantizar la calidad de los cultivos bacterianos, las cepas serán adquiridas de los laboratorios nacionales que cuenten con la certificación ISO/IEC 17025, lo cual asegura la competencia técnica y la confiabilidad de los resultados de los ensayos.

Las cepas bacterianas fueron sometidas a un estrés severo, el cual consistió en someterlas a ciclos de temperatura elevada en un baño isotérmico a 120°C, variaciones en el pH del medio de cultivo y una reducción significativa en la disponibilidad de nutrientes.

Wiktor y Jonkers, (2014) “Se seleccionó el medio de cultivo BHI como base para el desarrollo de las bacterias, considerando su capacidad nutritiva. No obstante, se reconoció la necesidad de realizar ajustes en la composición del medio según el comportamiento de las cepas bacterianas. Al no existir normativas específicas para el uso de bacterias en el concreto, la optimización de las condiciones de cultivo y las dosis de inóculo se basaron en la experiencia y en los resultados obtenidos en estudios previos.”

4.5 Procedimientos

4.5.1 Organización

Los investigadores financiaron todas las etapas del proyecto, incluyendo la obtención de muestras en campo, los cultivos bacterianos, los análisis de laboratorio, el transporte de materiales y los salarios del personal involucrado.

Las pruebas de concreto se efectuaron en laboratorios de la ciudad del Cusco, cumpliendo con las normas técnicas correspondientes. Por otro lado, las cepas de

Paenibacillus polymyxa fueron adquiridas en laboratorios nacionales acreditados, garantizando así su calidad y pureza.

4.5.2 Desarrollo y procedimientos del componente microbiológico.

4.5.1.1 Equipos y herramientas utilizadas en la investigación (microbiología).

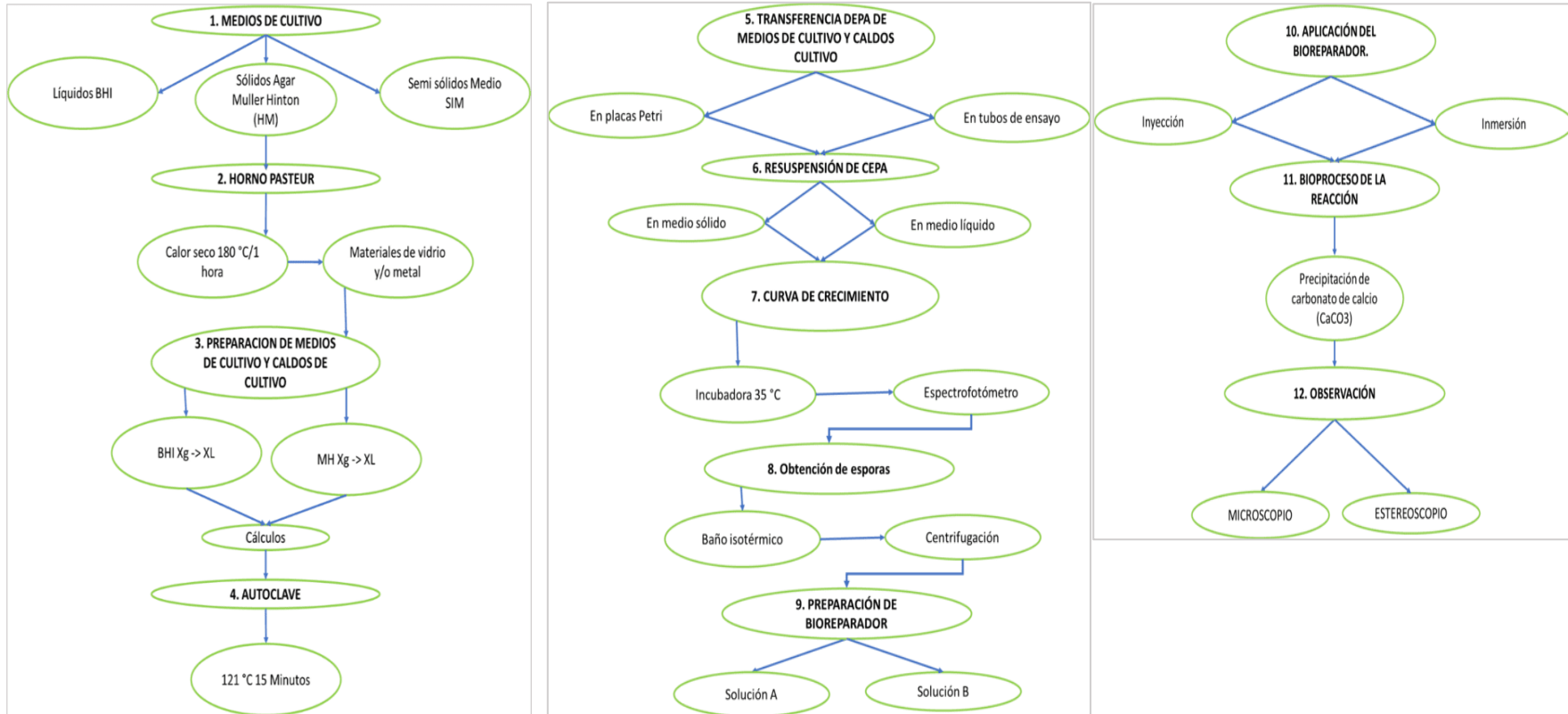
Tabla 3

Equipos y herramientas usados en el laboratorio de microbiología.

EQUIPOS Y HERRAMIENTAS UTILIZADOS PARA LA ELABORACIÓN DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO, REQUERIDAS EN LA PRESENTE INVESTIGACIÓN			
Equipos y Materiales Utilizados en el Laboratorio de Biología			
Equipos de protección personal (mandil, cofia, gafas barbijo, guantes)	Espátula	Parafin " M" cinta adhesiva	Micropipetas de 2_20 μ l 20_200 μ l,100_1000 μ l
Autoclave para la esterilización de material	probetas graduadas, de 100mL, 250mL,500mL Y 1000mL	alcohol 70%	centrifugadora
Horno Pasteur	Botellas para la preparación de medios de cultivo de 200,400 y 1000 ml	Legía al 10%	Silicato de sodio
Destilador de agua	pabulo de algodón	Marcador vidrio grafico	Gluconato de Sodio
Estufa eléctrica	Rollo de papel Kraft	Refrigeradora	Extracto de levadura
Balanza Analítica	Medios de cultivo	Asa bacteriológica de siembra	Bacteria
Placas Petri de 100mm x 20 mm estériles	Mechero de Bunsen	Agua destilada	Jeringas
Gradillas para tubos de ensayo	Encendedor	Incubadora	Botella descartable
Porta y cubre objetos	Puntos con filtro estéril para micropipetas	Espectrofotómetro	plumón indeleble papel aluminio

4.5.1.2 Procedimientos Biológicos

Diagrama de flujo - parte microbiológico



4.5.1.3 Obtención de las Cepas.

Las cepas utilizadas en esta investigación, fueron obtenidas de Gen Lab, mientras que la cepa en cuestión forma parte del banco de cepas del laboratorio Gen Lab del Perú S.A.C., destacando la procedencia y la fuente de las cepas empleadas.

En el marco de nuestra investigación, se seleccionó y utilizó el microorganismo *Paenibacillus Polymyxa*, específicamente el derivado de la cepa ATCC® 43865™, para llevar a cabo los estudios y experimentos previstos.

La cepa en cuestión ha sido identificada y catalogada con el código específico H04297-A, lo que facilita su reconocimiento y referencia en contextos científicos y de investigación.

Se presenta el producto **KWIK-STIK™**, identificado como *Paenibacillus Polymyxa*, derivado de la cepa ATCC® 43865™, y catalogado con el código **0228P** por Microbiologics.

4.5.1.4 Evaluación de la Viabilidad de Cepa.

- La preparación de la solución de Peptona de Caseína al 0,1% se realizó con cuidado el mismo día del inicio del experimento, seguida de una esterilización rigurosa utilizando una autoclave específicamente calibrada para asegurar una temperatura precisa de 121°C durante 15 minutos. Esta calibración garantizó la eficacia del proceso de esterilización, lo que fue crucial para evitar cualquier contaminación y asegurar la validez de los resultados del experimento.
- Se utilizó la cepa de *Paenibacillus polymyxa* ATCC 43865, y se prepararon tubos de ensayo esterilizados mediante autoclave a una temperatura de 121°C durante 15 minutos.

- El Agar Nutritivo se sometió a un proceso de esterilización en una autoclave calibrada a 121°C durante un período de 15 minutos.
- Las Placas Petri se esterilizaron en un horno especializado a una temperatura de 175°C durante 120 minutos, y posteriormente se utilizaron en una incubadora calibrada a 35°C para controlar el crecimiento y desarrollo de las cepas.

4.5.1.5 Esterilización y preparación de medios de cultivo

A. Procedimiento.

Se empleó un método de esterilización por calor seco en un horno Pasteur para tratar todo el material de vidrio, sometiéndolo a una temperatura específica de 180 °C por un período de 1 hora. Como paso previo a la medición de los medios de cultivo, se llevó a cabo la calibración de la balanza analítica, asegurando así la precisión en las medidas. Se realizaron los pesajes requeridos para la preparación de los medios de cultivo, específicamente utilizando los medios BHI y MH en esta instancia. Se realizó el pesaje de 37 g/L de caldo BHI sobre una superficie de papel de aluminio, siguiendo estrictamente las recomendaciones del fabricante, y se destacó la importancia de medir múltiples cantidades para asegurar el total exacto de 37 g/L.

Figura 18

Comprobación final del estado y la exactitud de la balanza.



La herramienta clave para determinar el volumen de agua destilada fue una probeta graduada, que ofreció una medición precisa gracias a su capacidad de 1000 mL y

su graduación detallada. La exactitud en las proporciones de agua destilada y caldo BHI es crucial para la preparación de mezclas consistentes y reproducibles. Se utilizaron proporciones específicas (7.4 g de BHI para 200 mL, 14.8 g para 400 mL y 37 g para 1000 mL de agua destilada) para asegurar la precisión en la preparación de las mezclas.

Figura 19

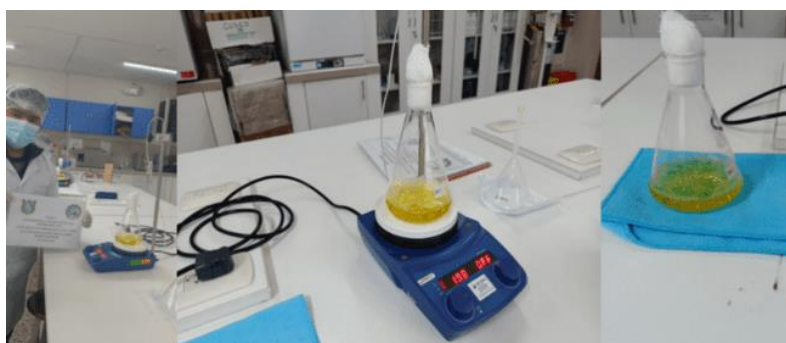
Protocolo para la elaboración de medios de cultivo y su posterior dilución.



En el proceso de preparación del medio de cultivo, se empleó agua destilada para la rehidratación, lo que garantizó la pureza y la ausencia de contaminantes en la mezcla, seguido de un calentamiento controlado en una estufa hasta alcanzar la ebullición.

Figura 20

Agitación térmica de los medios de cultivo.



Con el fin de asegurar la esterilidad del recipiente, la botella que contenía el medio de cultivo fue colocada en una autoclave. Aunque la tapa de rosca no se cerró completamente, permitiendo una mínima apertura, el proceso de esterilización se llevó a cabo a una temperatura de 121 grados Celsius por un período de 15 minutos.

Figura 21

Uso de la autoclave para esterilización de los medios de cultivo.



El mantenimiento de la temperatura a 121 °C durante 15 minutos, seguido de un enfriamiento controlado, es crucial para la esterilización efectiva en la autoclave, asegurando la eliminación de microorganismos y la preparación segura del medio de cultivos.

La colocación de los medios de cultivo en un baño de agua a 45 °C durante 30 minutos es un paso crucial, ya que la temperatura controlada es esencial para la activación y el crecimiento óptimo de los microorganismos, asegurando así la efectividad del proceso.

Figura 22

Proceso de enfriar los medios de cultivos en condiciones ambientales.



4.5.1.6 Elaboración de los Medios de Cultivo para el alimento de las bacterias.

A. Procedimiento.

Posterior a la esterilización terminal en autoclave (121°C, 15 minutos) de los caldos y medios de cultivo, se procedió al traslado de estos a una cámara de flujo laminar, diseñada para minimizar la contaminación ambiental. En este entorno controlado, se aplicó una segunda estrategia de esterilización no térmica, consistente en la irradiación con luz ultravioleta (UV) a una longitud de onda letal para microorganismos (típicamente 254 nm), con el objetivo de maximizar la seguridad de la esterilidad de los medios antes de su uso en cultivos microbiológicos.

Dentro del entorno controlado de una cabina de flujo laminar, específicamente en la zona designada para esterilidad bajo el mechero, se procedió a verter cuidadosamente 20 mililitros de agar en placas Petri previamente esterilizadas. Como medida de precaución adicional para minimizar el riesgo de contaminación, la abertura de la botella graduada utilizada para contener el agar fue sometida a un proceso de flameado antes y después del vertido.

Figura 23

Utilización de placas y tubos para el crecimiento de microorganismos.



Para garantizar la seguridad y pureza de los medios, se evitó su exposición al ambiente hasta el momento de uso, minimizando así el riesgo de contaminación.

Figura 24

Solidificación de los medios de cultivos en las placas Petri.



La temperatura dentro de la unidad de refrigeración se mantuvo dentro del rango específico de 4 a 8 °C, conforme a las mejores prácticas para la conservación de este tipo de preparaciones.

4.5.1.7 Reactivación y Cultivo de Cepa.

A. Procedimiento.

➤ Placas Petri + Técnica de Estrías = Crecimiento Controlado.

Para preparar la re suspensión, se retiró de la refrigeradora (mantenida entre 2 y 8 °C) la cepa bacteriana conservada. Se sacaron las placas Petri (medio solidificado) y tubos de ensayo (medio líquido) de la refrigeradora para re suspender las bacterias.

Figura 25

Cepa bacteriana y medios de cultivo sólidos y líquidos para su reactivación.



Con el fin de garantizar la pureza de la cepa bacteriana, se utilizó un entorno de trabajo esterilizado, consistente en una mesa y un mechero Bunsen, para manipular el material de manera abierta, minimizando así el riesgo de contaminación. Posterior a la

esterilización del asa de siembra, se permitió su enfriamiento durante un breve período de 10 a 20 segundos, próximo al mechero. Esta medida de esterilización adicional tiene como objetivo prevenir la presencia de microorganismos externos que podrían potencialmente interferir con los resultados de nuestra investigación.

Figura 26

Trabajo en un ambiente estéril.



Se procedió a obtener una muestra del inóculo de manera estéril, seleccionando cuidadosamente la zona de crecimiento óptimo en la superficie del medio de cultivo, maniobrando el asa de manera superficial para evitar cualquier penetración que pudiera comprometer la pureza de la muestra. Posteriormente, se depositó el inóculo en un sector diminuto de la superficie de la placa, ubicado en las inmediaciones del borde, y se procedió a su distribución mediante trazos en forma de zigzag, muy próximos entre sí, sobre un área delimitada y extremadamente reducida.

Figura 27

Re suspensión del inóculo en medio líquido.



Una vez más, se sometió el asa de siembra a la llama para su esterilización y, tras un breve período de enfriamiento, se utilizó nuevamente para trazar sobre las estrías previamente sembradas, esta vez en un sector immaculado y separado de la placa, evitando cualquier contacto con la siembra inicial.

Figura 28

Introducción de la bacteria en placas de Petri con agar.



Una vez esterilizada el asa de siembra mediante exposición a la flama y posterior enfriamiento, se procedió a sellar herméticamente la placa de Petri, la cual fue posteriormente almacenada en refrigeración a una temperatura controlada entre 4 y 8 °C, en espera de su futuro uso.

4.5.1.8 Técnicas de Inoculación en Medios Contenidos en Tubos.

Durante nuestra sesión de trabajo con materiales expuestos y con el uso de mecheros Bunsen, adoptamos una postura estratégica con el tubo de cultivo, manteniéndolo inclinado para facilitar la sedimentación de microorganismos aéreos en las paredes exteriores, evitando así su ingreso por la abertura. Paralelamente, manipulamos los tapones con la mano contraria a la que sostenía el tubo, asegurándolos firmemente entre el dedo meñique y el anular, tomando especial cuidado de no depositarlos sobre la superficie de trabajo o cualquier otro lugar cercano.

Figura 29

Traspaso de la cepa bacteriana a un medio de cultivo líquido.



Como medida de precaución final, se procedió a esterilizar la abertura del tubo mediante exposición a la flama justo antes de su cierre posterior a la siembra y la inoculación. Además, se llevó a cabo un riguroso proceso de esterilización de la aguja, verificando exhaustivamente que todas las zonas de la aguja que entrarían en contacto con el medio de cultivo estuvieran completamente desinfectadas.

Con el fin de preservar la pureza del cultivo, se insertó la aguja de siembra en el medio de cultivo con suma precisión, evitando cualquier contacto con las paredes del tubo, lo que hubiera permitido la introducción indeseada de microorganismos. Esta delicada maniobra se realizó bajo estrictas condiciones estériles, garantizando así la integridad del proceso.

Una vez finalizada la siembra, se procedió a enfriar cuidadosamente la aguja en una sección específica del medio de cultivo, tomando precauciones para evitar cualquier daño a este último. Posteriormente, se llevaron a cabo las siguientes acciones de protocolo de esterilización: se sometió el asa a un proceso de esterilización, se volvió a aplicar la flama en la abertura del tubo para asegurar su esterilidad, y se colocó nuevamente la tapa original en su posición. Además, para garantizar la eliminación de cualquier organismo residual, la aguja bacteriológica fue sometida a una nueva exposición a la flama.

Finalmente, el tubo se almacenó en una refrigeradora a una temperatura controlada entre 2 y 8 °C, asegurando así condiciones óptimas para su conservación.

4.5.1.9 Curva de crecimiento bacteriano

A. Procedimiento

En un entorno estrictamente aséptico, se realizó con precisión el subcultivo o repique de una cepa bacteriana, empleando una micropipeta de 1000 μL para transferir una cantidad específica de 50 μL desde un cultivo bacteriano inicial de 5 mL a un recipiente de caldo BHI de mayor capacidad (200 mL), garantizando así un medio óptimo para el crecimiento y desarrollo de la bacteria.

Figura 30

Sembrado de la cepa bacteriana en caldo BHI.



Una vez finalizado su uso, se extrajo con cuidado el filtro estéril para micropipetas (tips) y se depositó en un recipiente de precipitados de 200 mL que había sido previamente preparado con una solución de lejía al 10%. De manera simultánea, se procedió a esterilizar la abertura de la botella graduada, situándola próxima al mechero Bunsen, y a continuación, se selló herméticamente con su tapa correspondiente.

En el punto de partida del experimento ($t=0$), se procedió a la extracción de una muestra de 1 mL de la mezcla bacteriana resultante de combinar el caldo BHI con el inóculo de *Paenibacillus polymyxa*. Esta muestra se destinó a la evaluación de la concentración inicial de colonias bacterianas, la cual se determinó mediante el uso de un

espectrofotómetro, proporcionando así un punto de referencia para el seguimiento del crecimiento bacteriano a lo largo del estudio.

Se colocó el medio bacteriano de 200 mL en una incubadora a 35 °C durante un período de 24 a 48 horas.

Con el fin de monitorear el progreso del cultivo bacteriano, se llevó a cabo un seguimiento sistemático de la concentración de bacterias a intervalos horarios, empleando el espectrofotómetro como herramienta de medición. Posteriormente, se compiló y analizó la serie de datos obtenidos, lo que permitió la construcción de una curva de crecimiento detallada, reflejando así la dinámica de crecimiento de la población bacteriana a lo largo del tiempo.

Figura 31

Cuantificación de crecimiento bacteriano utilizando un espectrofotómetro.



Para establecer un punto de referencia confiable, se tomó en consideración el período de tiempo específico en el que se logró la concentración máxima de colonias, dado que este parámetro crucial es esencial para la óptima extracción de esporas bacterianas. De manera particular, este momento crítico coincide con el pico de concentración de *Paenibacillus polymyxa*, lo que lo convierte en un indicador clave para nuestra investigación.

4.5.1.9.1 *Monitorización de la fase de crecimiento exponencial.*

Con el fin de realizar un seguimiento detallado del crecimiento bacteriano, se llevó a cabo una recopilación sistemática de datos a intervalos horarios mediante el uso de un espectrofotómetro, lo que nos proporcionó una herramienta valiosa para confirmar y verificar con precisión la concentración de bacterias en cada momento del estudio.

D. Análisis del tiempo de crecimiento y esporulación de *Paenibacillus Polymyxa*.

➤ **Procesamiento o cálculo de la prueba.**

Tabla 4

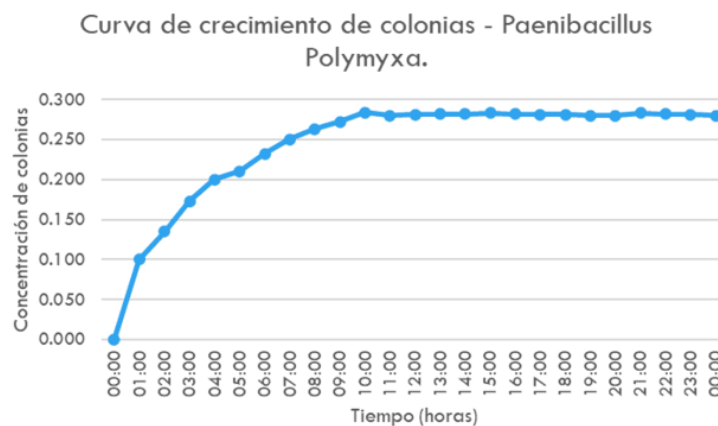
Datos del tiempo y la concentración de curva de crecimiento bacteriana.

Tiempo Hora	Lectura Espectrofotómetro (Densidad Óptica)	Tiempo Hora	Lectura Espectrofotómetro (Densidad Óptica)
01:00	0.100	13:00	0.282
02:00	0.135	14:00	0.282
03:00	0.173	15:00	0.283
04:00	0.200	16:00	0.282
05:00	0.210	17:00	0.281
06:00	0.232	18:00	0.281
07:00	0.250	19:00	0.280
08:00	0.263	20:00	0.280
09:00	0.272	21:00	0.283
10:00	0.284	22:00	0.282
11:00	0.280	23:00	0.281
12:00	0.281	00:00	0.280

➤ **Gráfico de la curva de crecimiento de Paenibacillus Polymyxa.**

Figura 32

Curva de crecimiento de colonias.



➤ **Análisis de la curva de crecimiento**

Un gráfico anterior muestra la curva de crecimiento de la concentración de colonias de bacterias en el medio de cultivo incubado a 35 °C. Se observa que a las 10 horas se alcanzó la máxima concentración de colonias, con una lectura de 0.284 de concentración obtenida mediante un espectrofotómetro. Además, al sembrar la colonia de bacterias en un medio de cultivo de 200 mL, se obtuvieron 1.50 mL de esporas bacterianas tras la centrifugación. En un medio de cultivo de 400 mL, se lograron 3.0 mL de esporas bacterianas, y en un medio de cultivo de 1000 mL, se obtuvieron 7.50 mL de esporas bacterianas.

4.5.1.10 Proceso de esporulación bacteriana.

A. Procedimiento.

Una vez que se detectó el pico de concentración bacteriana, se procedió a la extracción del cultivo de la incubadora, marcando así el punto óptimo para su posterior manipulación y análisis. Con el objetivo de evaluar su resistencia, el cultivo bacteriano fue expuesto a un riguroso protocolo de estrés ambiental, caracterizado por bruscos cambios en la temperatura, fluctuaciones significativas del pH, restricciones nutricionales

y condiciones de humedad controlada, simulando así entornos desafiantes. Posteriormente, el cultivo bacteriano fue sometido a un tratamiento térmico controlado, consistente en una inmersión en un baño isotérmico a una temperatura constante de 80 °C, durante un período de 10 minutos precisos, con el fin de evaluar su resistencia térmica.

Figura 33

Formación de esporas bajo estrés térmico.



Una vez finalizado el tratamiento, se permitió que el cultivo bacteriano se enfriara gradualmente hasta alcanzar la temperatura ambiente, garantizando así una transición suave y controlada hacia condiciones más estables. En una etapa posterior, se procedió a la distribución del cultivo bacteriano en 24 tubos de ensayo de capacidad de 15 mL cada uno, seguido de un proceso de centrifugación controlada durante un lapso de 10 minutos, con el objetivo de separar y concentrar las células bacterianas de manera eficiente.

Figura 34

Sedimentación de esporas mediante fuerza centrífuga.



