



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Bacterias del género bacillus para mejorar las propiedades mecánicas y el sellado de fisuras del hormigón

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero(a) Civil

AUTORES

Paucar Paucar, YulisaVeronica

ORCID: 0000-0002-3640-4942

Gomez Pfuño, Jose William

ORCID: 0000-0002-1653-1661

ASESOR

Mg. Ing. Chavarría Reyes, Liliana Janet

ORCID: 0000-0002-1759-2132

Lima, Perú

2022

Metadatos Complementarios

Datos del autor(es)

Paucar Paucar, Yulisa Veronica

DNI: 75948729

Gomez Pfuño, Jose William

DNI: 74153162

Datos de asesor

Chavarría Reyes, Liliana Janet

DNI: 25481792

Datos del jurado

JURADO 1

Donayre Córdova, Oscar

DNI: 06162939

ORCID: 0000-0002-5142-3789

JURADO 2

Chavarry Vallejos, Carlos Magno

DNI: 07410234

ORCID: 0000-0003-0512-8954

JURADO 3

Torres Chung, César Roberto

DNI: 41182279

ORCID: 0000-0002-3212-2817

Datos de la investigación

Campo del conocimiento OCDE: 2.01.01

Código del Programa: 732016

DEDICATORIA

Dedico este trabajo en primera instancia a Dios, quien me brindó sabiduría y salud en el trayecto de mi carrera profesional, en segunda instancia a mi madre Marina Paucar y mi padre Antonio Paucar, quienes han sido mis pilares, y me enseñaron que, si voy en la dirección correcta, lo que tengo que hacer es seguir adelante, que incluso la noche más oscura terminará con la salida del sol.

(Paucar Paucar, Yulisa Veronica)

Dedico esta tesis en primer lugar a Dios que me permitió lograr una de mis ansiadas metas y por bendecir cada paso que di a lo largo de mi carrera, a mis padres, por su apoyo incondicional y sus palabras de aliento en todo momento, por enseñarme que las metas nunca se dejan a medias y están hechas para cumplirlas. A mi familia en general y amistades, que también gracias a sus consejos y apoyo fueron parte de este logro.

(Gomez Pfuño, Jose William)

AGRADECIMIENTO

A nuestra familia por el apoyo constante y guía durante todo el proceso de nuestra carrera universitaria. A nuestra asesora: Mg. Ing. Liliana Janet Chavarría Reyes, por su ilustre enseñanza y guía para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

(Paucar Paucar, Yulisa Veronica)

(Gomez Pfuño, Jose William)

ÍNDICE

RESUMEN.....	i
ABSTRACT.....	ii
INTRODUCCIÓN.....	iii
CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1 Descripción y formulación del problema y específicos.....	1
1.1.1 Árbol de problemas.....	5
1.2 Formulación del problema.....	5
1.2.1 Problema General.....	5
1.2.2 Problemas Específicos.....	5
1.3 Objetivo general y específico.....	6
1.3.1 General.....	6
1.3.2 Específicos.....	6
1.4 Delimitación de la investigación.....	6
1.4.1 Valor teórico.....	6
1.4.2 Temporal.....	6
1.4.3 Temática.....	7
1.4.4 Muestral.....	7
1.5 Justificación e importancia de la investigación.....	7
1.5.1 Valor teórico.....	7
1.5.2 Relevancia social.....	7
1.5.3 Utilidad metodológica.....	8
1.5.4 Conveniencia.....	8
1.6 Limitaciones del estudio.....	8
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	9
2.1 Marco histórico de la investigación.....	9
2.2 Investigaciones relacionadas con el tema.....	10
2.2.1 Investigaciones nacionales.....	10

2.2.2	Investigaciones internacionales.....	13
2.2.1	Artículos relacionados con el tema.....	24
2.3	Estructura teórica y científica que sustenta el estudio.....	31
2.4	Definición de términos básicos.....	32
	Propiedades físicas del concreto.....	32
2.5	Fundamentos teóricos que sustentan la hipótesis.....	36
	CAPÍTULO 3: SISTEMA DE HIPÓTESIS.....	37
3.1	Hipótesis de la investigación.....	37
3.1.1	Hipótesis general.....	37
3.1.2	Hipótesis específicas.....	37
3.2	Variables.....	37
3.1.3	Definición de variables.....	37
3.1.4	Operacionalización de variables.....	37
3.1.5	Matriz operacional de variables.....	38
	CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA.....	39
4.1	Tipo y Nivel de Investigación.....	39
4.1.1	Tipo de la Investigación.....	39
4.1.2	Nivel de la Investigación.....	39
4.2	Método y Diseño de la Investigación.....	39
4.2.1	Método de la Investigación.....	39
4.2.2	Diseño de la Investigación.....	39
4.3	Universo, Población y Muestra.....	41
4.4	Orientación de la Investigación.....	41
4.5	Enfoque de la Investigación.....	42
4.6	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	42
4.6.1	Técnica de Recolección de Datos.....	42
4.6.2	Instrumento de Recolección de Datos.....	43
4.7	Estudio del Diseño de la Investigación.....	43

4.8 Descripción de Procedimientos de Análisis.....	43
CAPÍTULO 5: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	45
5.1 Análisis e interpretación de resultados.....	45
5.1.1 Determinar la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus para aumentar la resistencia a la compresión del hormigón.....	45
5.1.2 Determinar la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus para aumentar la resistencia a la flexión del hormigón.....	63
5.1.3. Determinar el porcentaje de bacterias del género bacillus para el sellado de las fisuras del hormigón.....	75
5.1.4. Determinar la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus para reducir la absorción del hormigón.....	87
5.2. Contrastación de Resultados.....	108
5.2.1 Contrastación de la primera hipótesis.....	108
5.2.2 Contrastación de la segunda hipótesis.....	111
5.2.3 Contrastación de la tercera hipótesis.....	114
5.2.4 Contrastación de la Cuarta hipótesis.....	116
DISCUSIÓN.....	121
CONCLUSIONES.....	124
RECOMENDACIONES.....	126
REFERENCIAS.....	128
ANEXOS.....	133
Anexo 1 : Matriz de consistencia:” Bacterias del género bacillus para mejorar las propiedades mecánicas y el sellado de fisuras del hormigón”.....	133
Anexo 2 : Operacionalización de variables.....	134
Anexo 3 : Cuadro resumen de la bibliografía empleada en orden cronológico.....	135
Anexo 4: Cuadro resumen de la bibliografía empleada en orden cronológico.....	136
Anexo 5: Cuadro resumen de la bibliografía empleada en orden cronológico.....	137
Anexo 6 : Cuadro resumen de la bibliografía empleada en orden cronológico.....	138
Anexo 7 : Cuadro resumen de la bibliografía empleada en orden cronológico.....	139