Una vez eliminado el líquido bacteriano, se procedió a la recuperación del sedimento rico en esporas que se había depositado en el fondo del tubo. Para su posterior análisis, este sedimento de spora se rehidrató en 10 mL de agua destilada, empleando un vórtex (dispositivo de agitación para tubos de ensayo) para asegurar una disolución homogénea. En una primera etapa, el sedimento de spora extraído de dos tubos seleccionados se rehidrató en 5 mL de agua destilada en cada caso, para posteriormente combinar ambos en un solo recipiente, lo que resultó en una solución final de 10 mL de agua destilada con esporas disueltas. Esta solución se sometió a centrifugación. Para asegurar una cantidad óptima de esporas, este proceso de rehidratación, combinación y centrifugación se replicó en cuatro ciclos, permitiendo así la obtención de la cantidad total deseada de esporas.

4.5.1.11 Elaboración de las Soluciones A y B Preparación Detallada de Nitrato de Calcio (BN) y Lactato de Calcio (BL).

“El sistema de reparación en cuestión se basa en el empleo de bacterias específicamente compatibles con el concreto, como se ha documentado en investigaciones previas las cuales tienen la capacidad de generar calcita a partir de minerales disponibles, contribuyendo así a una reducción significativa de la porosidad del concreto. Este sistema innovador opera mediante la sinergia de dos soluciones

complementarias, diseñadas para trabajar en armonía con el fin de lograr un efecto reparador óptimo” (Wiktor & Jonkers, 2012),

Sistema Avanzado de Reparación de Fisuras, Tecnología Innovadora para la Recuperación Estructural Como afirma (Wiktor & Jonkers, 2014)

La estructura básica de este sistema se sustenta en la combinación de dos soluciones clave:

Solución A.

- Silicato de sodio 4,8 g / L.
- Gluconato de sodio 125 g / L.
- Extracto de levadura 1g / L.
- Bacterias *Paenibacillus Polymyxa* 1.6×10^8 esporas / L.

Solución B.

- Lactato de calcio o nitrato de calcio 500 g / L.
- Bacterias *Paenibacillus Polymyxa* 1.6×10^8 esporas / L.

A. Procedimiento.

“Se llevaron a cabo cálculos precisos para la preparación de las soluciones A y B, basándose en las cantidades recomendadas por” (Wiktor et al. 2014).

para una referencia de 1000 mL. Es importante destacar que, aunque inicialmente se mencionan dos soluciones distintas (A y B), ambas contienen los mismos componentes: nitrato de calcio (BN) y lactato de calcio (BL), distribuidos en diferentes frascos para cada solución. Posteriormente, se realizó un cálculo preciso del peso de cada reactivo necesario para un litro de solución, tanto para la Solución A como para la Solución B, rigiéndose estrictamente por las especificaciones técnicas proporcionadas por el fabricante de cada producto.

Se procedió a medir con precisión un volumen de 1000 mL de agua destilada utilizando una probeta graduada, la cual se empleó posteriormente para la dilución

controlada de las esporas. Una vez diluidas, estas se agregaron de manera sistemática a las soluciones A y B, asignando específicamente las esporas diluidas en BN a la Solución A y las esporas diluidas en BL a la Solución B.

Figura 35

Cantidad en gramos de cada componente de las soluciones A y B.



Se llevó a cabo una medición precisa de 1000 mL de agua destilada empleando una probeta graduada, la cual se utilizó inmediatamente después para realizar la dilución exacta de las esporas. Posteriormente, estas esporas diluidas se incorporaron de manera metódica a las soluciones A y B. En una probeta graduada de 500 mL, se procedió a la re-suspensión de las esporas bacterianas previamente extraídas de un cultivo bacteriano de 1000 mL, logrando mediante un proceso de mezclado exhaustivo una distribución homogénea de las esporas. Posteriormente, la suspensión resultante se trasvasó a botellas graduadas de 4000 mL, garantizando así una cantidad precisa de esporas en cada recipiente.

Se procedió a la incorporación controlada del líquido bacteriano, compuesto por esporas bacterianas mezcladas con agua destilada, a los reactivos contenidos en cada uno de los frascos específicamente designados. Cabe destacar que, para este propósito, se dispuso de un total de 4 botellas de 4000 mL, distribuidas de la siguiente manera: dos botellas de 4000 mL cada una fueron asignadas para la Solución A, mientras que una botella graduada de 4000 mL se reservó para el lactato de calcio y otra botella graduada

de 4000 mL para el nitrato de calcio, garantizando así una organización metódica y una asignación precisa de los componentes. Se procedió a la adición cuidadosa de esporas bacterianas y agua destilada a las botellas graduadas de 4000 mL que contenían la Solución B, específicamente aquellas que habían sido preparadas con nitrato de calcio y lactato de calcio, respectivamente, asegurando así una mezcla homogénea y óptima en cada una de ellas. Una vez completados los pasos anteriores, se realizó un proceso exhaustivo de homogeneización tanto para la Solución A como para la Solución B (BN y BL), garantizando así una distribución uniforme de los componentes en cada una de ellas.

Figura 36

Producto bio reparador final.



4.5.2 Desarrollo y procedimientos del componente concreto.

4.5.1.12 Equipos y herramientas utilizadas en la investigación (concreto).

Tabla 5

Equipos y herramientas usados en el laboratorio de mecánica de suelos.

Equipos y Materiales Utilizados para la elaboración de los Ensayos de laboratorio, requeridas en la presente Investigación			
Equipos y materiales utilizados en el laboratorio de Mecánica de Suelos			
-Juego de tamices estándar según norma	-Fiola de 500 ml	-Maquina los Ángeles	-Horno Eléctrico de materiales
-charolas y recipientes	-Molde metálico	-Briquetas	-Recipientes metálicos para el Secado
-Balanza de 20Kg	-Barra compactadora Ø 5/8 con extremos redondeados	-carretilla	-Pala
-Espátula	-balanza de capacidad de 30Kg	-Martillo de goma	-Cono de Abrams
-Brochas	-EPP	-Cinta métrica de 5 mts	-Mezcladora
-Termómetro	-Vernier electrónico	-Molde cónico y varilla de apisonado	-compresora de aire

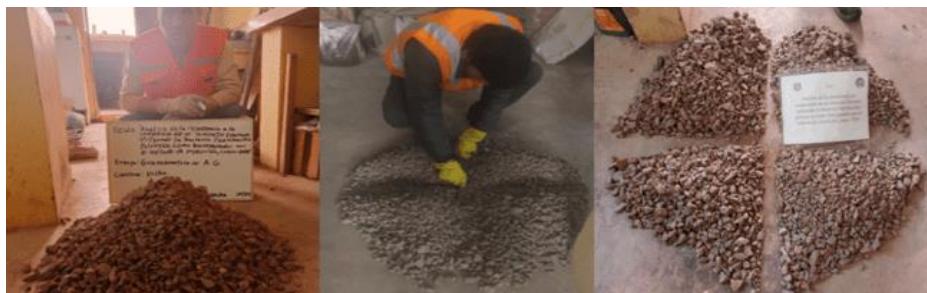
4.5.1.13 Granulometría de Agregados.

A. Procedimientos.

En la fase inicial del proyecto, se llevó a cabo la recolección sistemática de materiales esenciales para la investigación, los cuales incluían agregado fino proveniente de la Cantera de Unancha y, por otro lado, agregado Grueso obtenida de la Cantera de Vicho, garantizando así una base sólida para el desarrollo posterior del estudio.

Figura 37

División de la muestra de agregados grueso de la C. Vicho.



Avanzando hacia la siguiente fase del proyecto, se llevó a cabo el proceso de cuarteo de los agregados recolectados, fragmentándolos en porciones más manejables para facilitar su posterior análisis y procesamiento.

Figura 38

División de la muestra de agregados fino C. Unancha.



En la tercera fase del proyecto, se ejecutó el proceso de tamizado de los agregados finos procedentes de la Cantera Unancha, asegurando así su clasificación según tamaño. Paralelamente, para el agregado grueso, se seleccionó piedra chancada de $\frac{1}{2}$ " de la Cantera de Vicho, cumpliendo con los estándares de calidad. Es importante destacar que tanto el agregado fino como el grueso satisfacen plenamente los rigurosos requisitos granulométricos establecidos por la normativa ASTM C-33, garantizando la idoneidad de los materiales para su aplicación prevista.

Figura 39

Clasificación de agregados por tamaño.



En la cuarta fase, se procedió a la pesada precisa de los agregados, seguida de su cuidadosa colocación en una serie de tamices estándar, con el objetivo de someterlos a un proceso de zarandeo exhaustivo en la tamizadora, garantizando así una clasificación detallada y precisa de los materiales.

Figura 40

Cantidad de material en cada tamiz.



B. Obtención de información.

Al analizar los resultados de laboratorio relacionados con la granulometría, se evidencia que, de conformidad con los parámetros preestablecidos en las normativas vigentes, los agregados deben satisfacer una serie de requisitos específicos para garantizar su idoneidad.

Tabla 6*Cantidad de material grueso retenido en cada malla.*

MATERIAL ROCOSO DE VICHO RETENIDO EN EL TAMIZ.

N° maya	Roca triturada (gr)
1"	400
3/4"	2748
1/2"	3765
3/8"	2474
# 4	1470
# 8	81
# 16	25
Base	13

Tabla 7*Cantidad de material fino retenido en cada malla.*

MATERIAL FINO DE UNANCHA RETENIDO EN EL TAMIZ.

N° maya	Unancha (gr)
3/8"	2
N° 4	6
N° 8	40
N° 16	130
N° 30	326
N° 50	272
N° 100	144
N° 200	80
Base	2

C. Procesamiento de datos.➤ **Análisis del tamaño máximo y mínimo de las partículas grandes.**

El análisis mencionado se enfocará específicamente en el Agregado Grueso proveniente de la cantera de Vicho, con el objetivo de evaluar detalladamente sus características y propiedades.

“La evaluación detallada de este ensayo se realizó rigiéndose estrictamente por las pautas establecidas en la Norma Técnica Peruana, la cual establece los parámetros de gradación (granulometría) obligatorios para los agregados gruesos en la fabricación de concreto de alta calidad.” (N.T.P. 400.037, 2018).

Durante la ejecución de los análisis granulométricos enfocados en el agregado grueso, se emplearon las siguientes fórmulas matemáticas como herramienta de cálculo.

$$\% \text{Retenido} = \frac{\text{Peso del Material Restenido}}{\text{Peso Total de la Muestra Evaluada}} \times 100$$

$$\% \text{Retenido Acumulado} = \% \text{Retenido} + \% \text{Retenido acumulado anterior}$$

$$\% \text{ que pasa} = 100 - \% \text{Retenido acumulado anterior}$$

➤ **Análisis y Procesamiento Detallado de Datos:**

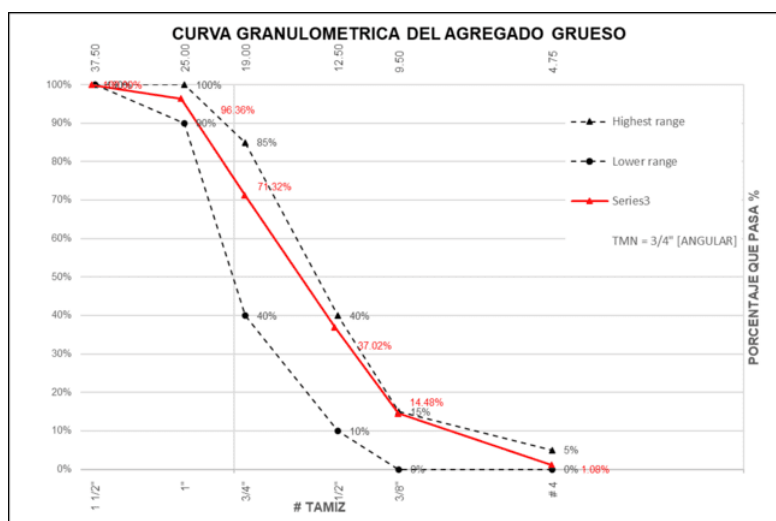
Tabla 8

Prueba granulométrica de la cantera de vicho (agregado grueso).

Tamices	(Pulg.)	1"	3/4"	1/2"	3/8"	# 4	# 8	# 16	Base	TOTAL
	(mm)	25.4	19.05	12.70	9.525	4.76	2.38	1.19		
peso retenido g		400	2748	3765	2474	1470	81	25	13	10976
retenido en %		3.64	25.04	34.30	22.54	13.39	0.74	0.23	0.12	100
Retenido acumulado %		3.64	28.68	62.98	85.52	98.92	99.65	99.88	100	
% que pasa		96.36	71.32	37.02	14.48	1.08	0.35	0.12	0	

Figura 41

Perfil de granulometría del agregado grueso.



➤ **Interpretación de los datos obtenidos en la prueba.**

De acuerdo con la N.T.P. 400.037 (2018), “Para el Agregado Grueso, se realizó un ensayo de análisis granulométrico, estableciendo un Tamaño Máximo Nominal de $\frac{3}{4}$ pulgada como parámetro de referencia clave para evaluar su distribución de tamaños.”

Según la N.T.P. 400.037 (2018), “los resultados de la prueba de tamizado revelan que la muestra de agregado se ajusta a los límites granulométricos permitidos, ya que los porcentajes de material que traspasan los tamices se encuentran dentro del rango aceptable. Esto indica que la muestra es apta y satisface los requisitos de granulometría, calificándola como una muestra modelo o de referencia.”

D. Análisis de la granulometría y el módulo de finura del agregado fino proveniente de la cantera de Unancha.

“Se llevó a cabo un análisis estrictamente de acuerdo con las directrices específicas de la Norma Técnica Peruana, que dicta los parámetros de gradación (granulometría) necesarios para los agregados finos en la producción de concretos de peso estándar.” (N.T.P. 400.037, 2018).

Figura 42

Límites máximos y mínimos del tamaño de las partículas finas.

Tamiz	Porcentaje que Pasa
9.5 mm (3/8")	100%
4.75 mm (#4)	95% - 100%
2.36 mm (#8)	80% - 100%
1.18 mm (#16)	50% - 85%
600 mm (#30)	25% - 60%
300 mm (#50)	05% - 30%
150 mm (#100)	0% - 10%

Nota. Norma Técnica Peruana (N.T.P. 400.037, 2018).

A continuación, se presentan las fórmulas específicas que se emplearán para determinar la granulometría del agregado fino:

$$\%Retenido = \frac{\text{Peso del Material Retenido}}{\text{Peso Total de la Muestra Evaluada}} \times 100$$

$$\%Retenido \text{ Acumulado} = \%Retenido + \%Retenido \text{ acumulado anterior}$$

$$\% \text{ que pasa} = 100 - \%Retenido \text{ acumulado anterior}$$

Según la N.T.P. 400.037 (2014) “se establece que el rango óptimo para el Módulo de Fineza debe oscilar entre 2.3 y 3.1, lo que garantiza un equilibrio ideal en las propiedades del material”.

$$\text{Módulo de Fineza} = \Sigma \%Retenido. \text{Acum. Tamices } (\#4 + \#8 + \#16 + \#30 + \#50 + \#100) / 100$$

“Se sugiere el uso de arena de depósito de alta calidad para la elaboración de concreto, con la condición de que no supere el 10% la proporción de material que traspase el tamiz #200, garantizando así un tamaño de partícula óptimo para la mezcla.” (Bowles, 1980, p. 36).

➤ **Análisis y Procesamiento Detallado de Datos:**

Tabla 9

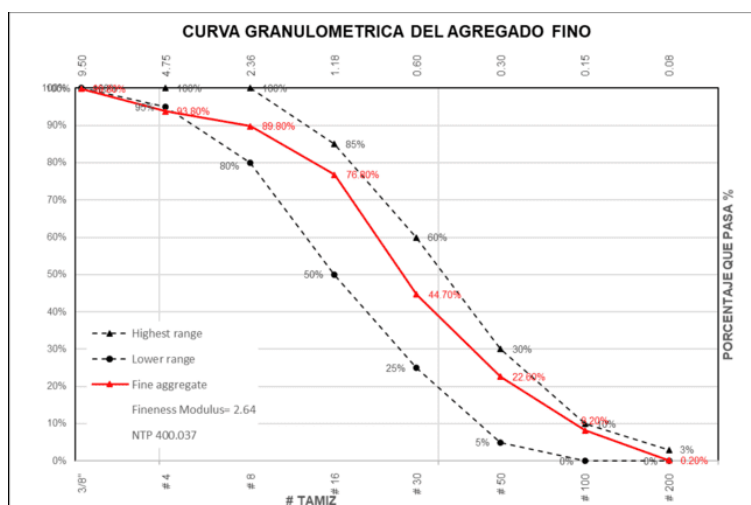
Granulometría de agregado de la cantera de Unancha (fino).

Tamaño de mallas	(Pulg.)	3/8"	N° 4	N° 8	N° 16	N° 30	N° 50	N° 100	N° 200	Base	Total
	(mm)	9.53	4.76	2.36	1.18	0.59	0.30	0.15	0.08		
Peso retenido g		2.00	60.00	40.00	130.00	321.00	221.00	144.00	80.00	2.00	1000.00
Retenido en %		0.20	6.00	4.00	13.00	32.10	22.10	14.40	8.00	0.20	100
Retenido acumulado %		0.20	6.20	10.20	23.20	55.30	77.40	91.80	99.80	100.00	
% que pasa		99.80	93.80	89.80	76.80	44.70	22.60	8.20	0.20	0.00	
Módulo de Fineza=											2.64

➤ Representación visual de la interpretación de datos.

Figura 43

Perfil granulométrico do agregado fino.



➤ **Interpretación de los datos obtenidos en la prueba.**

Se llevó a cabo el ensayo de límites granulométricos para el Agregado Fino, rigiéndose por los requisitos específicos establecidos en la Norma Técnica Peruana. Los resultados obtenidos indicaron un módulo de fineza de 2,43, que se encuentra dentro del rango óptimo de 2,3 a 3,1 recomendado por la norma. Además, se constató que solo el 0.2% del material traspasó la malla #200 (N.T.P. 400.037, 2018).

4.5.1.14 Porcentaje de Humedad

A. Procedimientos.

En la primera fase del estudio, se abordó la determinación del contenido de humedad de los agregados, para lo cual se seleccionó una muestra representativa de material, la cual fue cuidadosamente pesada en una charola. Posteriormente, se procedió a registrar con precisión el peso del material, y finalmente, se recopilaron los datos obtenidos para su posterior análisis y cálculo detallado.

Figura 44

Secado al horno.



La muestra húmeda, previamente pesada junto con su recipiente, se sometió a un proceso de desecación en un horno a una temperatura precisa de 120 °C, manteniéndola durante un período prolongado de 24 horas. Posteriormente, se retiró del horno y se procedió a registrar su peso seco mediante una nueva pesada.

Con el objetivo de evaluar el porcentaje de absorción del agregado de manera precisa, se seleccionó una muestra natural que fuera representativa de este material en la tercera fase del estudio. A continuación, se llevó a cabo un proceso de pesaje sistemático, iniciando con el registro del peso del recipiente vacío, seguido del peso del material en sí, y finalizando con la pesada de la muestra húmeda, utilizando para ello una balanza especialmente preparada y calibrada para garantizar la precisión de esta prueba.

B. Obtención de información.

En el marco de la recopilación de datos, se han compilado exhaustivamente todos los valores numéricos esenciales que nos han permitido llevar a cabo los cálculos pertinentes, los cuales se presentan detalladamente a continuación para una comprensión integral del proceso:

Tabla 10

Tabla de resultados del análisis de humedad.

Recolección de Información Contenido de Humedad.						
AGREGADO	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	W	D		
			Peso del Especimen en estado Natural. (gr)	Peso de la Especimen Seca después del horneado. (gr)		
FINO	ESPECIMEN	I	500	484		
		II	500	484		
		III	500	486		
		Prom	500	484.67		
		GRUESO	ESPECIMEN	I	1000	997
				II	1000	999
III	1000			995		
Prom	1000			997		

C. Procesamiento de datos.

➤ Análisis del Contenido de Humedad para los Agregados.

“La evaluación del contenido de humedad en los agregados se realizó de acuerdo con las directrices y metodologías específicas establecidas en la Norma Técnica Peruana, garantizando así una precisión y confiabilidad en los resultados.” (N.T.P. 339.185, 2002).

$$\text{Contenido de Humedad (\% P)} = \frac{W - D}{D}$$

Donde:

W: Peso del agregado en estado Natural (g).
D: Peso del Agregado secado al horno (g).

➤ Análisis del contenido de humedad para el agregado fino y grueso.

Tabla 11

Ensayo del grado de saturación de las partículas finas y gruesas.

Agregado	Espécimen	Peso agregado Húmedo (g)	Peso del agregado Seco (g)	Peso del Agua (g)	Contenido de Humedad (w)	Promedio Contenido de Humedad %
Fino	I	500	484	16	3.31	3.16
	II	500	484	16	3.31	
	III	500	486	14	2.88	
Grueso	I	1000	997	3	0.30	0.30
	II	1000	999	1	0.10	
	III	1000	995	5	0.50	

➤ Interpretación de los datos obtenidos en la prueba.

Basándonos en el análisis gráfico, se determinaron los siguientes contenidos promedio de humedad para los agregados de la cantera de Unancha: 3,16% para el agregado fino, lo que indica un nivel de humedad moderadamente bajo, y 0.30% para el agregado grueso. Estos resultados, obtenidos en las mismas condiciones ambientales de almacenamiento, permitirán realizar los ajustes precisos en la cantidad de agua necesaria para la mezcla de concreto, garantizando una dosificación óptima.

4.5.1.15 Peso Específico de los Agregados

A. Procedimientos

La determinación del peso específico del agregado fino es crucial para caracterizar tanto el material de la Cantera de Unancha como el agregado grueso. Por ello, se implementó un proceso de pesaje riguroso, iniciando a Tarar la balanza con el recipiente vacío, seguido del pesaje cuidadoso de la muestra de agregado fino junto con el recipiente, utilizando una balanza analítica de alta precisión para garantizar la exactitud de los resultados en forma de porcentajes.

En la segunda etapa del proceso, se inició registrando con precisión el peso de la fiola vacía, anotando cuidadosamente este valor inicial. Posteriormente, se procedió a agregar el agregado fino de manera controlada, utilizando un cono de papel para garantizar una distribución uniforme. Una vez que la fiola estuvo completamente llena con el agregado fino, se realizó el pesaje de la fiola junto con el agregado y el agua, tomando las precauciones necesarias para eliminar cualquier bolsa de aire atrapada mediante el uso de una pequeña bomba de vacío, y finalmente, se recopilaron los datos obtenidos con la máxima precisión.

Para obtener una comprensión exhaustiva de las propiedades del agregado grueso, se llevó a cabo el cálculo de su peso específico en la tercera fase del estudio, siguiendo los lineamientos establecidos por la norma (NTP 400.022.2013). Este enfoque metodológico permitió evaluar el material en dos estados clave: su condición natural, que proporciona información profunda sobre sus propiedades inherentes, y su estado saturado, que revela cómo el material se comporta bajo condiciones de máxima absorción. Al considerar ambos estados, se aseguró una comprensión integral de las características del agregado grueso, lo que resultó esencial para su adecuada clasificación y utilización en aplicaciones prácticas.

B. Obtención de información.

Tabla 12

Obtención de la masa específica aparente de los agregados finos.

PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO			
Símbol o	DESCRIPCIÓN	Und	Prom
A	peso de la muestra seca	gr	488
B	peso de la fiola aforado lleno de agua	gr	667.33 3
C	peso total de la fiola aforado con la muestra y lleno de agua	gr	981
S	peso de la muestra saturada con superficie seca	gr	500

Tabla 13

Obtención de la masa específica aparente de los agregados gruesos.

PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO			
Símbolo	DESCRIPCIÓN	Und.	Prom
A =	Peso de la Muestra Seca	gr	3310
B =	Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca	gr	3346
C =	Peso de la Muestra Saturada dentro del Agua	gr	2223.33

C. Procesamiento de datos.

- **Análisis del peso específico y porcentaje de absorción para el agregado grueso.**

“En el estudio del Peso Específico y la Absorción porcentual del Agregado Grueso de la cantera Vicho, se aplicaron las pautas establecidas por la Norma Técnica Peruana, garantizando la precisión y validez de los resultados.” (N.T.P. 400.021, 2013) como referencia metodológica.

Peso Específico de Masa:	$(P_{em}) = \frac{A}{(B - C)}$
Peso Específico de Masa Saturado con Superficie Seca:	$(P_{eSSS}) = \frac{B}{(B - C)}$
Absorción:	$(Abs) = \frac{B - A}{A} \times 100$
Donde:	
Pem	: Peso Específico de Masa (g/cm ³).
PeSSS	: Peso específico de Masa Saturado con Superficie Seca (g/cm ³).
Abs	: Absorción en Porcentaje (%).
A	: Peso del Agregado Grueso secado al horno, en (g).
B	: Peso del Agregado Grueso Saturado Superficialmente Seco (g).
C	: Peso Del Agregado Grueso Saturado dentro del Agua (g).

➤ **Procesamiento y Cálculos de Datos:**

Tabla 14

Cálculo de la absorción y el peso específico de la partícula gruesa.

TOMA DE DATOS, PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO			
Símbol	DESCRIPCIÓN	Und.	Prom
o			
A =	Peso de la Muestra Seca	gr	3310
B =	Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca	gr	3346
C =	Peso de la Muestra Saturada dentro del Agua	gr	2223.3 3
Pem =	Peso Específico de masa	g/cm 3	2.95
PeSSS =	Peso Específico de masa Saturado con Superficie Seca	g/cm 3	2.98
Abs =	Absorción expresada en porcentaje	%	1.09

➤ **Interpretación de los datos obtenidos en la prueba.**

Para el diseño de mezclas, se identificaron valores clave a partir de la lectura del diagrama, siendo el Peso Específico de masa de 2,95 g/cm³ y el Peso Específico Saturado Superficialmente Seco de 2,98 g/cm³. Se priorizó el uso del Peso Específico de masa en el diseño, considerando su impacto significativo en las propiedades del concreto. Además, se destacó un nivel de absorción medio del 1,09%, lo que ofrece una comprensión integral de las características de absorción del material.

E. Análisis del peso específico y absorción para el agregado fino.

“Para garantizar la precisión y validez de los resultados en el análisis del Peso Específico y el Porcentaje de Absorción del Agregado Fino, se siguieron estrictamente las directrices y especificaciones técnicas de la Norma Técnica Peruana.” (N.T.P. 400.022, 2013)

- Peso específico de masa (Pem):

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

- Peso específico de masa saturada con superficie seca (Pesss)

$$Pe_{sss} = \frac{S}{B + S - C}$$

- Peso específico aparente (Pea)

$$Pe_m = \frac{A}{B + A - C}$$

- Absorción (Ab)

$$A_b = \frac{S - A}{A} \times 100$$

Donde:

A = Peso en el aire de la muestra secada en el horno, (g)

B = peso del picnómetro lleno con agua (g)

C = Peso del picnómetro con la muestra y el agua hasta la marca de calibración

S = Peso de la muestra saturada y superficialmente seca (g)

➤ **Procesamiento y cálculos de Datos:**

Tabla 15

Cálculo de la absorción y el peso específico de la partícula fina.

PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO			
Símbol	DESCRIPCIÓN	Und.	Prom
o			
A	peso de la muestra seca	gr	488
B	peso de la fiola aforado lleno de agua	gr	667.33
			3
C	peso total de la fiola aforado con la muestra y lleno de agua	gr	981
S	peso de la muestra saturada con superficie seca	gr	500
	peso específico masa	gr/cm	2.62
		3	
	peso específico saturado superficie seca (sss)	gr/cm	2.68
		3	
	peso específico de la masa seca	gr/cm	2.62
		3	
	absorción	%	2.46

➤ **Interpretación de los datos obtenidos en la prueba.**

De acuerdo al análisis, el agregado fino de la cantera de Unancha presenta un peso específico masa igual a 2.62 g/cm^3 y una absorción de agua del 2.46%.

Figura 45

Peso específico de masa y peso específico saturado.



4.5.1.16 Ensayo para determinar la masa por unidad de volumen de los agregados.

“Este método detalla exhaustivamente el procedimiento sistemático para la determinación del peso unitario de diversas muestras de agregado, tanto en su estado natural suelto como en su estado compactado, rigiéndose estrictamente por las especificaciones técnicas establecidas en la normativa” (N.T.P. 400.017, 2011).

A. Procedimiento para medir la densidad de un agregado en condiciones no compactadas.

En una primera etapa del proceso de análisis, se seleccionan submuestras representativas de agregado a partir de la muestra original, las cuales son posteriormente sometidas a un tratamiento de desecación en un horno a una temperatura controlada de $105 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ durante un período de 24 horas, asegurando así que los materiales objeto de estudio se encuentren en un estado completamente seco para el ensayo. Se procede a realizar una evaluación precisa del molde, registrando detalladamente su peso y volumen, lo que permitirá establecer una base de referencia confiable para posteriores cálculos y

análisis. En una etapa crucial del proceso, se procede a depositar cuidadosamente el material en el molde, empleando para ello una cuchara u otro utensilio adecuado, garantizando que el material caiga desde una altura aproximada de 5 cm sobre el borde superior del molde, y se continúa llenando hasta alcanzar el nivel deseado, asegurando así una distribución uniforme y una altura óptima. Una vez completado el llenado, se procede a nivelar meticulosamente el material dentro del molde, empleando una varilla especializada para asegurar que la superficie del material quede perfectamente alineada con el borde superior del molde, garantizando así una superficie plana y uniforme. Inmediatamente después, el conjunto formado por el molde y su contenido de material es trasladado a la balanza, donde se realiza una pesada precisa, registrando cuidadosamente el peso total combinado del molde y el material, lo que permitirá establecer un dato de referencia crucial para posteriores cálculos.

Figura 46

Peso unitario suelto.



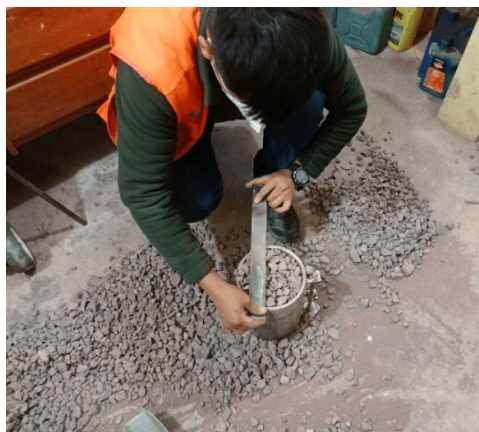
B. Procedimiento peso Unitario Compactado.

En el transcurso del proceso de muestreo, se seleccionan muestras representativas de agregado, las cuales son posteriormente sometidas a un tratamiento de secado en un horno a una temperatura controlada de 105 ± 5 °C durante un período de 24 horas,

garantizando así que los materiales objeto de estudio se encuentren en un estado completamente seco para el ensayo, tal como se requiere para la validez de los resultados. En una etapa preliminar, se lleva a cabo una evaluación detallada del molde, registrando con precisión su peso y volumen, lo que permitirá establecer una base de referencia sólida para posteriores cálculos y análisis. En una etapa crucial del proceso, se procede a depositar cuidadosamente el material dentro del molde, utilizando para ello una cuchara u otro utensilio adecuado, asegurando así una distribución uniforme y controlada del material. El proceso de llenado se lleva a cabo en tres etapas consecutivas, cada una de las cuales implica la aplicación de 25 golpes precisos con la varilla para compactar eficazmente el material, teniendo el cuidado de que la varilla no establezca contacto con el fondo del recipiente. Simultáneamente, se somete el molde a una vibración controlada sobre el suelo, con el objetivo de facilitar el acomodo y la compactación óptima del material, lo que a su vez conduce a un aumento significativo en el peso final del contenido.

Figura 47

Peso unitario Compacto.



Para garantizar la uniformidad y la integridad de la estructura, se replica integralmente el proceso en las dos capas restantes, prestando especial atención a que, en cada una de ellas, la varilla, al aplicar los golpes, no traspase los límites de la capa en cuestión, evitando así cualquier interferencia con la capa subyacente. Una vez completado

el llenado, se procede a nivelar cuidadosamente el material hasta alcanzar exactamente el nivel del borde superior del molde, utilizando para ello la varilla como herramienta de ajuste, lo que asegura una superficie plana y uniforme. Posteriormente, se procede a colocar el molde en la balanza, donde se realiza una pesada precisa del conjunto formado por el molde y el material que contiene, registrando detalladamente el peso total combinado para posteriores referencias y cálculos.

C. Procesamiento de datos

➤ Análisis del peso unitario para los agregados.

“Al evaluar el Peso Unitario Seco Suelto y el Peso Unitario Seco Compactado de los agregados, nuestra metodología se alineó con los criterios establecidos en la norma” (400.017, 2011), considerando los siguientes aspectos clave.

PESO UNITARIO SUELTO	$PUs = \frac{Gsc - T}{Ve}$
PESO UNITARIO COMPACTADO	$PUc = \frac{Gco - T}{Ve} \times 100$
Donde:	
PUs	: Peso Unitario Seco Suelto (g/cm ³)
PUc	: Peso Unitario Seco Compactado (g/cm ³)
Gsc	: Peso del envase más la muestra seca, sin compactar (g).
Gco	: Peso del envase más la muestra seca, compactado (g).
T	: Peso del envase (g).
Gsc - T	: Muestra (SIN Compactar) (g).
Gco - T	: Muestra (Compactado) (g).
Ve	: Volumen del envase (cm ³).

Tabla 16*Procesamiento de información de laboratorio.*

AGREGADO FINO UNANCHA						
ESPÉCIMEN	Peso del Contenedor (g)	Volumen del Contenedor (cm3)	Espécimen (sin comprimir) (g)	Espécimen (comprimida) (g)	PESO UNITARIO SIN COMPRIMIR (g/cm3)	PESO UNITARIO COMPRIMIDO (g/cm3)
I	10055	4110.08	6793	7686	1.65	1.87
II	10055	4110.08	6779	7838	1.65	1.91
III	10055	4110.08	6721.67	7649	1.64	1.86
Prom	10055	4110.08	5,073.67	5,298	1.64	1.87
AGREGADO GRUESO VICHO						
I	10055	4110.08	5718	6403	1.39	1.56
II	10055	4110.08	5640	6446	1.37	1.57
III	10055	4110.08	5803.33	6549	1.41	1.59
Prom	10055	4110.08	8,266.00	8,699	1.40	1.58

4.5.1.17 Evaluación de la capacidad de los agregados de resistir el desgaste por fricción.

La evaluación detallada de los resultados se llevó a cabo tomando como base las tablas establecidas en la Norma Técnica Peruana, las cuales proporcionaron un marco de referencia sólido para la comparación y análisis exhaustivo de los datos obtenidos.

Figura 48

Selección de gradación de las muestras de ensayo a realizar en la máquina.

METODO GRADACION DIÁMETRO TAMICES		A	B	C	D
		CANTIDAD DE MATERIAL A USAR (gr)			
QUE PASA	RETENIDO				
1 1/2" (38.1 mm)	1" (25.0 mm)	1250 ± 25			
1" (25.0 mm)	3/4" (19.0 mm)	1250 ± 25			
3/4" (19.0 mm)	112" (12.5 mm)	1250 ± 10	2500 ± 10		
112" (12.5 mm)	3/8" (9.5 mm)	1250 ± 10	2500 ± 10		
3/8" (9.5 mm)	114" (6.3 mm)			2500 ± 10	
1/4" (6.3 mm)	Nº4 (4.75 mm)			2500 ± 10	
Nº 4 (4.75 mm)	Nº8 (2.36 mm)				5000 ± 10
PESO TOTAL		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10
Nº de Esferas		12	11	8	6
Nº de Revoluciones		500	500	500	500
Tiempo de Rotación (Minutos)		15	15	15	15

Nota. Norma Técnica Peruana (N.T.P. 400.019, 2002).

Figura 49

Verificación de resistencia mecánica de los agregados.

METODO ALTERNATIVOS	NO MAYOR QUE %
Abrasión Método de los Ángeles	50
Valor de Impacto del Agregado	30

Nota. Norma Técnica Peruana (N.T.P. 400.037, 2014).

Figura 50

Formula de desgaste.

$$De = \frac{(P1 - P2)}{P1}$$

Donde:

P1: Peso original de la muestra antes de ingresar a la Máquina de los Ángeles.

P2: Peso o suma de pesos de los tamices retenidos después de la Abrasión.

A. Procesamiento y cálculos de Datos.

Tabla 17

Ensayo de la prueba a la abrasión de la cantera de vicho.

ENSAYO A LA ABRASIÓN Y/O DESGASTE (Gradación "B") 11 Villas		Peso original de Espécimen (P-1)	Peso de la Espécimen (500 Rev) (P-2)	Diferencia de Pesos (P1-P2)	% Desgaste
ESPECIMEN	I	5000.00	4080.91	919.09	18.38%
	II	5000.00	4077.68	922.32	18.45%
	III	5000.00	4069.44	930.56	18.61%
PROM		5000.00	4076.01	923.99	18.48%

B. Interpretación de los datos obtenidos en la prueba.

“Para garantizar la precisión y confiabilidad de los resultados en la evaluación de la resistencia a la abrasión y desgaste de los materiales, se optó por ejecutar el ensayo de acuerdo con las directrices de la Norma Técnica Peruana, que establece el procedimiento metodológico para la evaluación de agregados gruesos de diámetros inferiores a 37,5 mm (1 ½”). La selección de la tabla de gradación "B" en la máquina de los Ángeles fue crucial para obtener resultados precisos y confiables, lo que permitió una evaluación objetiva de la resistencia a la abrasión y desgaste de los materiales en cuestión.” (N.T.P. 400.019, 2002).

“Los resultados del ensayo de la muestra demostraron que esta posee una resistencia mecánica al impacto de nivel óptimo, lo cual se alinea perfectamente con los requisitos específicos establecidos en la Norma Técnica Peruana, cumpliendo así con los estándares exigidos para un agregado de acuerdo con esta normativa.” (N.T.P. 400.037,2014).

4.5.1.18 Especificaciones Técnicas Detalladas del Cemento Tipo HS

➤ **Recolección de datos.**

El Cemento Yura Max tipo HS es un producto de alta gama que se distingue por cumplir con los más estrictos protocolos de calidad establecidos por la industria, garantizando así un estándar de excelencia en su producción.

➤ **Evaluaciones y ensayos detallados del concreto en su estado fresco, cuyos resultados se presentan en el anexo correspondiente.**

4.5.1.19 Análisis de las proporciones de los componentes del concreto para alcanzar una resistencia a la compresión de 210 kg/cm².

Tras ensayos exhaustivos a los agregados, se determinaron los parámetros clave para diseñar un concreto con resistencia a compresión de 210 kg/cm² a 28 días. Se aplicó el método ACI 211 con dosificación por Volúmenes, sin aditivos y bajo condiciones ambientales estándar de la ciudad.

4.5.1.19.1 Características físicas y mecánicas de los componentes del concreto.

A. Características de los materiales

Tabla 18

Datos utilizados para el diseño de mezclas.

CEMENTO	AGREGADO FINO		AGREGADO GRUESO	
PORTLAND TIPO IP (PESO ESPECIFICO)	PESO ESPECIFICO	PESO SECO UNITARIO COMPACTO Kg/m³	PESO ESPECIFICO	ABSORCION %
	2.62	1870	2.95	1.09
	CONTENIDO DE HUMEDAD %	MODULO DE FINEZA	CONTENIDO DE HUMEDAD %	PESO SECO UNITARIO COMPACTO Kg/ m ³
2.85	3.16%		0.30	1581
	ABSORCION %	2.64	PARTICULAS (ANGULAR O REDONDEADO	TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO
	2.46		ANGULAR	3/4"

B. Características del Agua.

“La Norma Técnica Peruana NTP 339.088 establece los parámetros y valores admisibles para el agua utilizada en la producción de concreto, incluyendo límites para el contenido de sólidos disueltos (máximo 5000 ppm), materia orgánica (máximo 3 ppm), pH (entre 5.5 y 8), sulfatos (menos de 600 ppm), cloruros (menos de 1000 ppm) y alcalinidad total (menos de 1000 ppm). Además, prohíbe el uso de aguas ácidas, minerales o aquellas que contengan sustancias nocivas como azúcares, ácidos, álcalis, aceites o

materia orgánica, ya que pueden afectar negativamente el fraguado, la resistencia y la durabilidad del concreto” (N.T.P. 339.088, 2019).

C. Resistencia a la Compresión.

$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 días.

4.5.1.19.2 Cálculo de resistencia de diseño.

“Sin datos sobre propiedades estadísticas (Factor de seguridad) de la resistencia del concreto, se utilizan valores preestablecidos. En nuestra situación, sin conocimiento ni experiencia en este aspecto, elegimos la Segunda Opción.” (E-060 R.N.E., 2019).

Figura 51

Resistencia a la compresión promedio.

RESISTENCIA A LA COMPRESION PROMEDIO	
$F'c < 210 \text{ Kg/cm}^2$	$F'cr = (F'c + 70) \text{ Kg/cm}^2.$
$210 \text{ Kg/cm}^2 \leq F'c \leq 350 \text{ Kg/cm}^2$	$F'cr = (F'c + 85) \text{ Kg/cm}^2.$
$350 \text{ Kg/cm}^2 < F'c$	$F'cr = (1.1F'c + 50) \text{ Kg/cm}^2.$

Nota. Reglamento Nacional de Edificaciones (R.N.E. E-060., 2019).

Por lo tanto, se requiere una Resistencia promedio específica para esta investigación experimental.

$$F'cr = 210 + 85 \rightarrow F'cr = 295 \text{ kg/cm}^2$$

4.5.1.19.3 Pasos para el diseño de mezclas $F'c$: 210 Kg/cm² ACI - 211.

FASE # 1: “La selección del Asentamiento es un paso clave en el diseño y construcción, por lo que se selecciona cuidadosamente”.

El asentamiento o slump es una medida de la trabajabilidad del concreto. Dependiendo del tipo de construcción (por ejemplo, losas, columnas, pavimentos) y las condiciones de colocación, se selecciona un rango adecuado de slump.

Figura 52

Selección del asentamiento según tipo de estructura.

Tipo de estructura	Slump Max.	Slump min.
Zapatas y muros de cimentación armados	3"	1"
Cimentaciones simples, calzaduras	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas de edificios	4"	1"
Losas y pavimentos	3"	1"
Concreto ciclópeo	2"	1"

Nota. Extracto de “ACI 201.1 Standart Practice for Selecting Proportions for Normal Heavyweight, and Mass Concrete”. Fuente: (ACI, 2022).

“un slump (asentamiento) de 3 a 4 pulgadas (7,5 a 10 cm) es el rango recomendado para garantizar una trabajabilidad óptima del concreto en elementos estructurales. Este equilibrio permite una fácil colocación sin comprometer la resistencia a la segregación. Dentro de este rango, el concreto fluye suavemente alrededor del refuerzo de acero, asegurando una compactación efectiva y manteniendo su homogeneidad, lo que resulta crucial para la integridad y durabilidad de la estructura” (ACI, 2022).

Figura 53

Consistencia y asentamiento.

Consistencia	Asentamiento
Seca	0" a 2"
Plástica	3" a 4"
Fluida	≥ 5"

Nota. Extracto de “ACI 201.1 Standart Practice for Selecting Proportions for Normal Heavyweight, and Mass Concrete”. Fuente: (ACI, 2022).

FASE # 2: “La selección del Tamaño Máximo Nominal (TMN) es crucial para el Agregado Grueso, por lo que se procede a su selección cuidadosa.”.

El Agregado grueso se caracteriza por partículas limpias, duras y compactas, con un perfil preferentemente angular o semi angular y una textura rugosa, lo que garantiza su resistencia y dureza. Se eligió el Tamaño Máximo Nominal (TMN) de la cantera de Vicho, con un valor de 3/4”.

FASE # 3: “La selección del Contenido de Agua y del Aire Atrapado es crucial, por lo que se realizó una selección cuidadosa”.

La relación agua/concreto es crucial. Se refiere a la cantidad de agua necesaria por metro cúbico de concreto para alcanzar una consistencia específica, considerando el estado seco del agregado, según la tabla de referencia.

Figura 54

Selección del volumen de agua por m³, agua en litros/m³ para (TMN) de agregados y consistencia indicada.

Asentamiento SLUMP (1"=25mm)	TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADO							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	4"
CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	0

Nota. Manual de la Construcción - Agenda Técnica (I.C.G., 2016).

Peso Agua = 205 lts = 205 Kg

Figura 55

Selección, contenido de aire atrapado.

	TMN Agregado Grueso	Aire Atrapado %
3/8"	9.5 m m	3
1/2"	12.5 m m	2.5
3/4"	19.0 m m	2
1"	25.0 m m	1.5
1 1/2"	37.5 m m	1
2"	50.0 m m	0.5
3"	75.0 m m	0.3
6"	150.0 m m	0.2

Nota. Manual de la Construcción - Agenda Técnica (I.C.G., 2016).

En nuestro caso específico, el Tamaño Máximo Nominal (TMN) es de 3/4", mientras que el Slump oscila entre 3" y 4", sin incorporación de aire.

$$\text{Peso Agua} = 205 \text{ L} = 205 \text{ Kg}$$

El aire atrapado representa un 2% del total, lo que equivale a 0.020 m³, según se especifica en la Figura N° 72.

FASE # 4: "La relación Agua/Cemento (A/C) se seleccionó con el objetivo de optimizar la resistencia a la compresión".

Figura 56

Selección, relación agua/cemento por resistencia, para F'cr.

F'cr (Kg/cm²)	Relación Agua/Cemento en Peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
140	0.82	0.74
150	0.8	0.71
200	0.7	0.61
210	0.68	0.59
250	0.62	0.53
280	0.57	0.48
300	0.55	0.46
350	0.48	0.4
400	0.43	0

Nota. Manual de la Construcción - Agenda Técnica (I.C.G., 2016).

Con un F'_{cr} de 295 Kg/cm², se procedió a intercalar la relación Agua/Cemento, logrando una interpolación efectiva.:

Tabulación			
F'_{cr} (Kg/cm ²)	280	295	300
Agua/Cemento	0.57	X	0.55

$$\frac{280 - 300}{295 - 300} = \frac{0.57 - 0.55}{X - 0.55}$$

$$\text{Relación A/C} = 0.555$$

FASE # 5: “Se llevó a cabo un cálculo detallado del contenido de cemento, esencial para el diseño de mezclas.”.

La cantidad de cemento necesaria se calculó mediante la división de la fase # 3 entre fase # 4, posteriormente se dividió el resultado por 42.5 kg por bolsa, determinando así la cantidad de bolsas de cemento requeridas para 1 m³ de concreto.

$$\frac{\text{Paso 3}}{\text{Paso 4}} = \frac{205 \text{ Kg}}{0.555} = (C)$$

$$\text{Cemento} = 369.37 \text{ kg}$$

$$\text{Volumen Cemento} = \frac{\text{Peso Cemento (kg)}}{\text{Peso Específico Cemento (Kg/m³)}}$$

$$C = (369.369 / 2850) = 0.13 \text{ m}^3$$

FASE # 6: “Se llevó a cabo un cálculo detallado del contenido del Agregado Grueso, esencial para el diseño de mezclas de concreto.”

Figura 57

Selección, peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto.

RELACIÓN ENTRE PESO UNITARIO SECO CON Y SIN COMPACTAR DEL AGREGADO GRUESO, POR UNIDAD DE VOLUMEN DEL CONCRETO.						
TMN Tamaño Máximo Nominal, Agregado Grueso.		Módulo de Fineza AGREGADO FINO				
		2.4	2.6	2.8	3	
3/8"	9.5 mm	0.5	0.48	0.46	0.44	m3
1/2"	12.5 mm	0.59	0.57	0.55	0.53	m3
3/4"	19.0 mm	0.66	0.64	0.62	0.6	m3
1"	25.0 mm	0.71	0.69	0.67	0.65	m3
1 1/2"	37.5 mm	0.76	0.74	0.72	0.7	m3
2"	50.0 mm	0.78	0.76	0.74	0.72	m3
3"	75.0 mm	0.81	0.79	0.77	0.75	m3
6"	150.0 mm	0.87	0.85	0.83	0.81	m3

Nota. Manual de la Construcción - Agenda Técnica (I.C.G., 2016).

La interpolación es crucial para determinar el volumen óptimo, por lo que se realiza con un Módulo de Fineza de 2.64:

Módulo de Fineza	Volumen en función al TMN
2.60	0.64
2.64	X
2.80	0.62

$$\frac{2.60 - 2.80}{2.64 - 2.80} = \frac{0.64 - 0.62}{X - 0.62}$$

$$X = 0.636 \text{ m}^3$$

El peso seco del agregado grueso es un parámetro crucial en el diseño de mezclas de concreto.:

$$\text{Agreg. Grueso (kg)} = \frac{b}{b_0} (\text{m}^3) \times \text{Peso Unitario Compactado Piedra (kg/m}^3)$$

$$\text{Peso Seco Agregado Grueso} = 1005.52 \text{ kg}$$

FASE # 7: “Se aplicó el Método del Volumen Absolutos para calcular el contenido agregado fino, un enfoque metodológico clave en el diseño de mezclas de concreto”.

Se reportan los pesos de todos los materiales, excluyendo el Agregado Fino, para una visión integral del diseño de mezclas:

- Cemento-----→ (de la Fase # 5) = 369.37 kg.
- Agua -----→ (de la Fase # 3) = 205.00 kg.
- Agregado Grueso-----→ (de la Fase # 6) = 1005.52 kg.
- Aire (Volumen Absoluto) ----→ (de la Fase # 3) = 0.020 m³.

La cantidad de agregado fino se calcula mediante el método del Volumen Absoluto, que depende del volumen de los materiales en un metro cúbico de concreto.

Tabla 19

Valores de diseño para 01 metro cúbico en estado seco.