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1 Operacionalización de variables.....	38
Tabla N° 2 Cuadro comparativo de tipología.....	40
Tabla N° 3 Proporciones de mezcla del hormigón.....	46
Tabla N° 4 Resultados de los ensayos a compresión (MPa).....	46
Tabla N° 5 Materiales para la mezcla de hormigón de materiales ligeros.....	48
Tabla N° 6 Especificaciones de los especímenes.....	49
Tabla N° 7 Resultados de ensayo de resistencia a la compresión.....	50
Tabla N° 8 Proporciones de mezcla de los diseños de mezcla de hormigón.....	53
Tabla N° 9 Características de la fibra utilizada.....	53
Tabla N° 10 Especificaciones y etiquetas de los especímenes.....	54
Tabla N° 11 Resultados de los ensayos de la resistencia a la compresión.....	54
Tabla N° 12 Composición del caldo nutritivo (13 g de caldo nutritivo por cada 1000 ml de agua).....	58
Tabla N° 13 Etiqueta de especímenes de hormigón bacteriano y la muestra control.....	58
Tabla N° 14 Resultado de los ensayos de resistencia a la compresión del hormigón.....	58
Tabla N° 15 Comparación de ensayos en concreto endurecido a los 28 días.....	60
Tabla N° 16 Resumen de resistencia a flexión.....	65
Tabla N° 17 Cuadro de resultados de resistencia a la flexión.....	66
Tabla N° 18 Propiedades de OPC43.....	68
Tabla N° 19 Matriz de diseño compuesto central de tres factores para Concreto Bacteriano.....	69
Tabla N° 20 Resumen de resistencia a la flexión.....	70
Tabla N° 21 Cuadro de Resistencia a flexión con diferentes concentraciones de bacteria a los 14 días.....	71
Tabla N° 22 Comparación de resultados de resistencia a la flexión.....	72
Tabla N° 23 Cuantificación de materiales.....	76
Tabla N° 24 Población de probetas diseñadas.....	77
Tabla N° 25 Dosificación del concreto.....	77

Tabla N° 26	Proporciones de mezcla diseñadas.....	79
Tabla N° 27	Cuadro resumen de curación el concreto.....	80
Tabla N° 28	Proporciones de mezcla.....	81
Tabla N° 29	Cuadro resumen de curación el concreto.....	82
Tabla N° 30	Análisis comparativo de sellado de fisuras del hormigón fisurado.....	83
Tabla N° 31	Materiales para la mezcla de hormigón de materiales ligeros.....	88
Tabla N° 32	Etiqueta de especímenes para ensayos a absorción.....	88
Tabla N° 33	Resultados del porcentaje de absorción.....	89
Tabla N° 34	Diseño de mezcla del hormigón patrón y el hormigón bacteriano.....	93
Tabla N° 35	Etiqueta de especímenes.....	94
Tabla N° 36	Absorción de agua del concreto bacteriano y convencional.....	94
Tabla N° 37	proporciones de mezcla de los diseños de mezcla de hormigón.....	97
Tabla N° 38	características de la fibra utilizada.....	97
Tabla N° 39	Especificaciones y etiquetas de los especímenes.....	98
Tabla N° 40	Resultado de la absorción de agua del hormigón bacteriano y de control curado en agua y Urea-Lactato de calcio.....	98
Tabla N° 41	Cantidad de nutrientes utilizados en las mezclas de hormigón.....	101
Tabla N° 42	Absorción de agua de la muestra de control y de la muestra bacteriana.....	102
Tabla N° 43	Comparación de % de absorción de agua del hormigón bacteriano y el hormigón de control a los 7 y 28 días.....	103
Tabla N° 44	Comparación de % de absorción de agua del hormigón bacteriano y el hormigón de control a los 28 y 90 días.....	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N 1: Árbol de problemas.....	5
Figura N 2 : Resistencia a la compresión promedio f_c a los 7 días de curado.....	10
Figura N 3 :Inspección del canal de regadío.....	14
Figura N 4 :Fotos microscópicas de precipitación de calcita.....	15
Figura N 5 :Revestimiento del canal de regadío.....	16
Figura N 6 :Vista al microscopio de bacteria esporulada.....	17
Figura N 7: Curado de fisuras del concreto de 0 a 14 días.....	18
Figura N 8 : Esquema general del trabajo experimental.....	19
Figura N 9 :Bacteria liofilizada contenida en ampolla de vidrio.....	20
Figura N 10 : Bacteria liofilizada contenida en ampolla de vidrio.....	20
Figura N 11 : Bacteria Bacillus Pseudofirmus (color morado) en Medio de Cultivo 253 (color naranja).....	21
Figura N 12 : Bolsa de plástico con el Agente de Auto reparación.....	21
Figura N 13 : Grieta de probeta CPT23. a) Día 0. b) Día 63.....	22
Figura N 14 : Grieta de probeta BPT23. a) Día 0. b) Día 63.....	23
Figura N 15 :Fundamento teórico.....	36
Figura N 16 : Gráfico de resultados de ensayo a compresión de hormigón bacteriano con diferentes porcentajes de solución bacteriana a los 3,7,28 y 90 días.....	47
Figura N 17 : Resultados de los ensayos a compresión de muestras curadas con agua y Urea-CaCl ₂ a los 14,28,90 y 150 días.....	51
Figura N 18 :Gráfico de los ensayos de resistencia a la compresión de muestras con bacterias con y sin fibras y muestras sin bacterias con y sin fibras curadas en agua ac los 28,90 y 150 días.....	55
Figura N 19 :Gráfico de los ensayos de resistencia a la compresión de muestras con bacterias con y sin fibras y muestras sin bacterias con y sin fibras curadas en Urea-Lactato de Calcio a los 28,90 y 150 días.....	56
Figura N 20 : Gráfico de la resistencia a la compresión de la muestra de control y la muestra B. Subtilis.....	59
Figura N 21: Gráfico de la resistencia a la flexión del Concreto patrón y el Bioconcreto B. Megaterium.....	65