MATERIALES						
	CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO TIPO IP	AGUA (Red Pública)	AIRE	PIEDRA SECA Agregado Grueso - (Cantera de Vicho)	ARENA SECA Agregado Fino - (Cantera de Unancha)	Σ [Vol. (Cemento + Agua + Aire + Agregado Grueso)]
PESO SECO (kg)	369.37	205.00	0.00	1005.52	797.90	
PESO ESPECÍFICO (Kg/m ³)	2850.00	1000.00	0.00	2950	2620	
VOLUMEN ABSOLUTO (m ³)	0.13	0.21	0.02	0.34	0.30	0.70
Σ Total (Σ [Vol. (Cemento + Agua + Aire + Agregado Grueso) + (volumen absoluto de arena seca)					1	

La ecuación del Volumen Absoluto de agregado fino es $1 - \Sigma$ Vol. Absolutos, lo que se traduce que en 1 m³ - 0.71 m³ para el agregado fino es 0.30 m³.

FASE # 8: "Se realizó un ajuste por humedad del agregado, esencial para el diseño de mezclas de concreto".

Se realizó un ajuste del peso debido a la humedad de los agregados, esencial para el diseño de mezclas de concreto en 1 m³ de material.

$$\text{Peso Corregido} = (1 + \text{ContenidoHumedad}) \times \text{PesoSeco}$$

$$\text{Peso corregido, Agregado Grueso} = (1+0.003) \times 1005.52 = \mathbf{1008.53}$$

Kg/m³

$$\text{Peso corregido, Agregado Fino} = (1+0.0316) \times 797.90 = \mathbf{823.12}$$

Kg/m³

El cálculo del Balance de Agua es un paso crucial en el diseño de mezclas de concreto, por lo que se calcula ahora:

$$\text{Balance de H}_2\text{O} = \% \text{Humedad} - \% \text{Absorción}$$

$$\text{Balance de Agua, Agregado Grueso} = 0.3\% - 1.09\% = -0.79\% = -0.0079$$

$$\text{Balance de Agua, Agregado Fino} = 3.16\% - 2.46\% = 0.7\% = +0.007$$

En el marco del diseño de mezclas de concreto, un paso fundamental es calcular la contribución del Agua (aporte de agua). Esto se realiza para asegurar la estabilidad y la resistencia del concreto en diferentes condiciones ambientales:

$$\text{Contribución H}_2\text{O} = \text{Peso Corregido} \times \text{Balance de H}_2\text{O}$$

$$\begin{aligned} \text{Contribución de agua, Agregado Grueso} &= 1008.53 \text{ Kg/m}^3 \times -0.0079 \\ &= -7.967 \text{ Kg/m}^3. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Contribución de agua, Agregado Fino} &= 823.12 \text{ Kg/m}^3 \times 0.007 = \\ &+5.762 \text{ Kg/m}^3. \end{aligned}$$

En el proceso de diseño de mezclas de concreto, un paso fundamental es la determinación del Agua final de mezcla. Esto se realiza para asegurar la estabilidad y la resistencia del concreto en diferentes condiciones ambientales.

$$\text{Agua Final} = \text{Peso Abs. (H}_2\text{O)} - (\text{Contribución H}_2\text{O Agreg. Grueso} + \text{Contribución H}_2\text{O Agreg. Fino})$$

$$\text{Agua Final} = 205 \text{ Kg} - (5.762 \text{ Kg} - 7.967 \text{ Kg}) = 207.206 \text{ Kg.}$$

FASE # 9: "En el marco del diseño de mezclas de concreto, la dosificación final es un aspecto clave que requiere una atención especial. Se calculó la dosificación óptima para 1m³ de Concreto, asegurando así la estabilidad y la resistencia del concreto en diferentes condiciones ambientales."

Tabla 20

Corrección por el contenido de humedad de la dosificación de los agregados en estado seco.

MATERIAL	Cemento	A. Fino	A. Grueso	Agua	Aire
VOLUMEN ABSOLUTO (M3)	0.13	0.30	0.34	0.21	0.02
PESO SECO (kg/m3)	369.37	797.90	1005.52	205.00	
PESO CORREGIDO (kg/m3)	369.37	823.12	1008.53	207.21	

4.5.1.20 Prueba piloto.

Se realizaron 06 Testigo, con las siguientes características: Diámetro de 10 cm, altura de 20 cm, volumen de 0.0016 m³ y un peso de 3830 Kg. la temperatura en estado fresco fue de 22 °c aproximadamente, el PH en estado fresco fue de 11 siendo altamente alcalino debido a la presencia del hidróxido de calcio (Ca (OH)₂), el proceso de fisuración se ha realizado después de los 28 días de curado.

Tabla 21

Resistencia a la compresión de la prueba piloto.

PERIODO DE CURADO	SERIGRAFIA DEL TESTIGO	DIMENSIONES			DATOS DE FISURA COMPRESIÓN	RESISTENCIA COMPRESIÓN AXIAL
		Espesor Prom (cm)	Altura Prom (cm)	Sección transversal Prom (cm ²)	Fuerza Aplicada (Kg)	F'c: (Kg/cm ²)
28 días	PL-1	10.10	19.80	80.12	14159.07	176.73
	PL-2	10.12	20.22	80.44	14536.15	180.72
	PL-3	10.15	20.00	80.91	14069.90	173.89
	PL-4	10.05	19.89	79.33	14941.29	188.35
	PL-5	10.01	19.85	78.70	13594.48	172.74
	PL-6	10.00	20.15	78.54	14890.81	189.60
	Prom.				14365.28	180.34

Nota. Tener en cuenta que la resistencia a la compresión del concreto patrón a los 28 días de curado alcanzo a un promedio de 243.98 kg/cm².

De acuerdo con Winter et al. (1963). “Por encima de este valor se inician fisuras de adherencia adicionales en toda la matriz. La fisuración de adherencia aumenta hasta que la carga llega aproximadamente al 70% de la resistencia a la compresión, momento en que las micro fisuras se comienzan a propagar a través del mortero. La fisuración en el mortero continúa a un ritmo acelerado, formando fisuras continuas paralelas a la dirección de la carga de compresión, hasta que el hormigón ya no es capaz de soportar la carga. El inicio de la fisuración en el mortero está relacionado con la resistencia a la compresión sostenida o a largo plazo”.

Por otro lado, Derucher (1978) “obtuvo una perspectiva algo diferente sobre el comportamiento microscópico del hormigón. Observó que las micro fisuras que existen antes de la carga corresponden a fisuras de adherencia, con extensiones hacia el mortero circundante perpendiculares a las fisuras de adherencia. A medida que aumenta la compresión estas fisuras de adherencia se ensanchan, pero no se propagan para cargas

bajas de alrededor del 15% de la resistencia. Al llegar a aproximadamente 20% de la carga última, las fisuras de adherencia se comienzan a propagar, y a alrededor del 30% comienzan a conectarse unas con otras. Al llegar al 45% de la resistencia a la compresión esta conexión es casi completa. Al 75% de la carga última las fisuras en el mortero comienzan a unirse unas con otras y continúan haciéndolo hasta que se produce la falla”.

Figura 58

Saturación del concreto fisurado de la prueba piloto.



Nota. Tener en cuenta que la saturación de las briquetas fisuradas se realizó con la única finalidad de poder controlar la profundidad aproximada de las aberturas, debido a que el método utilizado fue la de inyectar agua en las aberturas para poder calcular el volumen que ingresa en cada una de ellas.

Tabla 22

Resumen del control de fisuras de la prueba piloto.

Briqueta	Dimensiones iniciales			
	Ancho (mm)	longitud(cm)	Agua (ml)	Profundidad (mm)
PL-1	0.75	41.13	1.06	78.56
PL-2	0.6	23.61	0.69	21.64
PL-3	0.45	28.45	0.25	39.15
PL-4	1.2	17.12	3.65	44.02
PL-5	0.35	26.13	0.14	29.73
PL-6	2.45	31.08	6.71	78.72
Totales	5.8	167.52	12.5	291.82

Figura 59

Control de fisuras de la prueba piloto.



Los resultados de la prueba piloto indica que para generar fisuras en el concreto se requiere una fuerza de 14365.28 kg teniendo una resistencia de 180.34 kg/cm² aproximadamente ya que valores muy por encima de ello generan grietas en el concreto con profundidades mayores, por lo que se concluye que para tener un control de fisuras en el concreto se requiere valores menores a lo indicado anteriormente.

4.5.1.21 Elaboración de concreto.

A. Análisis de Prueba.

La dosificación se llevó a cabo en 4 tandas, cada una con un peso específico de los materiales, y se consideró un incremento del 10% en la cantidad de concreto para los ensayos de Cono de Abrams, lo que permitió una mejor adaptación a las condiciones de prueba.

B. Aparatos y procedimiento experimental.

- **Mezcladora de concreto:** Equipo esencial para la elaboración de una mezcla de pasta homogénea, asegurando la proporción óptima de los componentes materiales.
- **Regla de enrase:** Herramienta especializada empleada para eliminar con precisión los excedentes de pasta en los moldes, asegurando una superficie plana y uniforme.
- **Balanza de precisión:** Instrumento de medición de alta exactitud, utilizado para determinar con precisión las cantidades óptimas de cada material necesario en la preparación de la mezcla, asegurando así la proporción ideal de los componentes
- **Probeta:** Instrumento de medición de precisión, destinado a la determinación exacta de los volúmenes de agua necesarios para ser agregados a la mezcla, garantizando así una proporción óptima de los componentes.
- **Briqueteras:** utilizadas para el vaciado de la mezcla.
- **Cuchara:** Herramienta auxiliar esencial para la incorporación precisa de los materiales, permitiendo el inicio eficiente del proceso de mezcla y asegurando una distribución uniforme de los componentes.

C. Procedimiento para combinar materiales.

- Se dosifican y se pesan todos los materiales necesarios para la mezcla.

Figura 60

Elaboración de concreto.



- Previo al inicio del proceso de mezcla, se realizó una inspección exhaustiva de la mezcladora 'trompo' para asegurar su funcionamiento óptimo y prevenir cualquier interrupción imprevista durante la mezcla, garantizando así la eficiencia y la calidad del proceso.
- Con el fin de asegurar la proporción exacta de la mezcla, se procedió a medir con precisión cada material, rigiéndose estrictamente por los volúmenes específicamente establecidos para cada agregado.
- Una vez preparados los componentes, se procedió a verter cuidadosamente los agregados y el cemento dentro de la mezcladora, iniciando de inmediato el proceso de mezclado, con el objetivo de lograr una mezcla homogénea y de alta calidad.

D. Toma de información.

La estrategia de recopilación de datos adoptada para el diseño de mezclas se basó en un enfoque cualitativo, caracterizado por la exhaustiva recopilación y análisis de todos los datos pertinentes necesarios para garantizar la elaboración de un diseño de mezcla óptimo y exhaustivo.

4.5.1.22 Prueba de revenimiento

A. Procedimientos.

Posteriormente, se procedió a la ejecución de la prueba de asentamiento (Slump Test), utilizando para ello el cono de Abrams como herramienta de medición. Esta evaluación de consistencia se llevó a cabo para las diferentes tandas de cada lote, siguiendo estrictamente los protocolos establecidos por la normativa ASTM C-143M para garantizar la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos.

Figura 61

Validación del ensayo.



B. Toma de información.

La recopilación de datos se llevó a cabo mediante la aplicación de la prueba del cono de Abrams, con el objetivo de evaluar y determinar con precisión el grado de asentamiento (Slump) del concreto, cuyos resultados se presentan de manera detallada en la tabla que se muestra a continuación.

➤ Análisis del revenimiento – Slump del concreto.

Se verificó el asentamiento de cada lote utilizando el molde cónico (cono de Abrams), lo que permitió una verificación precisa de los asentamientos con la misma cantidad de agua según el diseño.

➤ **Procesamiento y cálculos de Datos:**

Tabla 23

Cálculo del revenimiento del concreto insitu.

CONCRETO MODELO F'C=210kg/cm2					
LOTE DE VACIADOS	I	II	III	IV	PROM
MEDICION (Cm)	8.70	9.10	9.50	8.90	9.05

C. Análisis de Prueba:

La mezcla obtuvo un slump promedio de 9.50 cm, caracterizando una consistencia plástica y trabajable, lo que es beneficioso para el diseño de mezclas de concreto.

4.5.1.23 Pruebas del concreto en estado endurecido

A. Procedimiento.

Después de 24 horas de su Vaciado, se realizó el desmolde, en la cual se utilizó un martillo de goma para aplicar una presión controlada en el molde y utilizando una compresora de aire en la parte inferior del molde, evitando daños significativos en la estructura del espécimen.

Figura 62

Desmolde de los testigos de concreto.



Se procedió al etiquetado de los especímenes en estado seco, lo que permitió una mejor ubicación y reconocimiento de cada espécimen, asegurando así una correcta identificación y clasificación.

Las normas que establecen los parámetros para determinar la resistencia a la compresión del concreto están establecidas en base a criterios específicos, lo que garantiza una resistencia óptima en el diseño de mezclas de concreto.

- El Método de Ensayo para el Esfuerzo a la compresión de muestras cilíndricas de concreto (NTP 339.034) se utiliza para evaluar la resistencia a la compresión de muestras cilíndricas de concreto, lo que es esencial en la evaluación de la durabilidad y la resistencia del concreto en condiciones de esfuerzo a la compresión.
- NTP 339.037 Se adoptó una práctica normalizada para el Refrendado de Testigos cilíndricos de concreto, lo que garantiza una coherencia y consistencia en la práctica.

Se procedió a la colocación de las briquetas en cilindros, las cuales fueron completamente sumergidas para su curado, asegurando así una eficiencia máxima en el proceso de curado.

Después de completar el proceso de curado, los testigos de concreto fueron transportados con suma precaución en una caja, lo que garantiza una entrega segura sin daño a los testigos de concreto, evitando así un posible daño debido a un transporte inadecuado.

Se llevó a cabo una medición detallada de los especímenes, donde se midieron las alturas en milímetros con un vernier, lo que permitió una medición precisa y confiable de las diferentes alturas.

Se realizó una prueba de compresión específica para evaluar la resistencia a la compresión de los especímenes en la prensa hidráulica, lo que es crucial en el diseño de mezclas de concreto.

Figura 63

Curado de los testigos de concreto.



4.5.1.24 Proceso de fisuración de los testigos de concreto intencionado en laboratorio.

A. Procedimiento.

Los especímenes, previamente marcados con serigrafía identificativa, fueron trasladados a los laboratorios de mecánica de suelos. Allí, se sometieron a pruebas de compresión utilizando la máquina de compresión axial, aplicando una carga equivalente al 15% de la resistencia de diseño establecida para la mezcla, que es de 210 kg/cm²

Figura 64

Control de fisuras realizada en la máquina de compresión axial.



4.5.1.25 Proceso de control de fisuras

Posterior a la realización de fisuras controladas en la máquina de compresión axial, se procedió a delinear con un plumón las fisuras visibles detectadas. A

continuación, se llevó a cabo el proceso de medición de la abertura de las fisuras, se utilizó un fisurómetro (también conocido como regla de medición de fisuras), por otro lado, se ha hecho uso de un vernier digital para medir la longitud de las mismas y finalmente se ha hecho uso de jeringas para calcular la cantidad de agua aproximada que entra en las aberturas y poder calcular la profundidad aproximada de dichas fisuras.

4.5.3 Método de Aplicación por inyección del bio reparador (A y B) en los testigos de concreto fisurado

A) Procedimiento

A la hora de evaluar la efectividad de las soluciones A y B en la reparación de fisuras en concreto, se seleccionaron briquetas de concreto que fueron fisuradas intencionalmente en el laboratorio con la máquina de compresión axial. Con el fin de asegurar una correcta aplicación de las soluciones, se utilizaron jeringas de 150 ml como medio de aplicación.

La Solución B, que combinaba con nitrato de calcio y/o lactato de calcio, **se inyectó directamente en las briquetas de concreto pre fisuradas mediante un proceso de inyección**, con el objetivo principal de evaluar su capacidad para reparar fisuras de manera efectiva. Para facilitar el seguimiento detallado y la identificación precisa de las fisuras en las briquetas, se implementó un sistema de marcación y codificación sistemática. Este proceso de marcación se llevó a cabo utilizando un plumón indeleble de alta calidad, garantizando la legibilidad y permanencia de las marcas a lo largo de la prueba.

Se implementó una técnica de inyección paralela para aplicar simultáneamente las soluciones A y B a las fisuras de las briquetas, manteniendo el proceso hasta alcanzar la saturación total. Es importante destacar que esta aplicación se llevó a cabo en cuatro

momentos específicos: al inicio (30 días), seguido de evaluaciones posteriores a los 37 días, 44 días y 51 días, respectivamente.

Se procedió a la aplicación de dos soluciones específicas: la Solución A y la Solución B, las cuales se caracterizan por contener, respectivamente, lactato de calcio y/o nitrato de calcio, como componentes clave para el proceso de tratamiento.

B) Toma de información

El propósito fundamental de esta tabla es proporcionar un sistema de organización codificado para los testigos de concreto, permitiendo una clasificación clara y sistemática basada en el empleo de las sustancias químicas específicas.

Tabla 24

Aplicación de las Sustancias Químicas A y BN., inyectadas a los testigos fisurados curadas con agua destilada.

30 DÍAS	del (N-25 al N-48)
30 y 37 DÍAS	del (N-31 al N-48)
30, 37 y 44 DÍAS	del (N-37 al N-48)
30. 37 44, 51 DÍAS	del (N-43 al N-48)

Los testigos con la siguiente codificación: del (N-1 al N-24) fueron tratadas como se detalla en la siguiente tabla aplicando dichas sustancias en mención.

Tabla 25

Aplicación de las Solución BN y A en los testigos fisurados a los 30 días y a partir de los 37, 44 y 51 días curadas con el bio reparador.

aplicación de la sustancia A y B solo el día # 1						
	N-01	N-02	N-03	N-04	N-05	N-06
testigos	N-07	N-08	N-09	N-10	N-11	N-12
	N-13	N-14	N-15	N-16	N-17	N-18
	N-19	N-20	N-21	N-22	N-23	N-24

La presente tabla tiene como finalidad organizar de manera codificada los testigos de concreto utilizando las sustancias químicas mencionada.

Tabla 26

Aplicación de las Sustancias Químicas A y BL., inyectadas a los testigos fisurados curadas con agua destilada.

30 DÍAS	del (L-25 al L-48)
30 y 37 DÍAS	del (L-31 al L-48)
30, 37 y 44 DÍAS	del (L-37 al L-48)
30. 37 44, 51 DÍAS	del (L-43 al L-48)

Los testigos con la siguiente codificación: del (L- 01 al L-24) fueron tratadas como se detalla en la siguiente tabla aplicando dichas sustancias en mención.

Tabla 27

Aplicación las sustancias BL y A en los testigos fisurados a los 30 días y a partir de los 37, 34 y 41 días curadas con el bio reparador.

aplicación de la sustancia A y B solo el día # 1						
testigos	L-01	L-02	L-03	L-04	L-05	L-06
	L-07	L-08	L-09	L-10	L-11	L-12
	L-13	L-14	L-15	L-16	L-17	L-18
	L-19	L-20	L-21	L-22	L-23	L-24

4.6 Análisis de datos

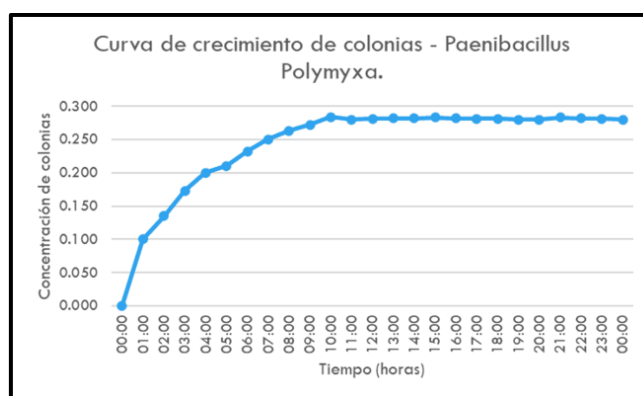
4.6.1 Monitorización de la fase de crecimiento exponencial.

A. Procedimiento

Con el fin de realizar un seguimiento detallado del crecimiento bacteriano, se llevó a cabo una recopilación sistemática de datos a intervalos horarios mediante el uso de un espectrofotómetro, lo que nos proporcionó una herramienta valiosa para confirmar y verificar con precisión la concentración de bacterias en cada momento del estudio.

Figura 65

Curva de crecimiento de colonias.



B. Análisis de la curva de crecimiento

En el gráfico anterior muestra la curva de crecimiento de la concentración de colonias de bacterias en el medio de cultivo incubado a 35 °C. Se observa que a las 10 horas se alcanzó la máxima concentración de colonias, con una lectura de 0.284 de concentración obtenida mediante un espectrofotómetro. Además, al sembrar la colonia de bacterias en un medio de cultivo de 200 mL, se obtuvieron 1.50 mL de esporas bacterianas tras la centrifugación. En un medio de cultivo de 400 mL, se lograron 3.0 mL de esporas bacterianas, y en un medio de cultivo de 1000 mL, se obtuvieron 7.50 mL de esporas bacterianas.

4.6.2 Control de sellado de fisuras en los en discos de concreto.

A. Procedimiento

Se ha elaborado 4 testigos de concreto de 15 cm x 30 cm posteriormente se realizó su respectivo curado hasta los 28 días de edad para después cortar en discos de 2.54 cm espesor haciendo un total de 18 discos, las cual se dividieron en dos grupos iguales de 9 discos por cada grupo (nitrato y lactato de calcio), la fuerza que se le aplico a los discos de concreto es de 150 kg aproximadamente, la medición del ancho de las fisuras se ha realizado con un fisurómetro (regla) y para medir las longitudes se ha utilizado un vernier digital.

Luego se efectuó la estimación del porcentaje de reparación según la siguiente formula:

$$\text{Porcentaje de sellado} = \frac{(A_o - A_f)}{A_o} \times 100$$

Donde:

A_o: área inicial de la fisura.

A_f: área final de la fisura.

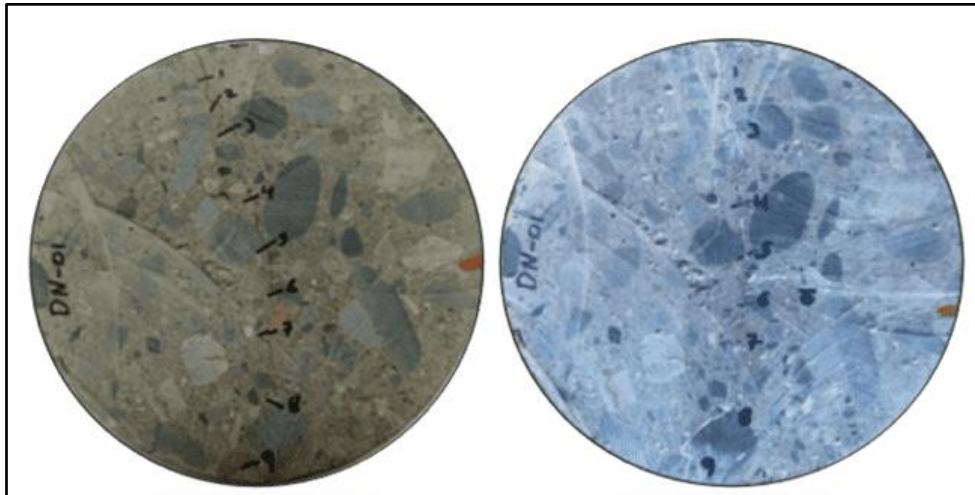
Tabla 28

Cuadro resumen de los totales del control de fisuras en discos de concreto.

N° fisura	Dimensiones iniciales			Dimensiones finales			Porcentaje de sellado %	promedios
	Ancho (mm)	longitud (mm)	Área (mm ²)	Ancho (mm)	longitud (mm)	Área (mm ²)		
DN-01	0.50	184.20	9.21	0.25	92.10	4.61	50.00	
DN-02	1.35	185.70	27.33	0.70	42.00	9.49	65.27	
DN-03	1.05	153.80	19.58	0.40	14.00	5.60	71.39	
DN-04	1.25	168.20	40.77	0.45	83.00	8.08	80.19	
DN-05	1.69	185.20	32.49	0.90	43.50	12.54	61.40	62.57
DN-06	0.70	189.10	12.61	0.40	102.90	6.81	46.03	
DN-07	1.75	326.50	36.70	0.95	139.30	15.89	56.70	
DN-08	0.85	167.20	12.99	0.45	47.90	5.35	58.84	
DN-09	1.00	167.10	26.95	0.40	18.00	7.20	73.28	
DL-01	2.85	322.40	43.90	1.20	27.00	10.80	75.40	
DL-02	3.45	245.60	58.51	1.10	52.40	11.51	80.33	
DL-03	0.60	117.00	17.78	0.00	0.00	0.00	100.00	
DL-04	1.00	156.10	20.69	0.20	5.00	1.00	95.17	
DL-05	0.60	207.50	13.63	0.10	18.90	1.89	86.13	88.59
DL-06	1.70	152.50	32.25	0.30	9.50	2.85	91.16	
DL-07	0.65	211.30	13.93	0.10	32.20	1.61	88.44	
DL-08	0.60	172.70	12.51	0.10	3.00	0.30	97.60	
DL-09	0.60	191.40	12.95	0.15	29.70	2.19	83.12	

B. Imágenes de los discos del concreto el antes y el después.**Figura 66**

Fisuras del disco DN-01 antes (izquierda) y después (derecha) de la reparación.