Figura N 22 :Gráfico de la resistencia a la flexión del Concreto patrón y el Bioconcreto B. Halodurans.....	67
Figura N 23 :Gráfico de la resistencia a la flexión del Concreto patrón y el Bioconcreto B. Halodurans.....	70
Figura N 24: Gráfico de la resistencia a la flexión según concentración bacteriana.....	71
Figura N 25: Gráfico del autosellado del Concreto patrón y el Bioconcreto B. Pasteurii....	82
Figura N 26 : Gráfico de % de absorción de agua de especímenes con y sin bacterias curadas en agua a los 28 y 90 días.....	90
Figura N 27: Gráfico de % de absorción de especímenes con y sin bacterias curadas en Urea-CaCl ₂ a los 28 y 90 días.....	91
Figura N 28: Gráfico de % de absorción de agua del R0 (hormigón convencional) y hormigón bacteriano.....	95
Figura N 29: Gráfico de absorción de agua de concreto bacteriano y convencional curado en agua.....	99
Figura N 30: Gráfico de absorción de agua de concreto bacteriano y convencional curado en Urea-CaCl ₂	100
Figura N 31: Gráfico de absorción de agua de concreto bacteriano y convencional curado en agua.....	102
Figura N 32 : Comparación de los resultados de ensayos a la compresión de los hormigones a los 28 y 90 días.....	109
Figura N 33: Comparación de resistencia a flexión con bacteria del género Bacillus en el concreto.....	112
Figura N 34 : Gráfica de comparación del autosellado del Concreto patrón y el Bioconcreto Bacillus entre autores.....	114
Figura N 35: Gráfico de comparación de % de absorción de agua del hormigón bacteriano y el hormigón de control a los 7 y 28 días.....	117
Figura N 36: Gráfico de comparación de % de absorción de agua del hormigón bacteriano y el hormigón de control a los 28 y 90 días.....	118

RESUMEN

El presente estudio de investigación titulado “Bacterias del género bacillus para mejorar las propiedades mecánicas y sellado de fisuras del hormigón”, tuvo el objetivo determinar el diseño de mezcla de hormigón con bacterias del género bacillus para mejorar las propiedades mecánicas y el sellado de las fisuras del hormigón. El estudio fue de tipo descriptivo correlacional, explicativo, de nivel descriptivo, el método fue deductivo y el diseño prospectivo.

De acuerdo a los resultados obtenidos, con el empleo de 10^6 células/ml, 10^5 células/ml y 10^8 células/ml, se ve incrementada la resistencia a la compresión hasta en un 17,45% (5,18 MPa), 37,15% (14,86 MPa) y 14,36% (5,47MPa) con respecto a la muestra control. Asimismo, con el empleo de 10^6 células/ml y 10^7 células/ml en la mezcla de hormigón, la absorción de agua presenta una disminución significativa de hasta 66,32% y 77,08 % a los 28 días de curado y una disminución del 77,83% y 88,37 % a los 91 días de curado con respecto a la muestra patrón. De igual forma la resistencia a la flexión máxima fue de 6.22 MPa con un incremento del 42,7% respecto a la muestra patrón con una dosificación de 5×10^3 células/ml. Para el sellado de fisuras la bacteria *Bacillus Licheniformis* $2,1 \times 10^{10}$ células/ml cicatrizó una fisura de 0,5 mm a 0,028 mm, representando el 94,4%.

En conclusión general las bacterias del género bacillus aumentan la resistencia a la compresión hasta en 14,86 MPa con una concentración de 10^5 células/ml a los 28 días de curado, aumentan la resistencia a la flexión hasta en 1,86 MPa a los 28 días, con una concentración de 5×10^3 , reduce las fisuras hasta 0,3 mm al 100% con una concentración de 10^9 células/ml con bacillus Subtilis, asimismo, reducen la absorción de agua en muestras curadas en agua hasta en un 77,83% a los 28 días con una concentración de 10^7 células/ml y hasta 66.32% a los 28 días de curado en urea- CaCl_2 con una concentración de 10^6 células/ml .

Palabras Claves: Bacterias bacillus, hormigón bacteriano, resistencia a la compresión, biomineralización, absorción de agua, concentración bacteriana, fisuras, resistencia a la flexión.

ABSTRACT

The present research study entitled "Bacillus genus bacteria to improve the mechanical properties and crack sealing of concrete", had the objective of determining the concrete mix design with bacteria of the bacillus genus to improve the mechanical properties and crack sealing. of the concrete. The study was descriptive, correlational, explanatory, descriptive level, the method was deductive and the prospective design.

According to the results obtained, with the use of 10^6 cells/ml, 10^5 cells/ml and 10^8 cells/ml, the compressive strength is increased by up to 17.45% (5.18 MPa), 37.15% (14.86 MPa) and 14.36% (5.47 MPa) with respect to the control sample. Likewise, with the use of 10^6 cells/ml and 10^7 cells/ml in the concrete mixture, the water absorption shows a significant decrease of up to 66.32% and 77.08% at 28 days of curing and a decrease in the 77.83% and 88.37% at 91 days of curing with respect to the standard sample. Similarly, the maximum flexural strength was 6.22 MPa with an increase of 42.7% compared to the standard sample with a dosage of 5×10^3 cells/ml. For the sealing of fissures, the bacterium *Bacillus Licheniformis* 2.1×10^{10} cells/ml healed a fissure from 0.5 mm to 0.028 mm, representing 94.4%.

In general, the bacteria of the bacillus genus increase the compressive strength up to 14.86 MPa with a concentration of 10^5 cells/ml at 28 days of curing, they increase the flexural strength up to 1.86 MPa at 28 days, with a concentration of 5×10^3 , it reduces cracks up to 0.3 mm at 100% with a concentration of 10^9 cells/ml with bacillus *Subtilis*, also reduces water absorption in samples cured in water by up to 77.83% at 28 days with a concentration of 10^7 cells/ml and up to 66.32% at 28 days of curing in urea- CaCl_2 with a concentration of 10^6 cells/ml.

Keywords: Bacillus bacteria, bacterial concrete, compressive strength, biomineralization, water absorption, bacterial concentration, cracks, flexural strength.

INTRODUCCIÓN

El hormigón es el material de construcción más ampliamente utilizado en el mundo, se emplea en la construcción de edificaciones importantes, obras civiles de gran envergadura que determinan el desarrollo, social, económico, político de los países. Las acciones que provocan que el hormigón desarrolle distintas patologías son básicamente, las cargas que recibe o produce el edificio, cargas que podrán ser verticales u horizontales, permanentes o temporales, estáticas o dinámicas y que, con carácter general, podemos agrupar en exteriores, como viento, nieve y terremotos, e interiores, como el peso propio de la construcción (con cargas) y el generado por su uso (sobrecargas) además de las cargas térmicas consecuencia de las dilataciones y contracciones de cualquiera de los elementos constructivos, desde los más externos (fachadas y cubiertas) hasta los de la propia estructura (Carrió, 2001, pág. 15).