**Figura 67**

Fisuras del disco DN-02 antes (izquierda) y después (derecha) de la reparación.

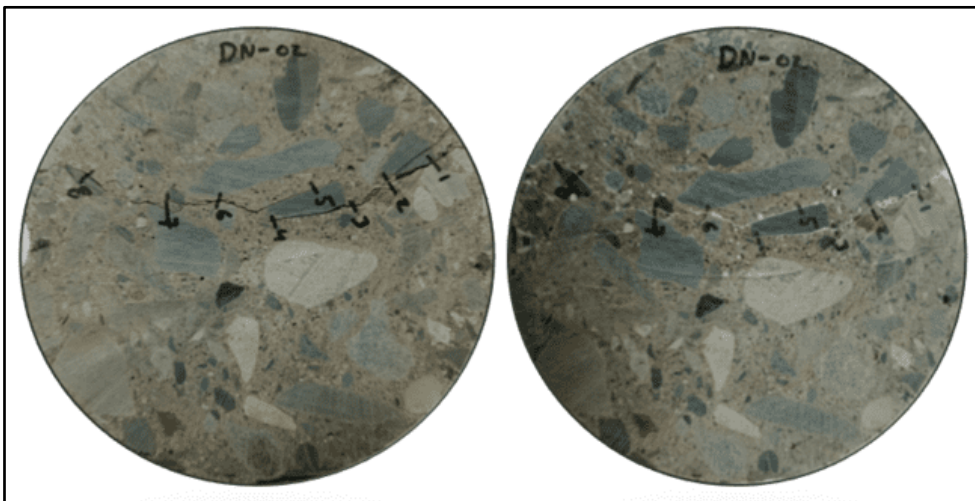
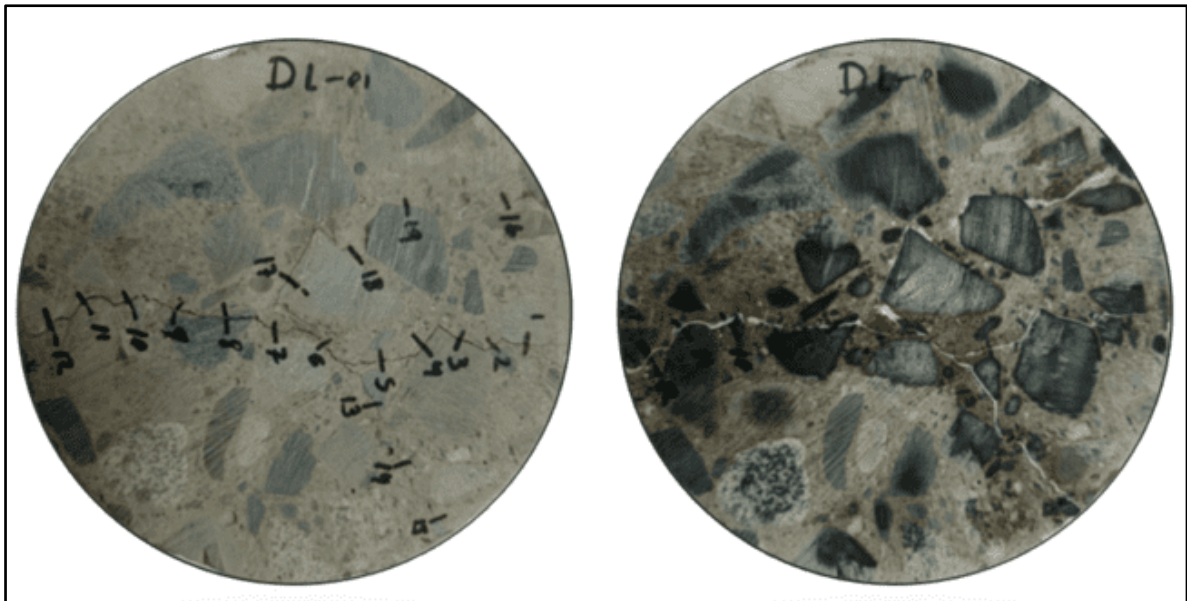


Figura 68

Fisuras del disco LN-01 antes (izquierda) y después (derecha) de la reparación.

**Figura 69**

Fisuras del disco LN-02 antes (izquierda) y después (derecha) de la reparación.

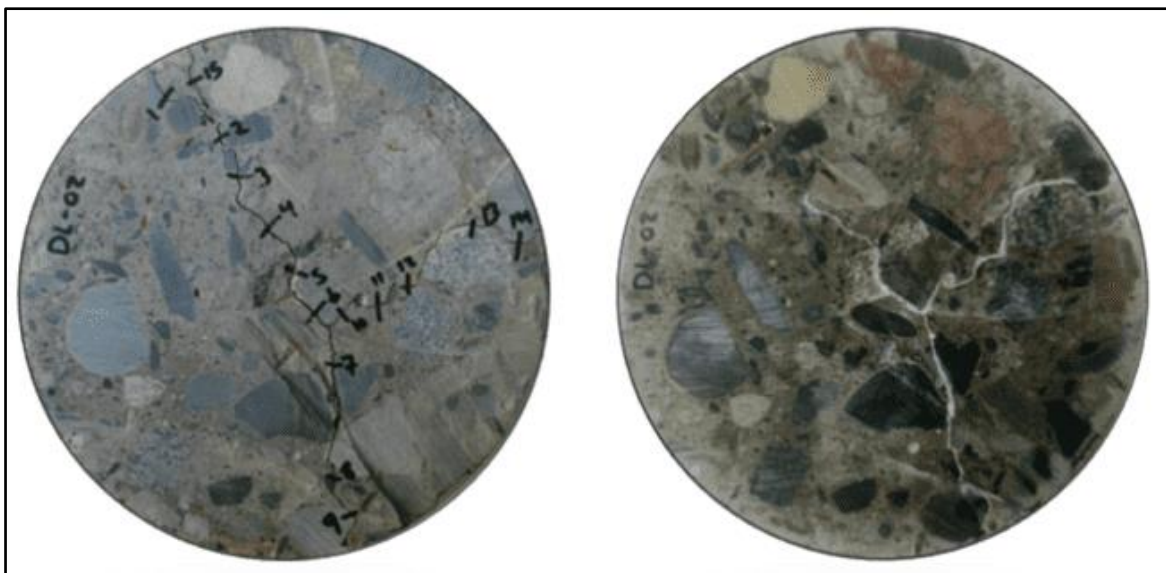
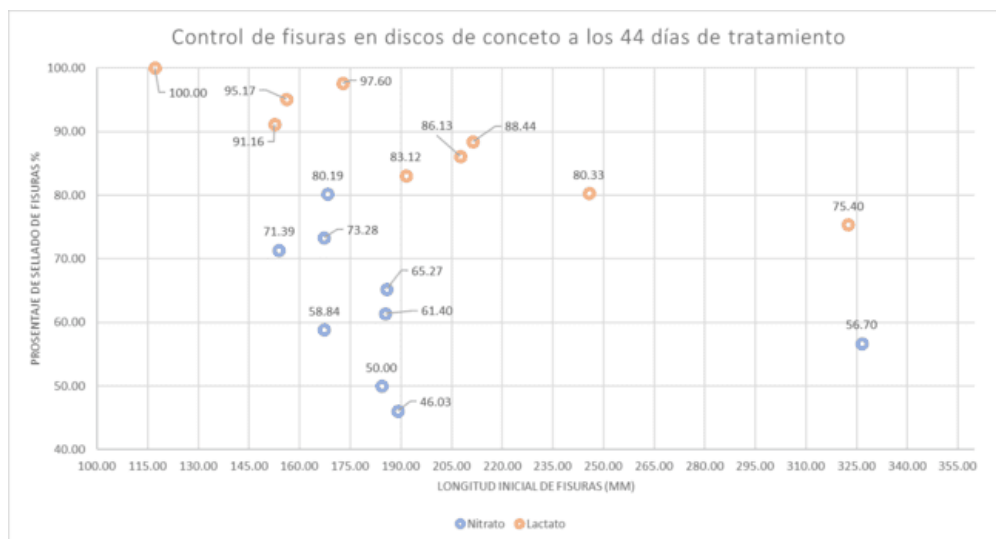


Figura 70

Control de fisuras en discos de concreto.



C. Análisis del porcentaje de sellado

Los resultados evidenciaron que el porcentaje de sellado de fisuras en discos de concreto fue significativamente mayor al utilizar lactato de calcio, con un promedio del 88.59 % en comparación con el nitrato de calcio que fue un promedio del 62.57%, lo que sugiere una mayor eficiencia del primero en la reparación de fisuras. Esta diferencia se atribuye a las propiedades químicas del lactato de calcio, como su mayor solubilidad y capacidad para promover la precipitación de carbonato de calcio, lo que favorece un sellado más efectivo, con un tiempo de tratamiento de 14 días después de su proceso de fisurado.

4.6.3 Resistencia de los testigos de concreto.

A. Procedimiento

Se recopilaron los datos de las pruebas de resistencia en diferentes momentos (37, 44, 51 y 58 días), lo que permitió una evaluación detallada de la resistencia a la compresión en cada tipo de testigo de concreto. Los datos recopilados incluyen resistencia de f_c : 210 kg/cm², y se evaluaron varios tipos de testigos de concreto, cada uno con sus

características específicas, aplicándole un total de 650 ml de la solución bio reparadora, así como el agua destilada en cada briqueta. Los datos obtenidos se presentan en una tabla de resistencia, donde se detallan las especificaciones de cada tipo de testigo de concreto.

4.6.1.1 Análisis de la aplicación de la solución A y B.

Se realizó un experimento con briquetas utilizando dos soluciones bio reparadoras, A y B, inyectadas simultáneamente en cantidades iguales. La solución B se presentó en dos variantes: BN (con nitrato de calcio) y BL (con lactato de calcio).

4.6.1.1.1 Grupo N (Briquetas N-01 a N-48):

- Primer día (día 30): Se inyectó la solución A junto con BN (nitrato de calcio) en todas las briquetas (N-01 a N-48).
- Días 37, 44 y 51: Se repitió la inyección de A y BN en subgrupos progresivos (N-31 a N-48, N-37 a N-48 y N-43 a N-48), sumergido en agua destilada hasta completar el tiempo de tratamiento.
- Briquetas N-01 a N-24: Solo se inyectó A y BN el día 30, y en los días 37, 44 y 51 fue sumergido en el bio reparador.

4.6.1.1.2 Grupo L (Briquetas L-01 a L-48):

- Primer día (día 30): Se inyectó la solución A junto con BL (lactato de calcio) en todas las briquetas (L-01 a L-48).
- Días 37, 44 y 51: Se repitió la inyección de A y BL en subgrupos progresivos (L-31 a L-48, L-37 a L-48 y L-43 a L-48), sumergido en agua destilada hasta completar el tiempo de tratamiento.
- Briquetas L-01 a L-24: Solo se inyectó A y BL el día 30, y en los días 37, 44 y 51 fue sumergido en el bio reparador.

Este diseño permitió comparar el efecto de las soluciones BN y BL en diferentes momentos de aplicación, así como evaluar el impacto de usar solo agua destilada después del primer día.

4.6.3 Análisis del desarrollo de la bio reparación en briquetas fisuradas.

El análisis de la ruptura de briquetas se realizó en diferentes días (37, 44, 51 y 58), lo que permitió una comprensión más profunda de las condiciones de prueba.

4.6.1.2 Control de fisuras en los testigos de concreto.

A. Procedimiento

Los testigos de concreto de la serigrafía N y L respectivamente luego de su proceso de curado hasta los 28 días de edad se ha sometido una carga de 14365.28 kg aproximadamente para generar fisuras en el concreto sin necesidad de la ruptura de los testigos de concreto, este valor se ha obtenida a partir de la prueba piloto que se ha realizado previamente, la medición del ancho de las fisuras se ha realizado con un fisurómetro (regla), para medir las longitudes se ha utilizado un vernier digital y finalmente para calcular la profundidad se ha hecho uso de una fórmula matemática (volumen):

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

Donde:

P: profundidad.

V: volumen.

A: área.

Para calcular el volumen se ha inyectado agua a las fisuras de los testigos previamente saturados para mayor precisión.

Luego se efectuó la estimación del porcentaje de reparación según la siguiente formula:

$$\text{Porcentaje de sellado} = \frac{(W_o - W_f)}{W_o} \times 100$$

Donde:

W_o: volumen inicial de la fisura.

W_f: volumen final de la fisura.

Figura 71

Saturación del concreto fisurado de las 96 briquetas con serigrafías N y L.



Nota. Se tomo en cuenta el mismo criterio que de la prueba piloto.

B. Procesamiento de datos.

Figura 72

Lactato de calcio curado con lactato de calcio.

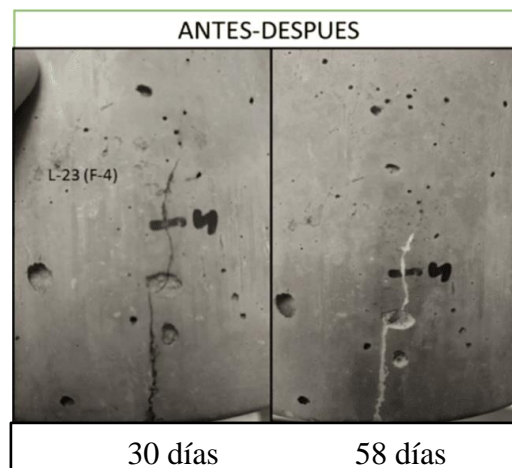


Tabla 29

Cuadro resumen de la briqueta L-23 fisura 4.

diseño de concreto 210 kg/cm ²					
Antes			Después		
Dimensiones de la de la briqueta			porcentaje de sellado		
diámetro	9.97	cm	Briqueta general	L-23	97.74
altura	19.94	cm	Fisura	F-4	91.43
					%
Fisuración de las briquetas			Ruptura de las briquetas		
fuerza	14014.47	Kg	fuerza	20432.35	Kg
esfuerzo	179.60	kg/cm ²	Esfuerzo ruptura	261.85	kg/cm²
día de fisuración	28 días		día de ruptura	58 días	
Características de las fisuras principal			Características de las fisuras selladas		
Ancho	0.30	mm	Ancho	0.30	mm
Longitud	3.50	cm	Longitud	0.30	cm
profundidad	9.52	mm	profundidad	9.52	mm
días de control	2 días		día de control	58 días	
Tratamiento			Porcentaje de incremento de resistencia		
inyección	lactato de calcio		210 kg/cm²	39.17 %	
curado	lactato de calcio				

Nota. La evaluación se realizó con respecto a la longitud, se evaluó a los 28 días después de la aplicación que existe un incremento al 39.17 % con respecto al f_c de diseño.

Figura 73

Lactato de calcio curado con lactato de calcio.

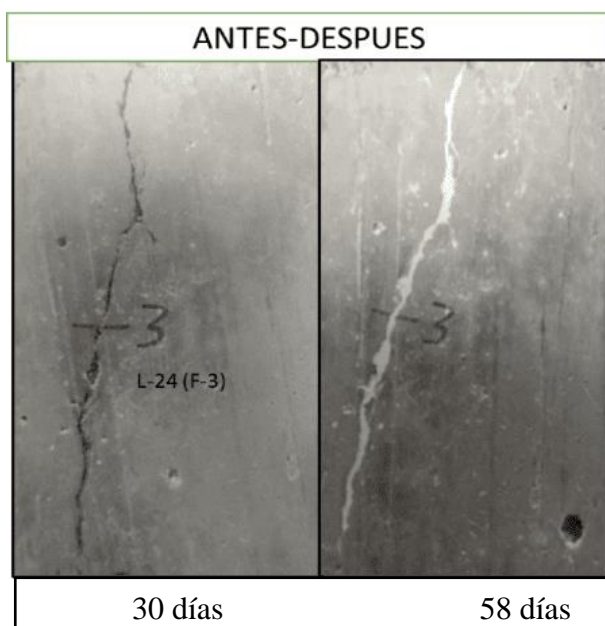


Tabla 30

Cuadro resumen de la briqueta L-24 fisura 3.

diseño de concreto 210 kg/cm ²						
Antes			Después			
Dimensiones de la de la briqueta			porcentaje de sellado			
diámetro	9.98	cm	Briqueta general	L-24	100	%
altura	19.90	cm	Fisura	F-3	100	
Fisuración de las briquetas			Ruptura de las briquetas			
fuerza	13780.98	Kg	fuerza		20679.21	Kg
esfuerzo	176.08	kg/cm ²	Esfuerzo ruptura		264.22	kg/cm²
día de fisuración	28 días		día de ruptura	58 días		
Características de las fisuras principal			Características de las fisuras selladas			
Ancho	0.10	mm	Ancho	0.00		mm
Longitud	4.96	cm	Longitud	0.00		cm
profundidad	16.13	mm	profundidad	0.00		mm
días de control	2 días		día de control	58 días		
Tratamiento			Porcentaje de incremento de resistencia			
inyección	lactato de calcio		210 kg/cm²			41.97 %
curado	lactato de calcio					

Nota. La evaluación se realizó con respecto a la longitud, se evaluó a los 28 días después de la aplicación que existe un incremento al 41.97 % con respecto al fc de diseño.

Figura 74

Lactato de calcio curado con agua.

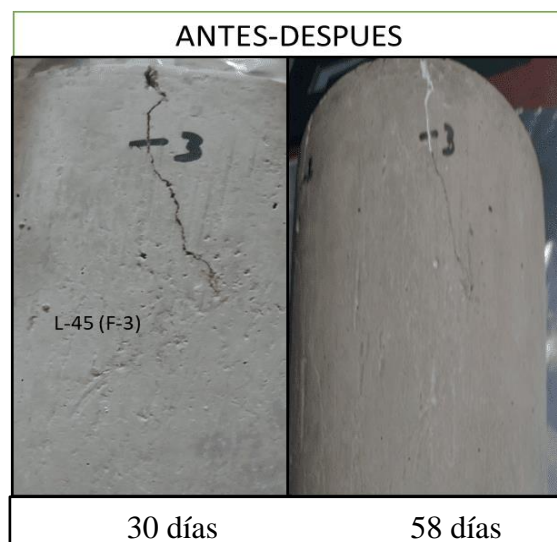


Tabla 31

Cuadro resumen de la briqueta L-45 fisura 3.

diseño de concreto 210 kg/cm ²					
Antes			Después		
Dimensiones de la de la briqueta			porcentaje de sellado		
diámetro	10.08	cm	Briqueta general	L-45	68.19 %
altura	20.00	cm	Fisura	F-3	36.39
Fisuración de las briquetas			Ruptura de las briquetas		
fuerza	13991.10	Kg	fuerza	19061.26	Kg
esfuerzo	175.24	kg/cm ²	Esfuerzo ruptura	238.74	kg/cm²
día de fisuración	28 días		día de ruptura	58 días	
Características de las fisuras principal			Características de las fisuras selladas		
Ancho	0.20	mm	Ancho	0.20	mm
Longitud	3.93	cm	Longitud	2.30	cm
profundidad	5.09	mm	profundidad	5.09	mm
días de control	2 días		día de control	58 días	
Tratamiento			Porcentaje de incremento de resistencia		
inyección	lactato de calcio		210 kg/cm²	30.24 %	
curado	agua				

Nota. La evaluación se realizó con respecto a la longitud, se evaluó a los 28 días después de la aplicación que existe un incremento al 30.24 % con respecto al fc de diseño.

Figura

75

lactato de calcio curado con lactato de calcio.

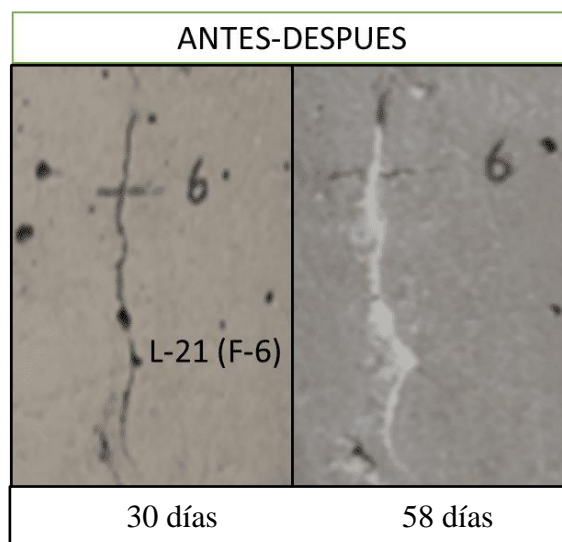


Tabla 32

Cuadro resumen de la briqueta L-21 fisura 6.

diseño de concreto 210 kg/cm ²					
Antes			Después		
Dimensiones de la de la briqueta			porcentaje de sellado		
diámetro	9.98	cm	Briqueta general L-21	96.63	%
altura	20.00	cm	Fisura F-6	86.11	
Fisuración de las briquetas			Ruptura de las briquetas		
fuerza	13997.51	Kg	fuerza	21189.78	Kg
esfuerzo	178.85	kg/cm ²	Esfuerzo ruptura	270.74	kg/cm²
día de fisuración	28 días		día de ruptura	58 días	
Características de las fisuras principal			Características de las fisuras selladas		
Ancho	0.30	mm	Ancho	0.30	mm
Longitud	3.60	cm	Longitud	0.50	cm
profundidad	7.41	mm	profundidad	7.41	mm
días de control	2 días		día de control	58 días	
Tratamiento			Porcentaje de incremento de resistencia		
inyección	lactato de calcio		210 kg/cm²	43.76 %	
curado	lactato de calcio				

Nota. La evaluación se realizó con respecto a la longitud, se evaluó a los 28 días después de la aplicación que existe un incremento al 43.76 % con respecto al fc de diseño.

Figura 76

lactato de calcio curado con agua.

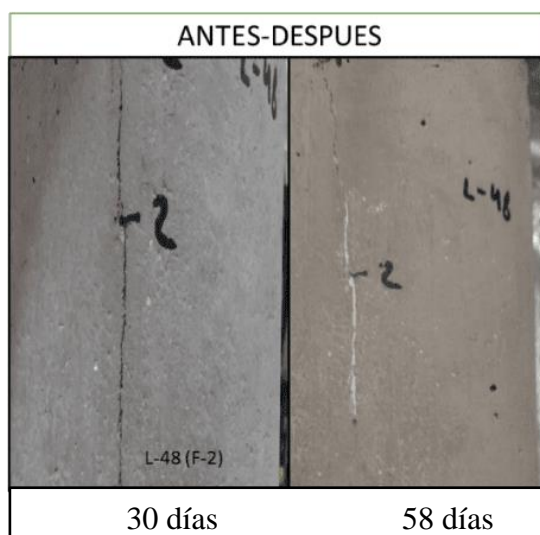


Tabla 33

Cuadro resumen de la briqueta L-48 fisura 2.

diseño de concreto 210 kg/cm ²						
Antes			Después			
Dimensiones de la de la briqueta			porcentaje de sellado			
diámetro	10.07	cm	Briqueta general	L-48	55.59	%
altura	19.97	cm	Fisura	F-2	100	
Fisuración de las briquetas			Ruptura de las briquetas			
fuerza	14190.56	Kg	fuerza		17719.07	Kg
esfuerzo	178.27	kg/cm ²	Esfuerzo ruptura		222.59	kg/cm²
día de fisuración	28 días		día de ruptura	58 días		
Características de las fisuras principal			Características de las fisuras selladas			
Ancho	0.05	mm	Ancho	0.00		mm
Longitud	4.60	cm	Longitud	0.00		cm
profundidad	8.70	mm	profundidad	0.00		mm
días de control	2 días		día de control	58 días		
Tratamiento			Porcentaje de incremento de resistencia			
inyección	lactato de calcio		210 kg/cm²			21.10 %
curado	agua					

Nota. La evaluación se realizó con respecto a la longitud, se evaluó a los 28 días después de la aplicación que existe un incremento al 21.10 % con respecto al fc de diseño.

Figura 77

Lactato de calcio curado con agua.

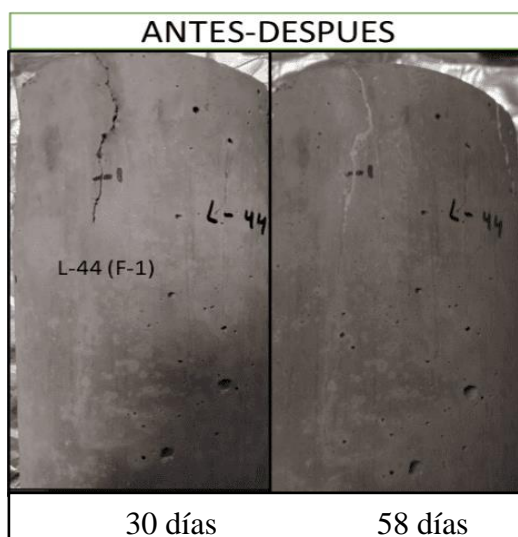


Tabla 34

Cuadro resumen de la briqueta L-44 fisura 1.

diseño de concreto 210 kg/cm ²						
Antes			Después			
Dimensiones de la de la briqueta			porcentaje de sellado			
diámetro	9.98	cm	Briqueta general	L-44	57.55	%
altura	19.90	cm	Fisura	F-1	100	
Fisuración de las briquetas			Ruptura de las briquetas			
fuerza	13788.57	Kg	fuerza	17841.23	Kg	
esfuerzo	176.18	kg/cm ²	Esfuerzo ruptura	227.96	kg/cm²	
día de fisuración	28 días		día de ruptura	58 días		
Características de las fisuras principal			Características de las fisuras selladas			
Ancho	0.10	mm	Ancho	0.00	mm	
Longitud	5.31	cm	Longitud	0.00	cm	
profundidad	11.30	mm	profundidad	0.00	mm	
días de control	2 días		día de control	58 días		
Tratamiento			Porcentaje de incremento de resistencia			
inyección	lactato de calcio		210 kg/cm²	24.66 %		
curado	agua					

Nota. La evaluación se realizó con respecto a la longitud, se evaluó a los 28 días después de la aplicación que existe un incremento al 24.66 % con respecto al fc de diseño.