Diversos investigadores han estudiado el hormigón bacteriano con la finalidad de determinar la influencia de las bacterias en las propiedades físicas -mecánicas del hormigón, el autosellado de fisuras y la morfología de los materiales que, precipitados dentro de la estructura interna, mediante ensayos no destructivos y destructivos. Las conclusiones a la que llegan es un incremento de la resistencia a la compresión, flexión así mismo, ayuda a la mejora de la resistencia a la penetración del agua, reduce fisuras mediante la precipitación de calcita inducida o biomineralización a lo largo del tiempo. De acuerdo a las observaciones el hormigón bacteriano presenta una matriz más densa en comparación con la mezcla de control, se observa menos poros y vacíos dentro de la muestra. Las construcciones con este material tendrán carácter sostenible y mayor tiempo de vida útil a causa de la mejora de las propiedades del hormigón convencional, permitiendo el ahorro de posibles recursos invertidos en la adquisición de nuevos materiales.

El objetivo de la presente investigación de basa en el Diseño de un hormigón con bacterias del género bacillus para mejorar las propiedades mecánicas y el sellado de fisuras del hormigón. Abordamos 4 objetivos específicos:

- Determinar la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus para aumentar la resistencia a la compresión del hormigón.
- Determinar la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus para aumentar la resistencia a la flexión del hormigón.
- Determinar la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus para reducir las fisuras del hormigón.
- Determinar la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus para reducir la absorción del hormigón.

La investigación se desarrolla en cinco capítulos, en el Capítulo I se desarrolla y formula la problemática, los objetivos, además se describe la importancia de la investigación, la justificación y delimitación.

En el Capítulo II se desarrolla los antecedentes, marco teórico, la definición de términos empleados en la presente investigación e investigaciones nacionales e internacionales relacionadas al tema del estudio.

En el Capítulo III, se desarrolla las hipótesis, la operacionalización de las variables y la definición de las mismas.

En el Capítulo IV, se describe la metodología de la investigación con la cual desarrollamos las técnicas, diseño, población y muestra.

Finalmente, en el Capítulo V, se realiza la presentación los resultados de los autores analizados, se grafican los resultados, y se elaboran las conclusiones, recomendaciones y bibliografía de la investigación junto a los anexos.

CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción y formulación del problema y específicos

La importancia del concreto en los proyectos de infraestructura radica en su versatilidad, desarrollo de tecnologías que lo han llevado a límites insospechados en su desempeño, usos y aplicaciones. Actualmente, es el material de construcción más ampliamente utilizado en el mundo con una producción mundial cercana a los 13,000 millones de m³ por año. (Arana, 2016, pág. 1).

La función principal de los elementos estructurales de concreto armado es la de soporte de la edificación del que forman parte ante las acciones exteriores que atentan contra la estabilidad. Todo elemento estructural de concreto presenta patologías que provoca defectos o daños que alteran su estructura interna y comportamiento. La patología del concreto se define como el estudio sistemático de los procesos y características de las enfermedades o los defectos y daños que puede sufrir el concreto, sus causas, sus consecuencias y remedios. Se entiende por patología a aquella parte de la durabilidad que se refiere a los signos, causas posibles y diagnóstico del deterioro, que experimentan las estructuras del concreto. El deterioro es la degradación de los atributos de un material, de un elemento constructivo y de un sistema constructivo. La degradación es la pérdida de propiedades y características en el tiempo, así la durabilidad es un principio de diseño en la ingeniería y construcción. Los concretos constituidos con materiales apropiados convenientemente proporcionados y bien consolidados, aseguran la durabilidad de las construcciones. (Revistacyt, 2017, pág. 16).

Las acciones que provocan que el concreto desarrolle distintas patologías son básicamente, las cargas que recibe o produce el edificio, cargas que podrán ser verticales u horizontales, permanentes o temporales, estáticas o dinámicas y que, con carácter general, podemos agrupar en exteriores, como viento, nieve y terremotos, e interiores, como el peso propio de la construcción (con cargas) y el generado por su uso (sobrecargas) además de las cargas térmicas consecuencia de las dilataciones y contracciones de cualquiera de los elementos constructivos, desde los más externos (fachadas y cubiertas) hasta los de la propia estructura (Carrió, 2001, pág. 15).

Incluso las estructuras que están bien diseñadas y ejecutadas, y son apropiadas para su uso, pueden presentar un rendimiento deficiente y problemas patológicos a causa de agentes externos. El tema de la patología en el ámbito de la construcción civil exige cada vez más la preocupación por la estabilidad y seguridad de las edificaciones. Los procesos patológicos que afectan a los elementos constructivos en función de su carácter, es decir, del tipo de acción que lo provoca y de la propia evolución del proceso. Así, podemos hablar de procesos mecánicos, físicos y químicos; por su funcionalidad, cobran más importancia los mecánicos (Carrió, 2001, pág. 25).

Una de las patologías que causa mayor daño en las estructuras son las fisuras. La presencia de fisuras en las estructuras de concreto son una señal de alarma y de acuerdo al tamaño de esta podrían indicar que hay problemas estructurales o de estética. Esta patología provoca el ingreso de sustancias nocivas al interior de la estructura generando que los materiales implicados entren a estado crítico, como el acero en el concreto armado; al contacto con el H₂O inicia un proceso de corrosión y genera altas presiones osmóticas que provocan estallidos en la estructura, según (EUCLID, 2019, pág. 10) la corrosión del acero se presenta en forma de fisuras diversas y dispuestas en zonas donde la densidad de la armadura superficial es alta, su ancho suele variar entre diferentes valores y puede llegar a ser mayor a 1 mm .

La presencia de fisuras, debidas a acciones mecánicas o efectos como retracción y fluencia y efectos que el medio ambiente puede traer consigo efectos termodinámicos y fisicoquímicos que pueden alterar considerablemente las propiedades del hormigón y de la armadura de refuerzo, las fisuras provocan que la estructura disminuya su integridad en la que se ven involucrados aspectos de durabilidad ,vida útil y seguridad, (Silva, 2018) sostiene que: la durabilidad, vida útil y seguridad son los principales aspectos que garantizan la calidad de las estructuras de hormigón armado .Otro problema que se presenta son las filtraciones; estas dañan principalmente las estructuras subterráneas y aquellas que están en contacto con el agua, ocasionando una disminución en la durabilidad, operabilidad, uso y el tiempo de su vida útil.

Por ello, es necesario aplicar medidas intensas (criterios de durabilidad) en los proyectos, junto con mantenimientos preventivos que aseguren la adecuada

permanencia de las estructuras. Además, la técnica de mantenimiento (inspección) es fundamental para establecer un correcto diagnóstico y corrección de la patología.

La reparación de grietas y/o de fisuras del concreto por el método tradicional demanda una inversión alta de recursos económicos, según (Cailleux & Pollet, 2009) en Europa, el recurso destinado a las tareas de reparación se eleva hasta la mitad del presupuesto anual de construcción.

La reparación de grietas o fisuras generalmente se divide en tratamientos pasivos y activos. Para el tratamiento pasivo, los agentes de reparación se aplican al hormigón manualmente después de que se detectan las grietas o fisuras. Este método es muy laborioso y costoso. Para el tratamiento activo, que también se conoce como autoreparación o autocuración; el proceso de reparación puede activarse tras la formación de grietas sin ninguna interferencia humana. Además, las grietas podrían curarse repetidamente de esta manera. La reparación del concreto por el método tradicional o pasivo demanda una inversión alta de recursos económicos. Se presenta la necesidad de que el concreto cierre fisuras de la forma más económica, duradera y ecológica posible.

Para hacer frente a estos problemas, se están adoptando tecnologías más nuevas. El concreto al ser el elemento más utilizado en la construcción las investigaciones para acelerar sus procesos de aplicación, durabilidad y sustentabilidad han cobrado gran importancia. De ahí la relevancia de comprender y realizar acciones donde se genere un ahorro significativo en el costo de mantenimiento de las estructuras de concreto, por lo que resulta indispensable conocer cómo se calcula y que conceptos se consideran al establecer la vida útil de las mismas. (Revistacyt, 2017, pág. 4). Frente a esta problemática y necesidad de que el concreto cierre fisuras de la forma más económica, duradera y ecológica posible, nace la propuesta de un concreto autorreparable, fue inventado como la incorporación de un aditivo bacteriano al concreto normal por Jonkers en 2007.

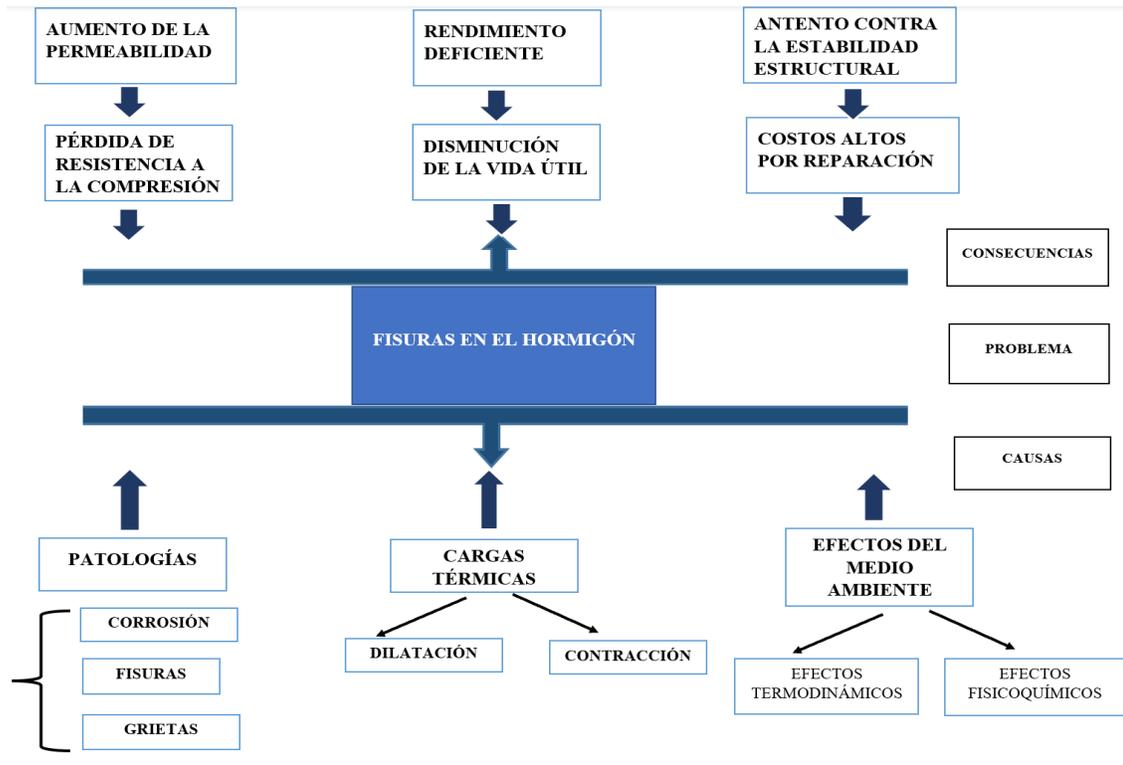
El concreto autorreparable consiste en la adición de un agente biológico conformado por bacterias y alimentos para estas, como el lactato de calcio, lactato de potasio, levadura, entre otros, a la mezcla de concreto y que estas quedan repartidas

uniformemente, para que se den: deben existir unos compuestos químicos específicos (CO₂ en el aire, agua y o elementos que ayuden a la auto regeneración.) El hormigón autocurativo mediante precipitación de calcita inducida microbiológicamente (MICP), es capaz de sellar fisuras repetidamente.

Desde el punto de vista medioambiental, el aumento de la producción del cemento trae consigo mayor emisión de los gases en el proceso de producción, es la fuente de aproximadamente el 8% de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) del mundo, según el centro de estudios británico Chatham House. Lucy Rogers “BBC News”, 2017; Si la industria del cemento fuera un país sería el tercer emisor más grande del mundo, detrás de China y EE. UU, emite a la atmósfera más CO₂ que el combustible de aviación 2,5% y no está lejos del negocio que emite la agricultura 12%.

En el mundo, la cantidad de concreto utilizado en construcción dobla la cantidad del resto de materiales utilizados incluyendo madera, acero, plástico, y aluminio. El consumo mundial de cemento alcanzó las 4,129Mt en el 2016, logrando un avance de 1.8% con respecto al año 2015 y, en el 2015, se contrajo en 2.4% con respecto al 2014. China continuó liderando la demanda de cemento con 2,395Mt en el 2016, alcanzando el 58% de la participación mundial. Dicha participación alcanzó su punto máximo en el año 2014 con 59.4%. Excluyendo a China, el consumo mundial de cemento alcanzó las 1,734Mt en el 2016, creciendo un 1.0% con respecto al 2015. (ASOCEM, Panorama Mundial de la Industria del Cemento, 2016, pág. 3). La industria del cemento en el Perú se encuentra dentro de las más competitivas en Sudamérica tanto a nivel de producción y consumo per cápita. Al 2018, la producción de cemento de territorio nacional de cemento alcanzó un nivel de 10,049 mil toneladas mientras que el consumo alcanzó un nivel de 11,208 mil toneladas. (ASOCEM, Indicadores Internacionales de Cemento, 2019). Frente a esta problemática una infraestructura civil a base de concreto autorreparable implicaría que este aumente el tiempo de su vida útil y durabilidad, mantenga sus propiedades físicas y mecánicas a lo largo del tiempo, así como también permitiría alargar los periodos de mantenimiento. En fin, se tendría una infraestructura sostenible y amigable con el medio ambiente. De esta manera se lograría una

disminución en la incidencia de los factores contaminantes en el proceso de producción



de cemento.