Figura 78

Nitrato de calcio curado con agua.

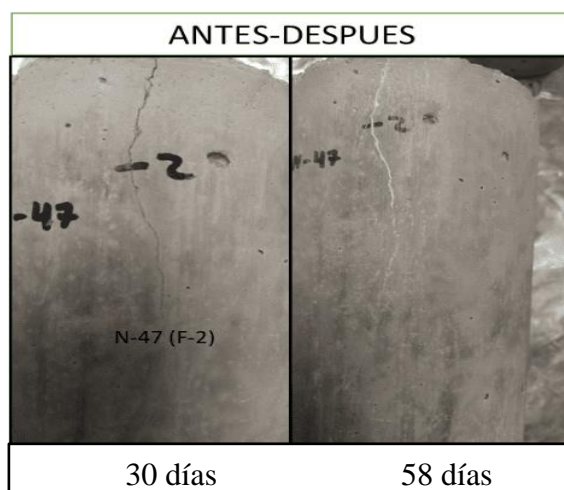


Tabla 35

Cuadro resumen de la briqueta N-47 fisura 2.

diseño de concreto 210 kg/cm ²						
Antes			Después			
Dimensiones de la de la briqueta			porcentaje de sellado			
diámetro	10.07	cm	Briqueta General	N-47	66.59	%
altura	20.17	cm	Fisura	F-2	100	
Fisuración de las briquetas			Ruptura de las briquetas			
fuerza	14190.83	Kg	fuerza		18773.12	Kg
esfuerzo	178.27	kg/cm ²	Esfuerzo ruptura		235.83	kg/cm²
día de fisuración	28 días		día de ruptura	58 días		
Características de las fisuras principal			Características de las fisuras selladas			
Ancho	0.05	mm	Ancho	0.00 mm		
Longitud	5.75	cm	Longitud	0.00 cm		
profundidad	6.96	mm	profundidad	0.00 mm		
días de control	2 días		día de control	58 días		
Tratamiento			Porcentaje de incremento de resistencia			
inyección	nitrato de calcio		210 kg/cm²	27.41 %		
curado	agua					

Nota. La evaluación se realizó con respecto a la longitud, se evaluó a los 28 días después de la aplicación que existe un incremento al 27.41 % con respecto al f_c de diseño.

Figura 79

Nitrato de calcio curado con agua.

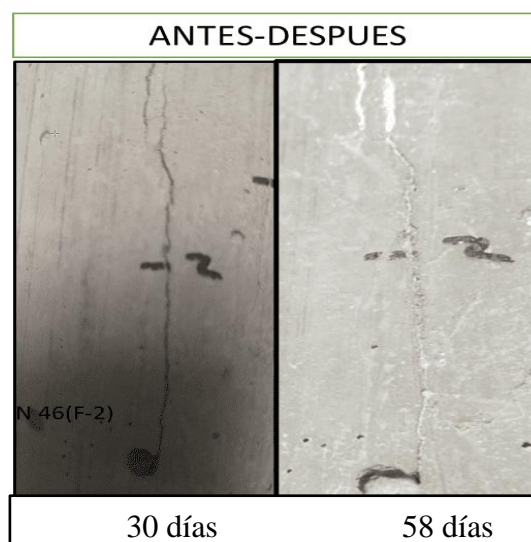


Tabla 36

Cuadro resumen de la briqueta N-46 fisura 2.

diseño de concreto 210 kg/cm ²						
Antes			Después			
Dimensiones de la de la briqueta			porcentaje de sellado			
diámetro	10.00	cm	Briqueta general	N-46	65.96	%
altura	20.04	cm	Fisura	F-2	13.19	
Fisuración de las briquetas			Ruptura de las briquetas			
fuerza	14163.53	Kg	fuerza		19101.89	Kg
esfuerzo	180.34	kg/cm ²	Esfuerzo ruptura		243.21	kg/cm²
día de fisuración	28 días		día de ruptura	58 días		
Características de las fisuras principal			Características de las fisuras selladas			
Ancho	0.40	mm	Ancho	0.40	mm	
Longitud	5.76	cm	Longitud	5.00	cm	
profundidad	8.68	mm	profundidad	8.68	mm	
días de control	2 días		día de control	58 días		
Tratamiento			Porcentaje de incremento de resistencia			
inyección	nitrato de calcio		210 kg/cm²	29.94 %		
curado	agua					

Nota. La evaluación se realizó con respecto a la longitud, se evaluó a los 28 días después de la aplicación que existe un incremento al 29.94 % con respecto al fc de diseño.

Figura 80

Nitrato de calcio curado con agua.

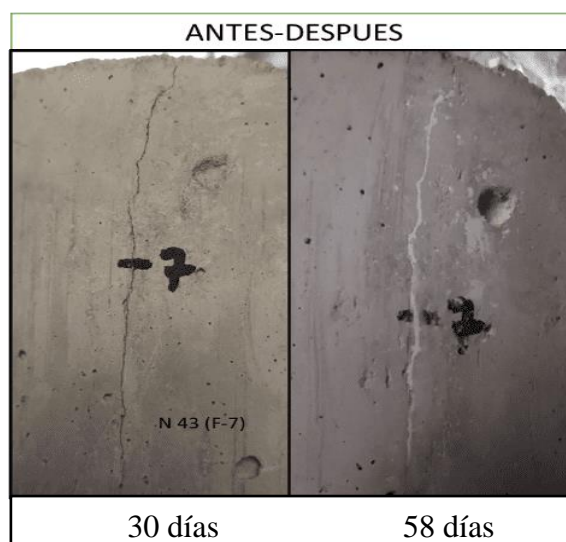


Tabla 37

Cuadro resumen de la briqueta N-43 fisura 7.

diseño de concreto 210 kg/cm ²						
Antes			Después			
Dimensiones de la de la briqueta			porcentaje de sellado			
diámetro	10.09	cm	Briqueta general	N-43	63.5	%
altura	20.04	cm	Fisura	F-7	100	
Fisuración de las briquetas			Ruptura de las briquetas			
fuerza	14384.91	Kg	fuerza		18695.97	Kg
esfuerzo	180.08	kg/cm ²	Esfuerzo ruptura		234.05	kg/cm²
día de fisuración	28 días		día de ruptura	58 días		
Características de las fisuras principal			Características de las fisuras selladas			
Ancho	0.10	mm	Ancho	0.00 mm		
Longitud	5.53	cm	Longitud	0.00 cm		
profundidad	12.66	mm	profundidad	0.00 mm		
días de control	2 días		día de control	58 días		
Tratamiento			Porcentaje de incremento de resistencia			
inyección	nitrato de calcio		210 kg/cm²	25.70 %		
curado	agua					

Nota. La evaluación se realizó con respecto a la longitud, se evaluó a los 28 días después de la aplicación que existe un incremento al 25.70 % con respecto al f_c de diseño.

Figura 81

Nitrato de calcio curado con nitrato de calcio.

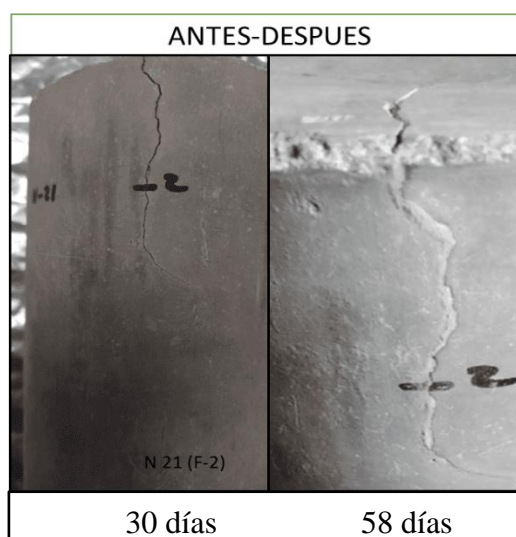


Tabla 38

Cuadro resumen de la briqueta N-21 fisura 2.

diseño de concreto 210 kg/cm ²						
Antes			Después			
Dimensiones de la de la briqueta			porcentaje de sellado			
diámetro	10.00	cm	Briqueta general	N-21	85.05	%
altura	20.24	cm	Fisura	F-2	70.10	
Fisuración de las briquetas			Ruptura de las briquetas			
fuerza	14074.75	Kg	fuerza		20558.43	Kg
esfuerzo	179.29	kg/cm ²	Esfuerzo ruptura		261.89	kg/cm²
día de fisuración	28 días		día de ruptura	58 días		
Características de las fisuras principal			Características de las fisuras selladas			
Ancho	0.40	mm	Ancho	0.40 mm		
Longitud	9.03	cm	Longitud	2.70 cm		
profundidad	16.61	mm	profundidad	16.61 mm		
días de control	2 días		día de control	58 días		
Tratamiento			Porcentaje de incremento de resistencia			
inyección	nitrato de calcio		210 kg/cm²	39.33 %		
curado	nitrato de calcio					

Nota. La evaluación se realizó con respecto a la longitud, se evaluó a los 28 días después de la aplicación que existe un incremento al 39.33 % con respecto al f_c de diseño.

Figura 82

Nitrato de calcio curado con nitrato de calcio.

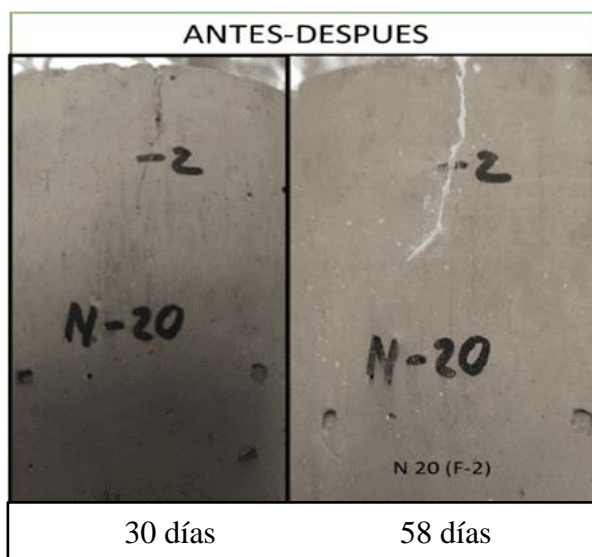


Tabla 39

Cuadro resumen de la briqueta N-20 fisura 2.

diseño de concreto 210 kg/cm ²						
Antes			Después			
Dimensiones de la de la briqueta			porcentaje de sellado			
diámetro	10.13	cm	Briqueta general	N-20	85.20	
altura	20.24	cm	Fisura	F-2	100	%
Fisuración de las briquetas			Ruptura de las briquetas			
fuerza	14357.17	Kg	fuerza	20048.32	Kg	
esfuerzo	178.14	kg/cm ²	Esfuerzo ruptura	248.75	kg/cm²	
día de fisuración	28 días		día de ruptura	58 días		
Características de las fisuras principal			Características de las fisuras selladas			
Ancho	0.10	mm	Ancho	0.00	mm	
Longitud	3.20	cm	Longitud	0.00	cm	
profundidad	9.38	mm	profundidad	0.00	mm	
días de control	2 días		día de control	58 días		
Tratamiento			Porcentaje de incremento de resistencia			
inyección	nitrate de calcio		210 kg/cm²	33.62 %		
curado	nitrate de calcio					

Nota. La evaluación se realizó con respecto a la longitud, se evaluó a los 28 días después de la aplicación que existe un incremento al 33.62 % con respecto al f_c de diseño.

Figura 83

Nitrato de calcio curado con nitrato de calcio.

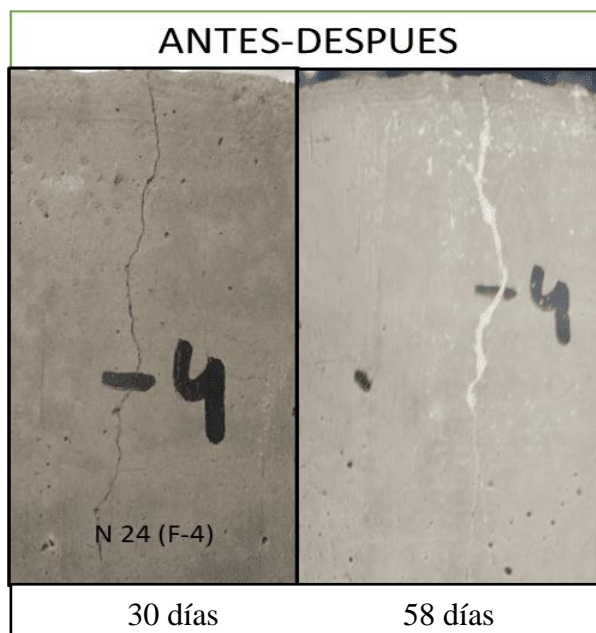


Tabla 40

Cuadro resumen de la briqueta N-24 fisura 4.

diseño de concreto 210 kg/cm ²						
Antes			Después			
Dimensiones de la de la briqueta			porcentaje de sellado			
diámetro	10.06	cm	Briqueta general	N-24	84.59	%
altura	20.07	cm	Fisura	F-4	64.04	
Fisuración de las briquetas			Ruptura de las briquetas			
fuerza	14033.28	Kg	fuerza		19959.36	Kg
esfuerzo	176.46	kg/cm ²	Esfuerzo ruptura		250.98	kg/cm²
día de fisuración	28 días		día de ruptura	58 días		
Características de las fisuras principal			Características de las fisuras selladas			
Ancho	0.10	mm	Ancho	0.10	mm	
Longitud	4.45	cm	Longitud	1.60	cm	
profundidad	6.74	mm	profundidad	6.74	mm	
días de control	2 días		día de control	58 días		
Tratamiento			Porcentaje de incremento de resistencia			
inyección	nitrato de calcio		210 kg/cm²	35.49 %		
curado	nitrato de calcio					

Nota. La evaluación se realizó con respecto a la longitud, se evaluó a los 28 días después de la aplicación que existe un incremento al 35.49 % con respecto al f_c de diseño.

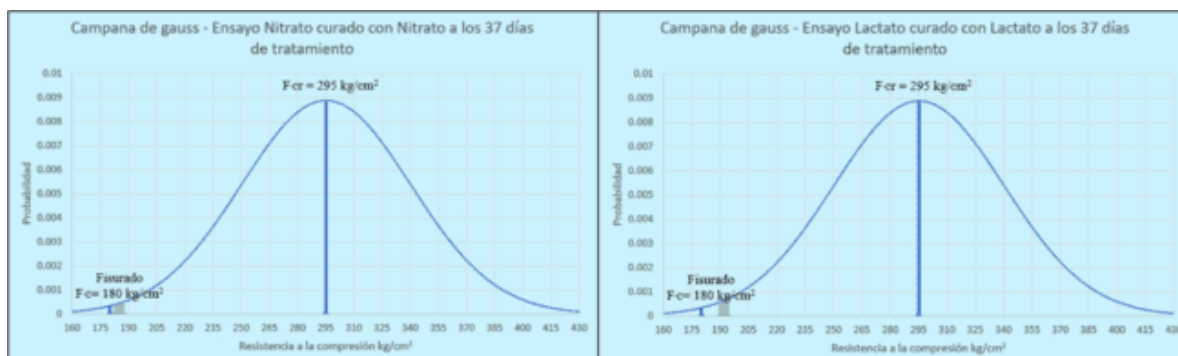
4.6.1.1 Análisis estadísticos.

A. Procedimiento

Se realizó un análisis estadístico de la distribución de los resultados de resistencia a compresión del concreto a los 58 días de tratamiento, considerando esta edad como el punto de referencia en el que se espera que el concreto fisurado incremente su resistencia a la compresión, teniendo en cuenta que a los 28 días de edad los testigos de concreto fisurado alcanzo una resistencia de 180 kg/cm² aproximadamente.

Figura 84

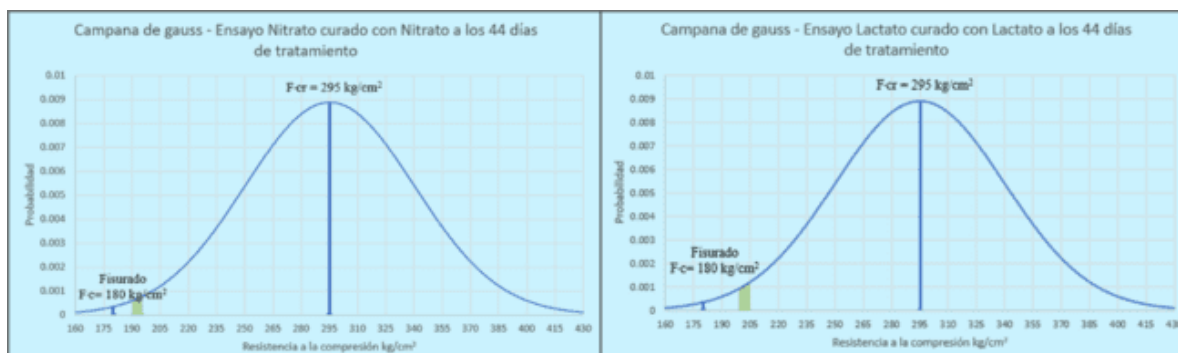
Distribución de los resultados de Resistencia a Compresión del Nitrato vs Lactato curadas con bio reparador a los 37 días de tratamiento.



En la Figura anterior se presenta la distribución de los resultados de los ensayos de compresión del concreto entre el Nitrato y el Lactato de calcio curadas con el bio reparador a sus 37 días de tratamiento. En ambas imágenes, se observa que la resistencia está por encima de la resistencia del concreto fisurado que es de 180 kg/cm^2 sobresaliendo por poco el lactato de calcio que tiene una resistencia promedio de 191.57 kg/cm^2 .

Figura 85

Distribución de los resultados de Resistencia a Compresión del Nitrato vs Lactato curadas con bio reparador a los 44 días de tratamiento.

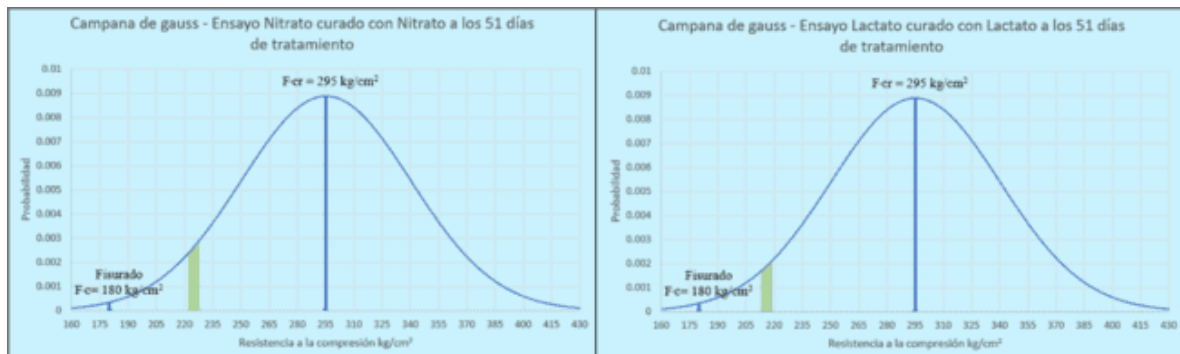


En la Figura anterior se presenta la distribución de los resultados de los ensayos de compresión del concreto entre el Nitrato y el Lactato de calcio curadas con el bio reparador a sus 44 días de tratamiento. En ambas imágenes, se observa que la resistencia

está por encima de la resistencia del concreto fisurado que es de 180 kg/cm^2 sobresaliendo por poco el lactato de calcio que tiene una resistencia promedio de 202.04 kg/cm^2 .

Figura 86

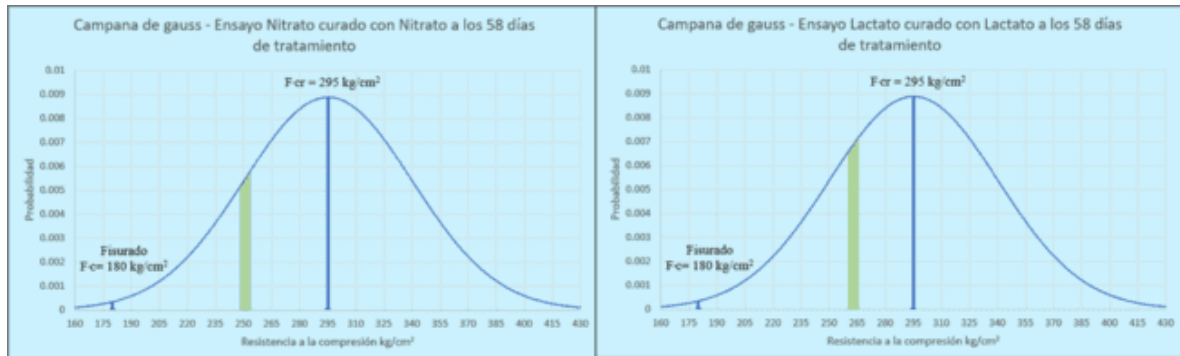
Distribución de los resultados de Resistencia a Compresión del Nitrato vs Lactato curadas con bio reparador a los 51 días de tratamiento.



En la Figura anterior se presenta la distribución de los resultados de los ensayos de compresión del concreto entre el Nitrato y el Lactato de calcio curadas con el bio reparador a sus 51 días de tratamiento. En ambas imágenes, se observa que la resistencia está por encima de la resistencia del concreto fisurado que es de 180 kg/cm^2 sobresaliendo el Nitrato de calcio que tiene una resistencia promedio de 225.40 kg/cm^2 , se evidencia un incremento en la resistencia, alcanzando valores cercanos a la resistencia requerida de $f'_{cr}=295 \text{ kg/cm}^2$.

Figura 87

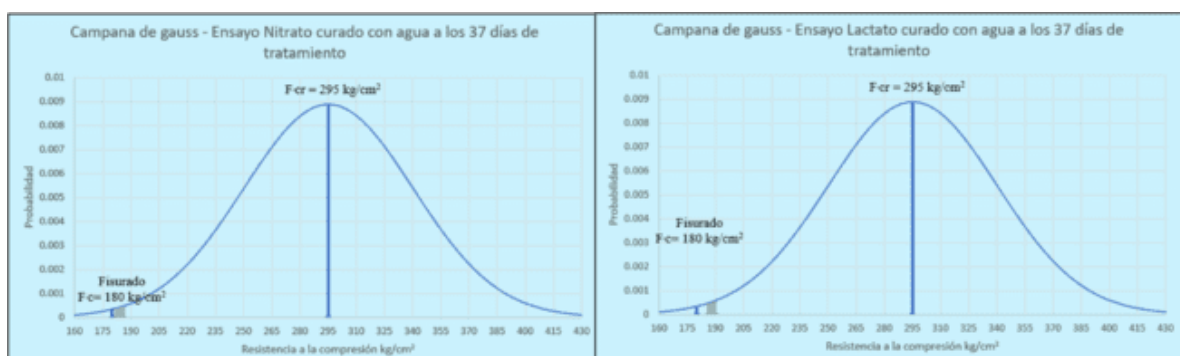
Distribución de los resultados de Resistencia a Compresión del Nitrato vs Lactato curadas con bio reparador a los 58 días de tratamiento.



En la Figura anterior se presenta la distribución de los resultados de los ensayos de compresión del concreto entre el Nitrato y el Lactato de calcio curadas con el bio reparador a sus 58 días de tratamiento. En ambas imágenes, se observa que la resistencia está por encima de la resistencia del concreto fisurado que es de 180 kg/cm² sobresaliendo el Lactato de calcio que tiene una resistencia promedio de 263.10 kg/cm², se evidencia un incremento en la resistencia, alcanzando valores cercanos a la resistencia requerida de $f'_{cr}=295$ kg/cm².