1.1.1 Árbol de problemas

Figura N 1: Árbol de problemas

Fuente: elaboración propia

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema General

¿En qué medida el diseño de mezcla de hormigón con bacterias del género bacillus mejora las propiedades mecánicas y el sellado de las fisuras del hormigón?

1.2.2 Problemas Específicos

- a. ¿En qué medida la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus mejora la resistencia a la compresión hormigón?

- b. ¿En qué medida la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus mejora la resistencia a la compresión del hormigón?
- c. ¿En qué medida la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus influye en las fisuras del hormigón?
- d. ¿En qué medida la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus influye en la absorción del hormigón?

1.3 Objetivo general y específico

1.3.1 General

Determinar el diseño de mezcla de hormigón con bacterias del género bacillus para mejorar las propiedades mecánicas y el sellado de las fisuras del hormigón.

1.3.2 Específicos

- a. Determinar la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus para aumentar la resistencia a la compresión del hormigón.
- b. Determinar la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus para aumentar la resistencia a la flexión del hormigón.
- c. Determinar la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus para reducir las fisuras del hormigón.
- d. Determinar la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus para reducir la absorción del hormigón.

1.4 Delimitación de la investigación

La investigación se realiza en Lima-Perú en el año 2022, presenta como temática al estudio de la variable independiente: Diseño de mezclas de hormigón con bacterias del género bacillus. La muestra son los ensayos de asentamiento, compresión, tracción y flexión realizados por los autores de cada artículo analizado.

1.4.1 Valor teórico

La presente investigación puede ser empleada como referencia en investigaciones futuras, que ayudarán a completar la estructura teórica y servirán como herramienta útil durante el proceso de recolección de información sobre el uso de bacterias del género bacillus en el hormigón.

1.4.2 Temporal

La presente investigación se llevó a cabo en el año 2022

1.4.3 Temática

El tema de la presente investigación es el uso de bacterias del género bacillus en el hormigón y el efecto causado en diferentes porcentajes o concentraciones que mejoran la propiedad de compresión, disminuye fisuras y mejora la impermeabilidad y a absorción del hormigón.

1.4.4 Muestral

Las muestras que se estudiarán son probetas de hormigón con bacterias del género bacillus en distintos porcentajes.

1.5 Justificación e importancia de la investigación

1.5.1 Valor teórico

El hormigón autorreparable tiene propiedades y durabilidad más altas en comparación con el hormigón normal. Este material, es una mezcla de microorganismos biológicos y hormigón. Las bacterias se pueden añadir a la mezcla junto al agua de diseño, impregnado en un agregado ligero natural como son las arcillas expandidas o encapsulado. La adición uso de este microorganismo puede llevar a cabo la autoreparación de fisuras mediante la precipitación microbiana inducida de calcita CaCO_3 , permitiendo que el concreto recupere sus propiedades mecánicas, la vida útil y tiempo de servicio de obras construidas con este material.

1.5.2 Relevancia social

El costo elevado de reparación de estructuras de hormigón armado por la presencia de fisuras, representan un costo que duplica el costo inicial de la construcción del elemento. Este material presenta un potencial para aumentar la durabilidad de las obras por acción y efecto de su agente bioquímico.

Las construcciones con este material tendrían carácter sostenible y mayor tiempo de vida útil, permitiendo el ahorro de posibles recursos invertidos en la adquisición de nuevos materiales para el reemplazo, la reparación o

construcciones nuevas. Con lo mencionado se produciría la reducción de agentes contaminantes a causa de la producción de cemento, quedando suscrito como una alternativa verde.

1.5.3 Utilidad metodológica

El presente estudio de investigación es una recopilación, selección y análisis de material científico de artículos internacionales del mismo carácter, que estudian las mismas variables planteadas en nuestra investigación. Se empleará buscadores académicos, como herramienta que servirán de apoyo para la búsqueda de información científica y confiable, que formarán parte del sustento de la presente investigación, mediante la recopilación, ordenamiento y clasificación por las variables que mide cada cita consultada.

1.5.4 Conveniencia

El presente estudio investiga un material de características biológicas y mecánicas, que en su composición original sin adición de bacterias es usada a nivel mundial en grandes cantidades. El hormigón frente a causas como fisuras, pierde durabilidad y por ende sufre disminución de su vida útil al igual que el deterioro de sus propiedades, ocasionando una mayor demanda en producción de cemento, incrementándose así la emisión de agentes contaminantes. La adición de bacterias provoca un cambio positivo en la matriz, permitiendo obtener ventajas que pueden ser aprovechadas en construcciones que tengan este material.

1.6 Limitaciones del estudio

La investigación no presenta ningún tipo de limitaciones. Se tiene acceso a toda la información necesaria de forma virtual, como son libros, artículos científicos, tesis, revistas, conferencias entre otras fuentes. La investigación se desarrollará bajo el único enfoque en el hormigón bacteriano o autorreparable.

Al ser una investigación bibliográfica, no se requerirá del empleo de las inmediaciones o ambientes de los laboratorios de la Universidad.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

1.

1.

2.1 Marco histórico de la investigación

Desde que los romanos construyeron el panteón con hormigón como hace unos 2.000 años, se ha estado tratando de encontrar maneras de hacer que el concreto sea más duradero.

La investigación y la posible aplicación de la biocalcificación ha incluido la restauración de piedra caliza en monumentos históricos y piedra ornamental (Rodríguez-Navarro, 2003) En términos más generales, CaCO_3 producto de la precipitación inducida por la actividad bacteriana puede aumentar la estabilidad de las estructuras en ingeniería civil (Sarmast, Farpoor, Sarcheshmehpoor, & Eghbal, 2014) Los métodos imitan lo que ha estado ocurriendo naturalmente, ya que muchas rocas de carbonato se han cementado durante iones por la precipitación de carbonato de calcio inducida por microbios (Rodríguez-Navarro, 2003).

Hasta la fecha, varios estudios han demostrado la influencia positiva de los compuestos microbianos en las propiedades del concreto. Jonkers y Col. (2010) investigaron la influencia de un agente curativo en las propiedades del hormigón y la capacidad de llenado de grietas. La precipitación de carbonato de calcio debido a la activación del compuesto microbiano dio como resultado un aumento en la resistencia a la compresión y una reducción en el tamaño de poro de las muestras de concreto. Bang et. al (2001) planteó como objetivo, evaluar la efectividad de las células bacterianas *Sporosarcina pasteurii*, inmovilizadas en espuma de poliuretano (PU) en los procesos de precipitación de carbonato de calcio (CaCO_3) mediante las pruebas de resistencia a la tracción y el módulo de elasticidad y resistencia a la compresión del concreto. Del mismo modo,

Achal et al. (2011) incorporaron con éxito un agente curativo microbiano que contenía *Bacillus sphaericus* en un mortero. Se descubrió que la precipitación de carbonato de calcio a través de la vía de la ureolisis podría llenar las grietas y las porosidades. Su investigación mostró que el mortero biotratado absorbió seis veces menos agua que el mortero no tratado.

En términos más generales, CaCO_3 La precipitación inducida por la actividad bacteriana puede aumentar la estabilidad de las estructuras en ingeniería civil.

2.2 Investigaciones relacionadas con el tema

2.2.1 Investigaciones nacionales

(Ormache, 2020) tiene el objetivo de estudiar la influencia de la bacteria *Sporosarcina Pasteurii* en la resistencia mecánica del concreto de $f'c=210$ kg/cm^2 . Realizaron 24 probetas con el concreto patrón y 72 con el concreto adicionando lactato de calcio y *Sporosarcina Pausteurii* de formas cilíndricas de 4" x 8". Las proporciones empleadas de bacterias medidas por células/ml fueron de 1×10^7 , 1×10^8 y 1×10^9 . Sometieron las probetas a pruebas de tracción y compresión bajo las normas ASTM-C39 y ASTM C 496. Las probetas se curaron a los 7,14,21 y 28 días de edad respectivamente. Los autores recomiendan usar 1×10^9 células/ml, ya que el concreto supera más del 100% de su resistencia a compresión estimada de $F'c$ 210 kg/cm^2 a los 28 días, además recomiendan analizar la precipitación de carbonato de calcio para la remediación de fisuras.



Figura N 2 : Resistencia a la compresión promedio $f'c$ a los 7 días de curado

Fuente: Ormaeche, C. (2020, p.151)

(Ruiz & Valverde, 2020) tiene como objetivo principal en su investigación determinar en qué medida la incorporación de bacterias *Bacillus Subtilis* mejorará la capacidad autorreparable del concreto, también determinar el óptimo Ph del concreto, la mejora en la resistencia a la compresión y flexión del concreto $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Para la obtención de los resultados, todo el proceso de elaboración de las probetas en laboratorio se desarrolló bajo la norma ASTM C31/31M. Con respecto a los ensayos, El ensayo a compresión y flexión se realizaron según las normas ASTM C39 y ASTM C78 respectivamente.

En cuanto a la población estuvo comprendida por la producción de concreto con una resistencia de 210 kg/cm^2 en la ciudad de Lima. La muestra es un grupo representativo de la población a estudiar, por tal motivo este se tiene que identificar con precisión. Elaboraron un total de 78 probetas-testigo, entre cilíndricas y prismáticas las cuales se distribuyeron 6 probetas prismáticas para el ensayo de inducción de fisuras, 36 probetas cilíndricas de 4" x 8" para el ensayo de resistencia a la compresión y 36 probetas prismáticas para el ensayo de resistencia a la flexión.

Las muestras con microorganismos obtuvieron una menor resistencia a la compresión que el concreto convencional a los 28 días, la causa principal fue el uso de la arcilla expandida para encapsular y proteger a la bacteria, y este es un material ligero con menos soporte. Por ello las muestras bacterianas de $1 \times 10^9 \text{ cel/ml}$ y $1 \times 10^{12} \text{ cel/ml}$ disminuyeron en un 18.8% y 19.3% respectivamente. Por el contrario, también indican que estudios anteriores con bacterias del tipo *Bacillus* obtuvieron resultados positivos, Legazo et al. en su estudio en el año 2019 tuvo resultados positivos para este indicador con una concentración celular de $1 \times 10^5 \text{ cel/ml}$, teniendo un incremento considerable de 35.15% a los 28 días de edad, debido a que la adición de bacterias fue de forma directa en el concreto sin tener que encapsularla o protegerla, y como no se reemplazó ningún agregado por no obtuvo pérdida de resistencia.

Las muestras con microorganismos obtuvieron una menor resistencia a la flexión que el concreto convencional a los 28 días, la causa principal fue el uso de la arcilla expandida para encapsular y proteger a la bacteria, y este es un material ligero con menos soporte. Por ello las muestras bacterianas de 1×10^9 cel/ml y 1×10^{12} cel/ml disminuyeron en un 14% e ambos casos. Por el contrario, también indican que estudios anteriores con bacterias del tipo bacillus obtuvieron resultados positivos, Legazo et al. en su estudio en el año 2019 tuvo resultados positivos para este indicador con una concentración celular de 1×10^5 cel/ml, teniendo un incremento considerable de 18.01% a los 28 días de edad, debido a que la adición de bacterias fue de forma directa en el concreto sin tener que encapsularla o protegerla, y como no se reemplazó ningún agregado por no obtuvo pérdida de resistencia.

Con respecto al sellado a los 28 días en el 4to control, se concluye que para las fisuras con un espesor de hasta 0.3 mm se tiene una capacidad de autorreparación del 100%, de 0.4 mm se tuvo una recuperación de alrededor del 30% y para mayores dimensiones no se observa reparación alguna, esto ocurre en concretos que contienen una concentración celular de 1×10^9 cel/ml. Con respecto a la dosificación de 1×10^{12} cel/ml se tuvo un autosellado hasta el 100% en fisuras de 0.25 mm y del 50% para fisuras cercanas a 0.3 mm, por estos resultados se puede decir que si la fisura aumenta su dimensión esta reduce su propiedad de autorreparación.

Núñez, L. (2021) señala en su investigación su objetivo principal que es evaluar las propiedades del bioconcreto autorreparable añadiendo una solución de bacterias Bacillus Subtilis, evaluando su propiedad de sellado de fisuras, y el aumento o disminución de su resistencia a la compresión y flexión.