Figura 88

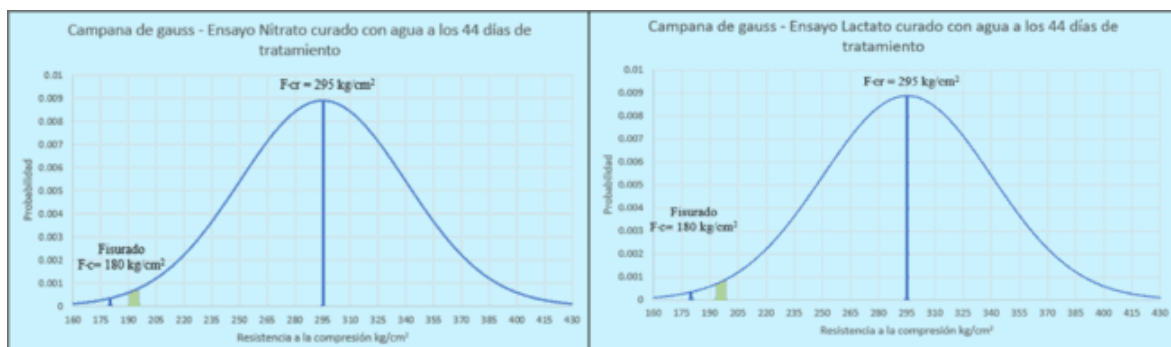
Distribución de los resultados de Resistencia a Compresión del Nitrato vs Lactato curadas con agua a los 37 días de tratamiento.



En la Figura anterior se presenta la distribución de los resultados de los ensayos de compresión del concreto entre el Nitrato y el Lactato de calcio curadas con agua a sus 37 días de tratamiento. En ambas imágenes, se observa que la resistencia está por encima de la resistencia del concreto fisurado que es de 180 kg/cm^2 sobresaliendo por poco el lactato de calcio que tiene una resistencia promedio de 188.11 kg/cm^2 .

Figura 89

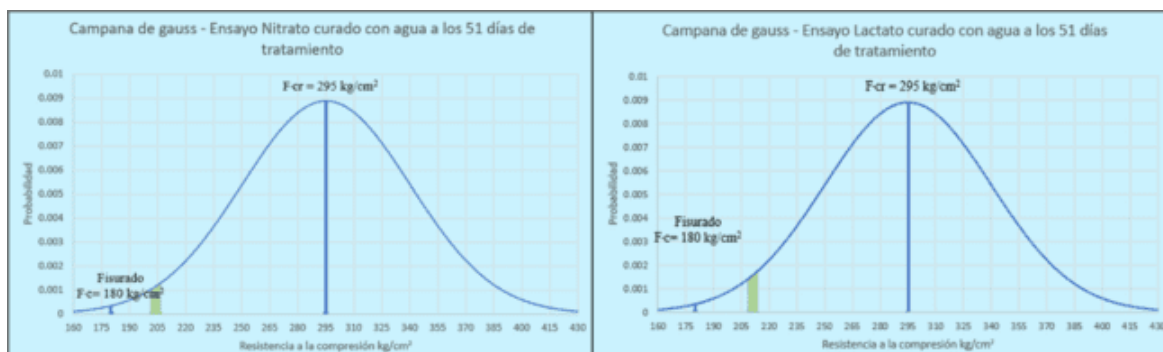
Distribución de los resultados de Resistencia a Compresión del Nitrato vs Lactato curadas con agua a los 44 días de tratamiento.



En la Figura anterior se presenta la distribución de los resultados de los ensayos de compresión del concreto entre el Nitrato y el Lactato de calcio curadas con agua a sus 44 días de tratamiento. En ambas imágenes, se observa que la resistencia está por encima de la resistencia del concreto fisurado que es de 180 kg/cm^2 sobresaliendo por poco el lactato de calcio que tiene una resistencia promedio de 197.09 kg/cm^2 .

Figura 90

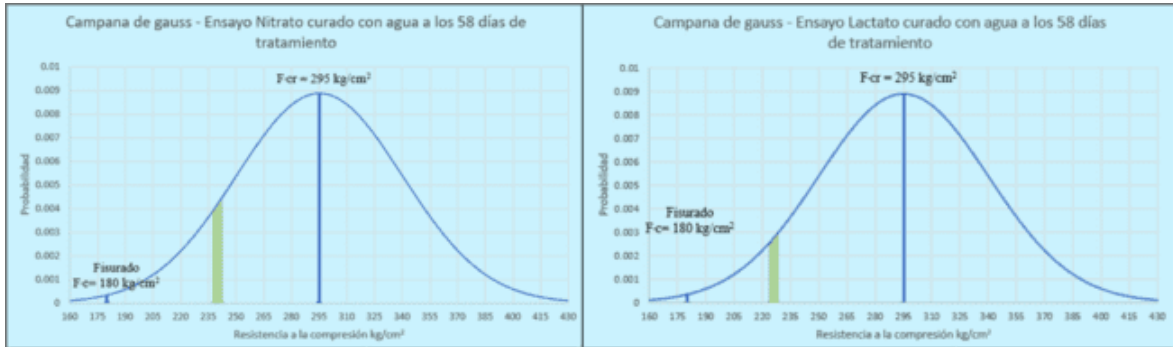
Distribución de los resultados de Resistencia a Compresión del Nitrato vs Lactato curadas con agua a los 51 días de tratamiento.



En la Figura anterior se presenta la distribución de los resultados de los ensayos de compresión del concreto entre el Nitrato y el Lactato de calcio curadas con agua a sus 51 días de tratamiento. En ambas imágenes, se observa que la resistencia está por encima de la resistencia del concreto fisurado que es de 180 kg/cm^2 sobresaliendo por poco el Lactato de calcio que tiene una resistencia promedio de 210.66 kg/cm^2 , se evidencia un incremento en la resistencia, alcanzando valores iguales a la resistencia de diseño de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$.

Figura 91

Distribución de los resultados de Resistencia a Compresión del Nitrato vs Lactato curadas con agua a los 58 días de tratamiento.



En la Figura anterior se presenta la distribución de los resultados de los ensayos de compresión del concreto entre el Nitrato y el Lactato de calcio curadas con agua a sus 51 días de tratamiento. En ambas imágenes, se observa que la resistencia está por encima de la resistencia del concreto fisurado que es de 180 kg/cm^2 sobresaliendo el Nitrato de calcio que tiene una resistencia promedio de 226.14 kg/cm^2 , se evidencia un incremento en la resistencia, alcanzando valores por encima a la resistencia de diseño de $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

Tabla 41

Cálculo de resistencia a la compresión del concreto patrón.

PERIODO DE ENDURECIMIENTO	SERIGRAFIA DEL TESTIGO	DIMENSIONES			DATOS DE ROTURA COMPRESIÓN	RESISTENCIA COMPRESIÓN AXIAL
		Espesor Prom (cm)	Altura Prom (cm)	Sección transversal Prom (cm ²)	Fuerza Aplicada (Kg)	F'c: (Kg/cm ²)
7 días	P-1	10.08	20.20	79.72	13473.59	169.01
	P-2	10.01	20.20	78.70	13141.79	166.99
	P-3	10.06	20.27	79.49	13144.16	165.37
	P-4	10.01	20.13	78.70	13488.56	171.40
	P-5	10.08	19.90	79.72	14161.35	177.63
	P-6	10.11	20.03	80.24	14674.09	182.88
	Prom.					172.21
14 días	P-7	10.13	20.17	80.60	15290.22	189.72
	P-8	10.10	20.20	80.12	15448.93	192.83
	P-9	10.10	19.87	80.12	15453.13	192.88
	P-10	10.15	20.20	80.83	15813.46	195.63
	P-11	10.10	20.10	80.12	15397.48	192.18
	P-12	10.05	20.07	79.33	15448.71	194.75
	Prom.					193.00
28 días	P-13	10.04	20.03	79.09	19263.45	243.56
	P-14	9.98	20.10	78.19	18928.79	242.10
	P-15	10.05	20.07	79.37	19765.59	249.04
	P-16	10.12	20.04	80.36	19392.55	241.33
	P-17	10.07	20.04	79.60	19449.98	244.34
	P-18	10.07	19.97	79.60	19383.34	243.50
	Prom.					243.98
60 días	P-19	10.03	20.17	78.97	21192.09	268.35
	P-20	10.09	20.20	80.00	21446.59	268.08
	P-21	10.10	20.18	80.04	22400.38	279.87
	P-22	10.10	20.01	80.08	21671.27	270.62
	P-23	10.12	20.17	80.48	22454.03	279.02
	P-24	10.08	20.11	79.84	21375.82	267.73
	Prom.					272.28

Tabla 42

Cálculo de resistencia a la compresión del concreto fisurado + solución A + Solución

BN, Curadas con solución A + Solución BN.

PERIODO DE TRATAMIENTO	SERIGRAFIA DEL TESTIGO	DIMENSIONES			DATOS DE ROTURA COMPRESIÓN	RESISTENCIA COMPRESIÓN AXIAL
		Espesor Prom (cm)	Altura Prom (cm)	Sección transversal Prom (cm ²)	Fuerza Aplicada (Kg)	F'c: (Kg/cm ²)
37 días	N-01	10.12	19.90	80.40	14478.96	180.09
	N-02	10.03	19.87	79.05	14873.49	188.15
	N-03	10.05	20.16	79.29	15177.38	191.42
	N-04	10.10	20.16	80.12	14918.11	186.20
	N-05	10.07	20.13	79.56	14624.76	183.81
	N-06	10.04	19.94	79.09	14695.49	185.81
	Prom.					185.91
44 días	N-07	9.98	20.10	78.27	15001.18	191.67
	N-08	10.07	20.13	79.60	15499.00	194.70
	N-09	10.10	20.20	80.12	15758.88	196.69
	N-10	10.08	20.13	79.72	15508.43	194.53
	N-11	10.07	20.17	79.60	15047.75	189.03
	N-12	10.07	20.07	79.56	15345.33	192.87
	Prom.					193.25
51 días	N-13	10.10	20.20	80.12	17675.91	220.62
	N-14	10.10	20.13	80.12	17922.85	223.70
	N-15	10.02	20.14	78.81	18333.69	232.62
	N-16	10.02	19.90	78.81	17992.54	228.29
	N-17	10.05	20.00	79.33	17672.43	222.78
	N-18	10.05	19.90	79.33	17799.98	224.39
	Prom.					225.40
58 días	N-19	10.09	20.07	80.00	19689.78	246.12
	N-20	10.13	20.24	80.60	20048.32	248.75
	N-21	10.00	20.24	78.50	20558.43	261.89
	N-22	10.07	20.10	79.60	19994.78	251.18
	N-23	10.13	20.00	80.60	19822.77	245.95
	N-24	10.06	20.07	79.52	19959.36	250.98
	Prom.					250.81

Tabla 43

Cálculo de resistencia a la compresión del concreto fisurado + solución A + Solución

BN, Curadas con Agua.

PERIODO DE TRATAMIENTO	SERIGRAFIA DEL TESTIGO	DIMENSIONES			DATOS DE ROTURA COMPRESIÓN	RESISTENCIA COMPRESIÓN AXIAL
		Espesor Prom (cm)	Altura Prom (cm)	Sección transversal Prom (cm ²)	Fuerza Aplicada (Kg)	F'c: (Kg/cm ²)
37 días	N-25	10.04	19.97	79.17	14529.34	183.52
	N-26	10.02	19.97	78.81	14629.20	185.61
	N-27	9.95	20.10	77.76	14956.94	192.36
	N-28	10.07	20.04	79.60	14600.62	183.42
	N-29	10.07	20.10	79.60	14422.29	181.18
	N-30	10.10	20.04	80.12	14462.10	180.51
	Prom.					184.43
44 días	N-31	10.00	19.87	78.54	14824.33	188.75
	N-32	9.99	19.94	78.30	14923.92	190.59
	N-33	9.97	19.90	77.99	15450.26	198.10
	N-34	10.00	20.07	78.54	14900.12	189.71
	N-35	10.02	19.97	78.78	14680.32	186.36
	N-36	10.02	19.90	78.81	14981.19	190.08
	Prom.					190.60
51 días	N-37	10.03	20.10	79.05	15882.62	200.92
	N-38	10.07	20.04	79.60	16090.05	202.13
	N-39	10.00	19.90	78.54	16544.56	210.65
	N-40	10.02	19.97	78.78	16422.90	208.48
	N-41	10.04	20.07	79.09	16024.36	202.61
	N-42	10.04	20.00	79.09	16204.50	204.89
	Prom.					204.94
58 días	N-43	10.09	20.04	79.88	18695.97	234.05
	N-44	10.07	20.00	79.64	19008.59	238.67
	N-45	10.05	20.07	79.33	19532.48	246.23
	N-46	10.00	20.04	78.54	19101.89	243.21
	N-47	10.07	20.17	79.60	18773.12	235.83
	N-48	10.08	20.04	79.84	19014.07	238.15
	Prom.					239.36

Tabla 44

Cálculo de resistencia a la compresión del concreto fisurado + solución A + Solución

BL, Curadas con solución A + Solución BL.

PERIODO DE TRATAMIENTO	SERIGRAFIA DEL TESTIGO	DIMENSIONES			DATOS DE ROTURA COMPRESIÓN	RESISTENCIA COMPRESIÓN AXIAL
		Espesor Prom (cm)	Altura Prom (cm)	Sección transversal Prom (cm ²)	Fuerza Aplicada (Kg)	F'c: (Kg/cm ²)
37 días	L-1	9.95	20.20	77.76	14956.51	192.35
	L-2	10.09	20.04	79.88	15302.84	191.57
	L-3	10.10	20.04	80.12	15522.49	193.74
	L-4	10.09	20.10	79.88	15261.05	191.05
	L-5	10.10	20.04	80.12	14983.58	187.02
	L-6	10.10	19.97	80.12	15516.50	193.67
	Prom.					191.57
44 días	L-7	9.98	20.00	78.27	15676.47	200.30
	L-8	9.94	20.00	77.64	15936.12	205.26
	L-9	10.00	19.90	78.54	16272.72	207.19
	L-10	10.03	19.97	78.97	15812.95	200.23
	L-11	10.04	19.83	79.09	15610.53	197.38
	L-12	10.02	19.94	78.78	15904.91	201.90
	Prom.					202.04
51 días	L-13	10.03	19.94	79.05	16972.67	214.70
	L-14	10.04	19.97	79.09	17315.62	218.93
	L-15	10.03	20.07	79.05	17602.34	222.67
	L-16	10.05	19.87	79.33	17130.66	215.95
	L-17	9.97	19.94	77.99	16822.51	215.70
	L-18	10.02	20.00	78.78	17193.37	218.26
	Prom.					217.70
58 días	L-19	10.00	20.07	78.54	20215.09	257.39
	L-20	10.02	19.94	78.78	20821.23	264.31
	L-21	9.98	20.00	78.27	21189.78	270.74
	L-22	10.02	19.90	78.78	20490.00	260.11
	L-23	9.97	19.94	78.03	20432.35	261.85
	L-24	9.98	19.90	78.27	20679.21	264.22
	Prom.					263.10

Tabla 45

Cálculo de resistencia a la compresión del concreto fisurado + solución A + Solución

BL, Curadas con Agua.

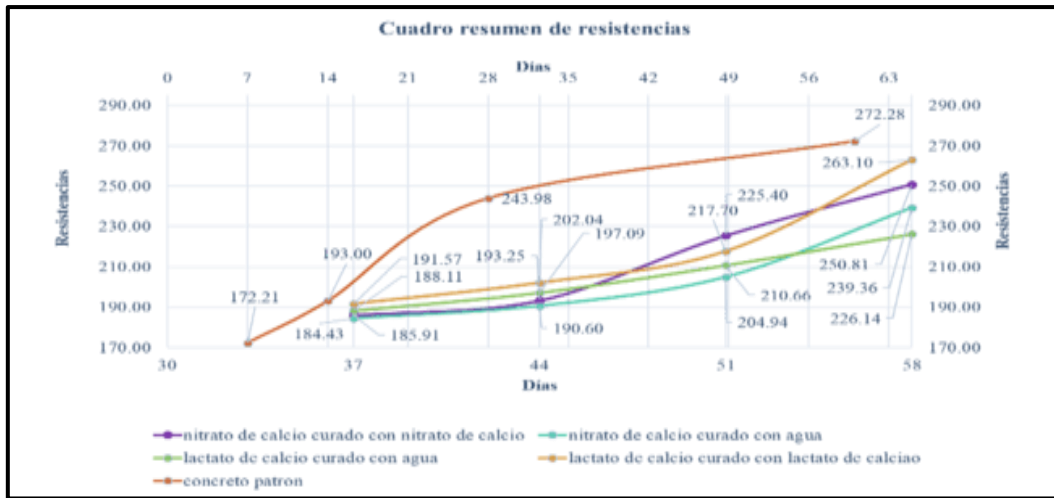
PERIODO DE TRATAMIENTO	SERIGRAFIA DEL TESTIGO	DIMENSIONES			DATOS DE ROTURA COMPRESIÓN	RESISTENCIA COMPRESIÓN AXIAL
		Espesor Prom (cm)	Altura Prom (cm)	Sección transversal Prom (cm ²)	Fuerza Aplicada (Kg)	F'c: (Kg/cm ²)
37 días	L-25	10.10	19.97	80.12	14825.54	185.05
	L-26	10.02	20.00	78.78	14835.93	188.33
	L-27	10.10	20.04	80.12	15307.24	191.06
	L-28	10.08	20.13	79.84	14986.11	187.70
	L-29	10.02	20.04	78.78	14774.57	187.55
	L-30	10.05	20.04	79.33	14992.62	189.00
	Prom.					188.11
44 días	L-31	10.03	20.04	79.05	14710.12	186.08
	L-32	10.03	20.04	79.05	15801.41	199.89
	L-33	10.02	19.97	78.78	16052.46	203.77
	L-34	10.05	19.97	79.33	15631.01	197.04
	L-35	10.03	20.10	79.05	15933.73	201.56
	L-36	10.03	20.04	79.05	15351.91	194.20
	Prom.					197.09
51 días	L-37	10.02	20.00	78.81	16643.00	211.17
	L-38	10.09	19.90	79.88	16494.29	206.49
	L-39	10.08	20.07	79.84	17313.26	216.85
	L-40	10.10	20.04	80.12	16908.29	211.04
	L-41	10.08	20.07	79.84	16358.71	204.89
	L-42	10.07	20.10	79.60	16997.55	213.53
	Prom.					210.66
58 días	L-43	10.08	20.20	79.84	17453.14	218.60
	L-44	9.98	19.90	78.27	17841.23	227.96
	L-45	10.08	20.00	79.84	19061.26	238.74
	L-46	10.02	19.94	78.78	17923.14	227.52
	L-47	10.02	19.94	78.78	17445.55	221.46
	L-48	10.07	19.97	79.60	17719.07	222.59
	Prom.					226.14

Tabla 50*Cuadro resumen de las resistencias y porcentajes de sellado.*

Tratamiento	periodo de evaluación (días)	resistencia de fisura	resistencia de ruptura	porcentaje de incremento de resistencia	porcentaje de sellado de fisuras
nitrato de calcio curado con nitrato de calcio	37	179.60	185.91	3.00%	11.75%
	44	179.63	193.25	6.49%	24.20%
	51	179.18	225.40	22.01%	65.42%
	58	178.66	250.81	34.36%	84.47%
nitrato de calcio curado con agua	37	179.89	184.43	2.16%	9.80%
	44	179.62	190.60	5.23%	18.32%
	51	179.51	204.94	12.11%	27.69%
	58	179.23	239.36	28.63%	65.79%
lactato de calcio curado con lactato de calcio	37	179.68	191.57	5.66%	20.29%
	44	179.52	202.04	10.72%	42.35%
	51	179.19	217.70	18.34%	60.95%
	58	179.11	263.10	39.99%	97.24%
lactato de calcio curado con agua	37	179.45	188.11	4.12%	13.12%
	44	179.75	197.09	8.26%	26.37%
	51	179.63	210.66	14.77%	45.01%
	58	177.90	226.14	22.97%	57.16%

Figura 92

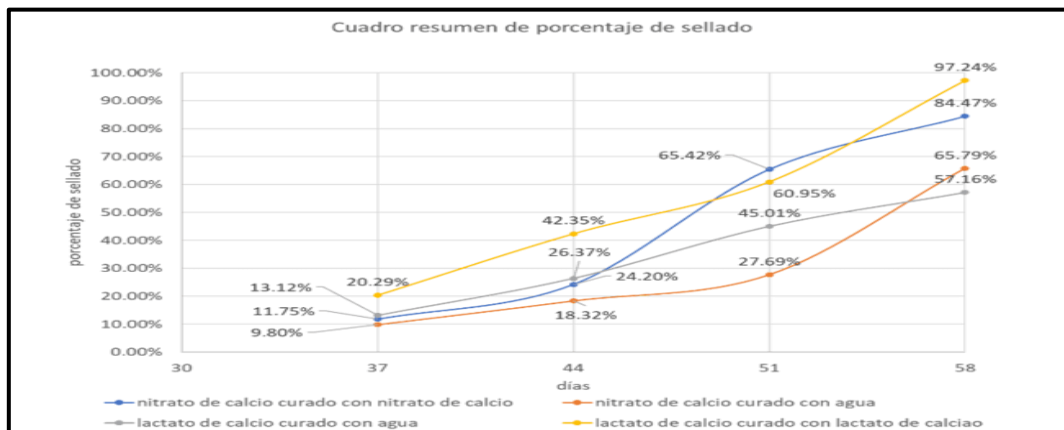
Gráfico resumen de resistencias.



Nota. El lactato de calcio curado con lactato de calcio a sus 58 días de tratamiento alcanzo una resistencia de 263.10 kg/cm² siendo la mayor resistencia alcanzada de los 4 grupos que se evaluó.

Figura 93

Gráfico resumen de porcentajes de sellado.



Nota. El lactato de calcio curado con lactato de calcio a sus 58 días de tratamiento alcanzo un sellado de 97.24% siendo el mayor porcentaje alcanzada de los 4 grupos que se evaluó.

4.7 Consideraciones éticas.

El análisis de la resistencia a la compresión del concreto que incorpora la bacteria *Paenibacillus polymyxa* como bio reparador implica diversas consideraciones éticas las cuales describimos a continuación:

Es esencial realizar un análisis exhaustivo sobre la seguridad de *Paenibacillus polymyxa*, asegurando que su uso en el concreto no represente un riesgo para la salud humana, especialmente en entornos donde el concreto se utiliza en infraestructuras públicas.

También se deben establecer protocolos de manejo seguro para evitar la liberación accidental de la bacteria en el medio ambiente durante el proceso de mezcla o aplicación del concreto.

La confidencialidad de los datos obtenidos y ejecución de las pruebas se realizarán con total discrepancia y/o privacidad.

La información recopilada se utilizará con fines académicos en el marco de esta investigación.

El autor afirma no tener conflictos de interés relacionados con el estudio y se asegurará de contar con el apoyo continuo del profesor tutor de la tesis.

V Resultados y discusión

5.1 Resultados

5.1.1 Validez y confiabilidad de los instrumentos.

5.1.1.1 Instrumentos de investigación

a) Espectrofotómetro

Se usó para cuantificar la cantidad de unidades formadoras de colonias, está compuesto por un lente de aumento para la visualización de cada colonia.

b) Cartilla medidora de fisuras

Se usó para medir los anchos de las fisuras en cada disco y en cada briqueta, es una cartilla con anchos variables registrados para medir fisuras por comparación con la cartilla.

c) Prensa de compresión axial

Se usó para medir la resistencia a la compresión de testigos cilíndricos de 10 x 20 cm, es una prensa hidráulica que registra la fuerza aplicada en un área determinada de acuerdo a la NTP 339.034.

5.1.1.2 Validez de instrumentos

La validez de instrumentos se refiere al grado en que realmente un instrumento mide la variable. (Hernández et al, 2014)

a) Validez del contador de colonias (espectrofotómetro): Se realizó la calibración del lente de aumento antes del uso.

c) Validez de la cartilla medidora de fisuras: Cartillas estandarizadas de acuerdo al ACI 224.1.

b) Validez de la prensa a compresión axial: Se realizó la calibración de la prensa antes de realizar los ensayos.

5.1.1.3 Confiabilidad de instrumentos

La confiabilidad de un instrumento de medición se refiere al grado en que su aplicación repetida produce resultados iguales, según Hernández. (Hernández et al, 2014)

5.1.2 Resultado de la curva de crecimiento bacteriano.

5.1.1.4 Pruebas para determinar la normalidad.

Paso 1: Planteamiento de la hipótesis nula (H0) y la hipótesis alterna (H1):

H0: los datos tienen una distribución normal, (pruebas PARAMETRICAS).

H1: los datos no tienen una distribución normal, (pruebas NO PARAMETRICAS).

Paso 2: Selección de nivel de significancia:

El nivel de significancia α (alfa) se consideró para todos los casos 5%, $\alpha=0.05$.

Paso 3: Selección del estadístico de prueba:

Para el análisis de normalidad de las muestras se consideró el Shapiro – Wilk debido a que la cantidad de datos es menor a 50.

Paso 4: Regla de decisión:

Para determinar si la hipótesis nula se acepta o se rechaza es necesario determinar el p-value (significancia bilateral) con un nivel de significancia $\alpha=0.05$.

Si alfa (Sig) >0.05 , se acepta la hipótesis nula

Si alfa (Sig) <0.05 , se rechaza la hipótesis nula

Paso 5: Toma de decisiones:

Para el análisis de los datos, en primer lugar, se analizarán si siguen una distribución normal o no. Para ello usaremos la prueba de Shapiro – Wilk debido a que la cantidad de datos es menor a 50 y nos permitirá conocer si existe diferencia significativa entre una distribución ideal y una distribución normal.

Tabla 51*Prueba de normalidad de la curva de crecimiento bacteriano.*

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Lectura Espectrofotómetro (Densidad Óptica)	,301	25	,000	,647	25	,000

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Al observar la tabla todos los valores calculados por SPSS para la sig. de Shapiro Wilk de la curva de crecimiento de la bacteria es menor a 0.05; y por la regla de decisión, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, es decir: los datos no tienen una distribución normal, se usará una prueba no paramétrica para su prueba de hipótesis.

5.1.1.5 Prueba de hipótesis de la curva de crecimiento.

Paso 1: Planteamiento de la hipótesis nula (H0) y la hipótesis alterna (H1):

H0: La máxima concentración bacteriana en el medio de cultivo no ocurre antes de las 24 de inoculado.

H1: La máxima concentración bacteriana en el medio de cultivo ocurre antes de las 24 de inoculado.

Paso 2: Selección de nivel de significancia:

El nivel de significancia α (alfa) se consideró para todos los casos 5%, $\alpha=0.05$.

Paso 3: Selección del estadístico de prueba:

Determinar la distribución muestral que se usa en la prueba. Se usará la prueba de Rho Spearman por ser una prueba no paramétrica que relaciona dos variables dependientes. Nos apoyamos en el programa SPSS (Statistical Package for the Social Sciences).

Paso 4: Regla de decisión:

Para determinar si la hipótesis nula se acepta o se rechaza es necesario determinar el p-value (significancia bilateral) con un nivel de significancia $\alpha=0.05$.

Si alfa (Sig) >0.05 , se acepta la hipótesis nula, se rechaza la hipótesis del investigador.

Si alfa (Sig) <0.05 , se rechaza la hipótesis nula, se acepta la hipótesis del investigador.

Tabla 52

Prueba de hipótesis Rho de Spearman.

		Correlaciones	Tiempo Hora
	Lectura	Coefficiente de correlación	,726**
Rho de Spearman	Espectrofotómetro (Densidad Óptica)	Sig. (bilateral)	,000
		N	25

Según el cuadro anterior el P Valor (Sig) es de 0.000 que es menor a 0.05 por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, La máxima concentración bacteriana en el medio de cultivo ocurre antes de las 24 de inoculado.

5.1.3 Resultados del sellado de fisuras en discos de concreto.**5.1.1.5.1 Pruebas para determinar la normalidad.****Paso 1: Planteamiento de la hipótesis nula (H0) y la hipótesis alterna (H1):**

H0: los datos tienen una distribución normal, (pruebas PARAMETRICAS).

H1: los datos no tienen una distribución normal, (pruebas NO PARAMETRICAS).

Paso 2: Selección de nivel de significancia:

El nivel de significancia α (alfa) se consideró para todos los casos 5%, $\alpha=0.05$.

Paso 3: Selección del estadístico de prueba:

Para el análisis de normalidad de las muestras se consideró el Shapiro – Wilk debido a que la cantidad de datos es menor a 50.

Paso 4: Regla de decisión:

Para determinar si la hipótesis nula se acepta o se rechaza es necesario determinar el p-value (significancia bilateral) con un nivel de significancia $\alpha=0.05$.

Si α (Sig) >0.05 , se acepta la hipótesis nula

Si α (Sig) <0.05 , se rechaza la hipótesis nula

Paso 5: Toma de decisiones:

Para el análisis de los datos, en primer lugar, se analizarán si siguen una distribución normal o no. Para ello usaremos la prueba de Shapiro – Wilk debido a que la cantidad de datos es menor a 50 y nos permitirá conocer si existe diferencia significativa entre una distribución ideal y una distribución normal.

Tabla 53

Prueba de normalidad del sellado de fisuras del concreto.

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Sellado de Fisuras	,111	18	,200*	,963	18	,668

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Al observar la tabla todos los valores calculados por SPSS para la sig. de Shapiro Wilk del sellado de fisuras en el concreto es mayor a 0.05; y por la regla de decisión, se

acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa, es decir: los datos tienen una distribución normal, se usará una prueba paramétrica para su prueba de hipótesis.

5.1.1.5.2 Prueba de hipótesis del sellado de fisuras en discos de concreto.

Paso 1: Planteamiento de la hipótesis nula (H0) y la hipótesis alterna (H1):

H0: El lactato de calcio no sella mayor cantidad de fisuras en el concreto a comparación que el nitrato de calcio presentes en la solución B.

H1: El lactato de calcio sella mayor cantidad de fisuras en el concreto a comparación que el nitrato de calcio presentes en la solución B.

Paso 2: Selección de nivel de significancia:

El nivel de significancia α (alfa) se consideró para todos los casos 5%, $\alpha=0.05$.

Paso 3: Selección del estadístico de prueba:

Determinar la distribución muestral que se usa en la prueba. Se usará la prueba de T de student por ser una prueba paramétrica que relaciona dos variables independientes. Nos apoyamos en el programa SPSS (Statistical Package for the Social Sciences).

Paso 4: Regla de decisión:

Para determinar si la hipótesis nula se acepta o se rechaza es necesario determinar el p-value (significancia bilateral) con un nivel de significancia $\alpha=0.05$.

Si alfa (Sig) >0.05 , se acepta la hipótesis nula, se rechaza la hipótesis del investigador.

Si alfa (Sig) <0.05 , se rechaza la hipótesis nula, se acepta la hipótesis del investigador.

Tabla 54*Prueba de hipótesis t- de student.*

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de igualdad de varianzas								
		prueba t para la igualdad de medias								
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
								Inferior		Superior
Sellado de Fisuras	Se asumen varianzas iguales	,866	,366	-5,644	16	,000	-26,02778	4,61133	-35,80336	-16,25220

Según el cuadro anterior el P Valor (Sig) es de 0.000 que es menor a 0.05 por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, El lactato de calcio sella mayor cantidad de fisuras en el concreto a comparación que el nitrato de calcio presentes en la solución B.

5.1.4 Resultados de la resistencia a la compresión del concreto.

Tabla 55*Resultados finales promedio de la carga axial de las diferentes edades de los ensayos.*

TIPO DE TESTIGO	Promedio F'c: Kg/cm2 (37 días)	Promedio F'c: Kg/cm2 (44 días)	Promedio F'c: Kg/cm2 (51 días)	Promedio F'c: Kg/cm2 (58 días)
Nitrato curado con Nitrato	185.91	193.25	225.40	250.81
Nitrato curado con agua	184.43	190.60	204.94	239.36
Lactato curado con Lactato	191.57	202.04	217.70	263.10
Lactato curado con agua	188.11	197.09	210.66	226.14

5.1.1.6 Pruebas para determinar la normalidad.

Paso 1: Planteamiento de la hipótesis nula (H0) y la hipótesis alterna (H1):

H0: los datos tienen una distribución normal, (pruebas PARAMETRICAS).

H1: los datos no tienen una distribución normal, (pruebas NO PARAMETRICAS).

Paso 2: Selección de nivel de significancia:

El nivel de significancia α (alfa) se consideró para todos los casos 5%, $\alpha=0.05$.

Paso 3: Selección del estadístico de prueba:

Para el análisis de normalidad de las muestras se consideró el Shapiro – Wilk debido a que la cantidad de datos es menor a 50.

Paso 4: Regla de decisión:

Para determinar si la hipótesis nula se acepta o se rechaza es necesario determinar el p-value (significancia bilateral) con un nivel de significancia $\alpha=0.05$.

Si $\text{alfa (Sig)} > 0.05$, se acepta la hipótesis nula

Si $\text{alfa (Sig)} < 0.05$, se rechaza la hipótesis nula

Paso 5: Toma de decisiones:

Para el análisis de los datos, en primer lugar, se analizarán si siguen una distribución normal o no. Para ello usaremos la prueba de Shapiro – Wilk debido a que la cantidad de datos es menor a 50 y nos permitirá conocer si existe diferencia significativa entre una distribución ideal y una distribución normal.

Tabla 56*Prueba de normalidad del sellado de fisuras del concreto.*

Pruebas de normalidad							
	edad	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Nitrato curado con Nitrato	37	,156	6	,200*	,988	6	,985
	44	,183	6	,200*	,974	6	,916
	51	,259	6	,200*	,924	6	,532
	58	,308	6	,077	,815	6	,080
Nitrato curado con agua	37	,251	6	,200*	,855	6	,173
	44	,334	6	,035	,833	6	,114
	51	,227	6	,200*	,910	6	,435
	58	,226	6	,200*	,946	6	,709
Lactato curado con Lactato	37	,251	6	,200*	,856	6	,175
	44	,186	6	,200*	,952	6	,754
	51	,226	6	,200*	,913	6	,455
	58	,229	6	,200*	,954	6	,775
Lactato curado con agua	37	,220	6	,200*	,966	6	,862
	44	,170	6	,200*	,928	6	,564
	51	,201	6	,200*	,959	6	,814
	58	,233	6	,200*	,906	6	,410

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Al observar la tabla todos los valores calculados por SPSS para la sig. de Shapiro Wilk de la resistencia a la compresión del concreto es mayor a 0.05; y por la regla de decisión, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa, es decir: los datos tienen una distribución normal, se usará una prueba paramétrica para su prueba de hipótesis.

5.1.1.7 Prueba de hipótesis de la resistencia a la compresión del concreto.

Paso 1: Planteamiento de la hipótesis nula (H0) y la hipótesis alterna (H1):

H0: La bacteria Paenibacillus Polymyxa no aumenta la resistencia a la compresión de un concreto fisurado a los 37, 44, 51 y 58 días de tratamiento.

H1: La bacteria Paenibacillus Polymyxa aumenta la resistencia a la compresión de un concreto fisurado a los 37, 44, 51 y 58 días de tratamiento.

Paso 2: Selección de nivel de significancia:

El nivel de significancia α (alfa) se consideró para todos los casos 5%, $\alpha=0.05$.

Paso 3: Selección del estadístico de prueba:

Determinar la distribución muestral que se usa en la prueba. Se usará la prueba de Anova de un factor por ser una prueba paramétrica que relaciona dos variables independientes. Nos apoyamos en el programa SPSS (Statistical Package for the Social Sciences).

Paso 4: Regla de decisión:

Para determinar si la hipótesis nula se acepta o se rechaza es necesario determinar el p-value (significancia bilateral) con un nivel de significancia $\alpha=0.05$.

Si alfa (Sig) >0.05 , se acepta la hipótesis nula, se rechaza la hipótesis del investigador.

Si alfa (Sig) <0.05 , se rechaza la hipótesis nula, se acepta la hipótesis del investigador.

Tabla 57*Prueba de hipótesis Anova de un factor.*

ANOVA						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Nitrato curado con Nitrato	Entre grupos	16226,719	3	5408,906	287,194	,000
	Dentro de grupos	376,673	20	18,834		
	Total	16603,392	23			
Nitrato curado con agua	Entre grupos	10864,012	3	3621,337	206,929	,000
	Dentro de grupos	350,007	20	17,500		
	Total	11214,019	23			
Lactato curado con Lactato	Entre grupos	17917,668	3	5972,556	492,756	,000
	Dentro de grupos	242,414	20	12,121		
	Total	18160,082	23			
Lactato curado con agua	Entre grupos	4954,951	3	1651,650	57,511	,000
	Dentro de grupos	574,379	20	28,719		
	Total	5529,329	23			

Según el cuadro anterior el P Valor (Sig) es de 0.000 que es menor a 0.05 por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, La bacteria Paenibacillus Polymyxa aumenta la resistencia a la compresión de un concreto fisurado a los 37, 44, 51 y 58 días de tratamiento.

Tabla 58*Resistencia a la carga axial del (CF +BN), Curadas Con BN.*

CONCRETO FISURADO + BIOREPARADOR N, CURADAS CON BIOREPARADOR N		
EDAD (días)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN f'c=210kg/cm2	RESISTENCIA (%)
37	185.91	3.00%
44	193.25	6.49%
51	225.40	22.01%
58	250.81	34.36%

Tabla 59

Resistencia a la carga axial del (CF +BN), Curadas Con agua.

CONCRETO FISURADO + BIOREPARADOR N, CURADAS CON AGUA		
EDAD (días)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN $f'_c=210\text{kg/cm}^2$	RESISTENCIA (%)
37	184.43	2.16%
44	190.60	5.23%
51	204.94	12.11%
58	239.36	28.63%

Tabla 60

Resistencia a la carga axial del (CF +BL), Curadas Con BL.

CONCRETO FISURADO + BIOREPARADOR L CURADAS CON BIOREPARADOR L		
EDAD (días)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN $f'_c=210\text{kg/cm}^2$	RESISTENCIA (%)
37	191.57	5.66%
44	202.04	10.72%
51	217.70	18.34%
58	263.10	39.99%

Tabla 61

Resistencia a la carga axial del (CF +BL), Curadas Con agua.

CONCRETO FISURADO + BIOREPARADOR L, CURADAS CON AGUA		
EDAD (días)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN $f'_c=210\text{kg/cm}^2$	RESISTENCIA (%)
37	188.11	4.12%
44	197.09	8.26%
51	210.66	14.77%
58	226.14	22.97%

5.2 *Discusión*

Los resultados con respecto a la curva de crecimiento de la concentración de colonias de bacterias en el medio de cultivo incubado a 35 °C y un pH de 9. Se evidencia que a las 10 horas alcanzó la máxima concentración de colonias, con una lectura de 0.284 cell/ml de concentración obtenida mediante un espectrofotómetro. Además, al sembrar la colonia de bacterias en un medio de cultivo de 200 mL, se obtuvieron 1.50 mL de esporas bacterianas tras la centrifugación. En un medio de cultivo de 400 mL, se lograron 3.0 mL de esporas bacterianas, y en un medio de cultivo de 1000 mL, se obtuvieron 7.50 mL de esporas bacterianas. La comparación con investigaciones anteriores revela patrones similares en cuanto a la efectividad de la curva de crecimiento bacteriano.

En investigaciones como la de (Ascate y Miranda,2019), La curva de crecimiento bacteriano de *Bacillus subtilis* muestra que la máxima concentración de colonias se alcanza a las 23 horas de incubación a 35°C, registrando una densidad óptica (DO) de 0.540, lo que indica el fin de la fase exponencial y el inicio de la fase estacionaria. A partir de las 24 horas, se observa un declive en el crecimiento, evidenciado por la disminución de la DO. Para reproducir estos resultados, es esencial controlar condiciones como la temperatura, el medio de cultivo (BHI como suplemento) y el uso de puntas con filtro para evitar contaminación. La bacteria, con un nivel de bioseguridad A-1, es segura para la manipulación en laboratorio y su aplicación en concreto, donde su capacidad de formar carbonato de calcio mejora la resistencia del material.

Los resultados evidenciaron que el porcentaje de sellado de fisuras en discos de concreto fue significativamente mayor al utilizar lactato de calcio, con un promedio del 88.59 % en comparación con el nitrato de calcio que fue un promedio del 62.57%, lo que sugiere una mayor eficiencia del primero en la reparación de fisuras. Esta diferencia se atribuye a las propiedades químicas del lactato de calcio, como su mayor solubilidad y

capacidad para promover la precipitación de carbonato de calcio, lo que favorece un sellado más efectivo, con un tiempo de tratamiento de 14 días después de su proceso de fisurado.

Los resultados de los ensayos de compresión del concreto entre el Nitrato y el Lactato de calcio curadas con el bio reparador a sus 58 días de tratamiento, La resistencia del concreto con respecto al lactato de calcio fue de 263.10 kg/cm^2 teniendo un incremento del 39.99 % de resistencia a la compresión y una efectividad de sellado de fisura del 97.24%, a comparación que el nitrato de calcio que tuvo una resistencia de 250.81 kg/cm^2 teniendo un incremento del 34.36 % de resistencia a la compresión y una efectividad de sellado de fisuras del 84.47%, En ambos casos, se observa que la resistencia está por encima de la resistencia del concreto fisurado que es de 180 kg/cm^2 sobresaliendo el Lactato de calcio que tiene el 39.99 % de incremento. Este hallazgo es consistente con las conclusiones de Araujo y Huamán (2020), quien destacó especialmente *Paenibacillus Lactis*, que selló fisuras de hasta 2 mm de ancho con un 70% de efectividad a los 28 días. Además, se observó un incremento del 35% en la resistencia a la compresión al usar *Paenibacillus Lactis*. Las conclusiones destacan que, aunque los estudios en Latinoamérica son escasos, los resultados son prometedores. Las cepas bacterianas no solo reparan fisuras, sino que también mejoran la resistencia del concreto, lo que podría reducir costos de mantenimiento y extender la vida útil de las estructuras.

VI Conclusiones

O.G

Se confirmó el objetivo que establece " Determinar si el bio reparador a base de bacterias sella las fisuras del concreto aumentado su resistencia a la compresión".

Efectivamente la bacteria *Paenibacillus polymyxa* utilizados en los testigos de concreto fisurado ha segregado una sustancia llamada carbonato de calcio aumentado así su resistencia a la compresión. Esto se debe a que, al aplicar las soluciones A y B de manera progresiva en los días 30, 37, 44 y 51, dichas bacterias han continuado segregando dicha sustancia hasta los 58 días de edad.

O.E.A

Se confirmó el objetivo que establece " Determinar la máxima concentración bacteriana en el medio de cultivo ocurre antes de las 24 horas de inoculado ".

Las condiciones de incubación a 35 °C y pH 9 favorecen el crecimiento óptimo de la bacteria, alcanzando su máxima concentración a las 10 horas. Además, la producción de esporas bacterianas es directamente proporcional al volumen del medio de cultivo, lo que indica un comportamiento predecible y escalable en condiciones controladas.

O.E.B

Se confirmó el objetivo que establece "Determinar si el lactato de calcio sella mayor cantidad de fisuras en el concreto a comparación que el nitrato de calcio presentes en la solución B".

Se observó que la solución B que contenía lactato de calcio es significativamente más eficiente que el nitrato de calcio en el sellado de fisuras en discos de concreto, logrando un 88.59 % de efectividad frente al 62.57 % del nitrato de calcio. Esta

superioridad se atribuye a las propiedades químicas del lactato de calcio, como su mayor solubilidad y su capacidad para favorecer la precipitación de carbonato de calcio, lo que acelera y mejora el proceso de sellado de las fisuras en el concreto en un período de 14 días. Estos hallazgos sugieren que el lactato de calcio es una alternativa más efectiva para aplicaciones en reparación de fisuras, pudiendo aumentar la vida útil de las estructuras de concreto.

H.E.C

Se confirmó el objetivo que establece “Determinar si la bacteria *Paenibacillus Polymyxa* aumenta la resistencia a la compresión de un concreto fisurado a los 37, 44, 51 y 58 días de tratamiento”.

La resistencia a la compresión del concreto fisurado tratado con el bio reparador mostró un aumento progresivo a lo largo del tiempo. A los 37 días, se observó una recuperación del 5.66% de la resistencia, mientras que a los 44, 51 y 58 días, la resistencia aumentó al 10.72%, 18.34% y 39.99%, respectivamente. Esto confirma que el proceso de bio reparación es gradual y depende del tiempo de curado, lo que permite una recuperación continua de la resistencia del concreto.

VII Recomendaciones

- Se recomienda llevar a cabo investigaciones sobre el concreto fisurado utilizando agregados de origen local. Esto se debe a la implementación del bio reparador en intervalos de 0, 2, 5 y 7 días, con el objetivo de analizar la formación de calcita en los días 40, 50, 80 y 100 días.
- Se sugiere continuar con nuevas investigaciones con los diferentes tipos de cepas, para poder comparar y analizar sus resistencias.
- Se propone Elaborar un bio concreto mediante la aplicación en diversas cantidades bacterianas dentro de un concreto tradicional y evaluarlo en sus diferentes tiempos de curado.
- Se recomienda utilizar bacterias del género *Bacillus* para la evaluación de muestras de concreto con fisura bajo la influencia de tensión, compresión y flexión.
- Se sugiere llevar a cabo investigaciones sobre bio reparación, considerando la forma de la falla en los testigos de concreto después de soportar la carga axial.
- Evaluar el rendimiento del bio reparador en comparación con los componentes epóxicos, aplicándolos en concreto nuevo y viejo.
- Realizar el estudio teniendo en cuenta las briquetas bio reparadas expuestas a distintas temperaturas climatológicas tanto de áreas cálidas como frías.
- Contrastar la aplicación del catalizador calcio nítrico con la del calcio lactato.

VIII Referencias

- N.T.P. 339 .088. (2014). *Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland - CONCRETO*. Lima - Perú:: INDECOPI.
- 339.185., N. (2002). *Determinación del Contenido de Humedad para el Agregado Fino y Agregado Grueso - AGREGADOS*. Lima - Perú: INDECOPI. .
- 400.019., N. (2002). *Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores porabrasi3n e impacto en la Máquina de los Ángeles. .* Lima - Perú: : INDECOPI.
- 400.037., N. (2014). *Especificaciones Normalizadas para Agregados en Concreto - CONCRETO. (3ra Edici3n)*. Lima - Perú: INDECOPI.
- Abanto, F. (2009). *Agregados. Tecnología del Concreto*. Lima: San Marcos. .
- Afifudin, H. H. (2011). *Microorganism .*
- Barth, H. A. (2004). *biochemistry, biology, and applications of common Clostridium and Bacillus .*
- Bowles, E. (1980)). *Manual de laboratorios de Suelos en Ingeniería Civil. Bogotá - .*
Bogotá: McGRAW-HILL Latinonoamericacana S.A.
- Casado, C. T. (2012). *Medios de cultivo en un laboratorio de microbiología.*
- Castanier, S. L.-L. (1999). *Carbonates precipitation and limestone genesis—the microbiologist point of view.*
- Castanier, S. L.-L. (2000). *Bacterial roles in the precipitation of carbonate minerals. Microbial Sediments, 32-39.*
- Civilgeek. (2014). *Manual Analisis Granulometrico. .* Civilgeek, pág.
<http://www.civilgeeks.com. .>
- Côrte, M. G. (2013). *Dissecting the function of the SpoIIIJ and YqjG membrane protein insertases during bacterial spore development (Ph.D degree in Biology)*. Lisboa,

- Portugal: Instituto de Tecnologia Química e Biológica . Universidade Nova de Lisboa. Obtenido de <http://run.unl.pt/handle/10362/11967>.*
- Cuervo, R. (2010). *Manual de protocolos de microbiología general*. Cali - Colombia: Bonaventuriana.
- Ehrlich, H. L. (1998). *Geomicrobiology: Its significance for geology*. Earth-Science: Reviews, 45, 45 - 60.
- Gerardo, A. R. (2012). *CONCRETO SIMPLE. CAUCA: Civilgeeks (Ingenieria y Construccion)*. .
- Ghio, V. (1994). *Eficiencia y competitividad en la construccion, ACI-PERÚ. Tecnologia del concreto*. .
- González, J. (2007). *Crecimiento microbiano. Recuperado el 24 de 08 de 2016, de Microbiología General - Microbiología Molecular - Genética Molecular http://www.gonzalezcabeza.com/documentos/CRECIMIENTO_MICROBIANO.pdf* .
- Grant, H. &. (1993). *Causas, Evaluacion y reparacion de fisuras en estructuras de Hormigon. ACI 224.1R-93*.
- Harmsem, T. (2005). *Diseño de estructura de concreto armado (Cuarta Ed)*. Lima: Fondo: Editorial de la Pontificia Universidad Catolica del Perú. .
- Hernandez, R. (1999). *Metodologia de la investigacion*. Mexico: Mc. Graw Hill. .
- Holt, J. G. (1994). *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology (illustrated ed.)*. (W. R. Hensyl, & J. G. https://books.google.com.pe/books?id=jtMLzaa5ONcC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false .

- Hoskins, B. E. (1991). *An Evaluation of Repair Techniques Used for Uncontrolled Longitudinal Cracking and Failed Longitudinal Joints*. Austin: Center for Transportation Research, University of Texas.
- I.C.G. (2016). *Manual de la Construcción - Agenda Técnica (15va Edición)*. Lima - Perú: : ICG - (instituto de la Construcción y Gerencia). .
- IMCYC. (2004). Para hacer un buen Concreto. págs. pp. 5-6. .
- Jonkers, H. &. (2008). *Development of a bacteria-based self healing concrete*. *Taylor Made Concrete Structures: New Solutions for our Society*, 425 -430.
- Jonkers, H. M. (2010). *Application of bacteria as self-healing agent for the development of sustainable concrete*. .
- Li, V. &. (2012). *Robust Self-Healing Concrete for Sustainable Infrastructure*. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 207-218.
- M.N. (2010). *Metodología de investigación* . . México: Editorial Limusa. .
- Merino, L. (2010). *Fisiología bacteriana*. *Recuperado el 15 de 09 de 2016, de Microbiología*.
<http://www.vet.unicen.edu.ar/ActividadesCurriculares/Microbiologia/images/Documentos/2016/Fisiolog%C3%ADa%20Bacteriana-METABOLISMO%20para%20c%C3%A1tedra.pdf>.
- R.N.E., E.-0. (2009). *Reglamento Nacional de Edificaciones* . Lima - Perú:: ICG - Instituto de la Construcción y Gerencia.