Para seleccionar la cantidad de elementos utilizados en los ensayos de la investigación, se basaron de acuerdo a la norma E-060. Para la elaboración del bioconcreto se utilizaron los mismos insumos que se utilizaron en la elaboración del concreto tradicional, solo que adicionalmente se aumentó un porcentaje de solución de la bacteria Bacillus Subtilis (10% y 15%) con respecto a la cantidad

de agua y así se obtuvo el bioconcreto. Cabe mencionar que se realizó concreto tradicional que se usó como muestra de control para compararlo con el bioconcreto. Se realizaron los ensayos de compresión de concreto (rotura a carga axial), y el ensayo a flexión por viga según el ACI, para cada dosificación de mezcla (que serán 3 tipos de diseños), también se realizaron probetas para observar el autosellado del bioconcreto y realizar el análisis estadístico respectivo e interpretar resultados. El Diseño de mezcla fue bajo el Método ACI 211.1 $F'c = 294 \text{ kg/cm}^2$. Se realizaron 27 probetas cilíndricas para el ensayo a compresión, 27 vigas prismáticas para el ensayo a flexión y 6 probetas cilíndricas para el ensayo de autorreparación del bioconcreto, se usó un 10% y 15% de solución de bacteria *Bacillus Subtilis* por muestra para su respectivo análisis.

Con sus resultados se puede concluir que la resistencia a la compresión del concreto B. 10% y B.15% fue mayor en comparación al concreto patrón. El resultado para la resistencia del concreto B. 10%, fue 234.5 kg/cm^2 a los 7 días de curado, a los 14 días fue 366.9 kg/cm^2 y a los 28 días 418.6 kg/cm^2 . Para el concreto B. 15%, su resistencia a los 7 días fue de 137.8 kg/cm^2 , a los 14 días fue de 282.3 kg/cm^2 y a los 28 días 362.4 kg/cm^2 .

Con sus resultados se puede concluir que la resistencia a la flexión del concreto B. 10% y B.15% fue mayor en comparación al concreto patrón, ya que se obtuvo 34.3 kg/cm^2 a los 7 días, a los 14 días fue 35.8 kg/cm^2 y a los 28 días 41.3 kg/cm^2 para el concreto convencional. El resultado para la resistencia del concreto B. 10%, fue 41.1 kg/cm^2 a los 7 días, a los 14 días fue 45.5 kg/cm^2 y a los 28 días 52.8 kg/cm^2 . Para el concreto B. 15%, se tuvo como resistencia a los 7 días un valor de 44.6 kg/cm^2 , a los 14 días una resistencia de 46.5 kg/cm^2 y a los 28 días 53.7 kg/cm^2 . También se observaron que las grietas o fisuras disminuyeron su tamaño en un 3.93%. Para llegar a estos resultados se analizó la reducción de las grietas según su longitud y profundidad. A los 75 días su longitud disminuyó en un 1.16% en ambos casos. Por lo tanto, la bacteria *Bacillus* si disminuye y repara las grietas en el hormigón.

A los 75 días su profundidad disminuyó en un 6.7% en ambos casos. Por lo tanto, la bacteria *Bacillus* si disminuye y repara las grietas en el hormigón.

2.2.2 Investigaciones internacionales

(Sierra & Jonkers, 2015) el estudio se aborda con la necesidad de remediar una problemática presente en un canal de regadío de 2.4 Km de longitud ubicada en la provincia de Tungurahua, Ecuador, revestida con hormigón simple, sin ningún tipo de refuerzo o aditivo adicional .El canal presentaba fallas en su composición estructural presentando fisuras y grietas, causadas por deslizamientos del terreno circundante ,esfuerzos inducidos por vegetación, y ciclos de congelamiento y descongelamiento, provocando una pérdida por infiltración de 75% el agua destinada al regadío.



Figura N 3 :Inspección del canal de regadío

Fuente: Sierra, M & Jonkers, Henk (2015, p. 210)

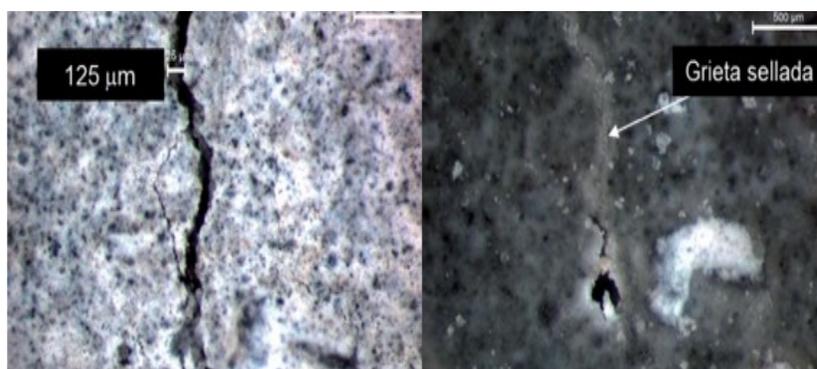
El objetivo de esta investigación se basó en diseñar un de hormigón autorreparable, con el empleo de un agente bacteriano para incrementar la capacidad auto generativa posterior al agrietamiento, tomando en cuenta los materiales disponibles en el lugar de la aplicación, la provincia de Tungurahua, en Ecuador, así mismo consideraron las sollicitaciones de esfuerzo y desempeño de la estructura. La mezcla fue ensayada en el laboratorio de TUD, Holanda.

Incluyo cemento tipo cem I 42.5 N (estándar europeo), grava, arena, fibras naturales y arcillas expandidas impregnadas con bacterias y alimento para las

bacterias. La grava de tamaño mínimo y máximo de 4 y 8 mm. La arena de tamaño mínimo y máximo de 0.25 y 2 mm, respectivamente. Las arcillas expansivas de diámetros de entre 2 y 4 mm, respectivamente. El alimento elegido para las bacterias alcalifílicas consistió en lactato de calcio (80 gr/lt) y extracto de levadura (1 gr/lt) preparados en una solución que fue impregnada en las arcillas expandidas. De esa forma las arcillas impregnadas contuvieron el 6% (en peso, en gramos) de alimento y 1.7×10^5 g⁻¹ esporas de bacterias. Las partículas de arcilla empleadas fueron de diámetros de entre 2 y 4 mm.

Para llevar un control comparativo realizaron muestras con arcillas expandidas impregnadas y con arcillas expandidas sin impregnar. Como último material de la mezcla trabajaron con las fibras de abacá, estas se obtienen del pseudotallo de la planta Musa Textiles. La fibra de Abacá presenta una resistencia alta comparada con otras fibras naturales, siendo éstas además flexibles, durables y resistentes al agua salada. Las fibras fueron cortadas a una longitud promedio de 2 cm, se añadieron a la mezcla de hormigón con un contenido de 0.27% del peso total. Las probetas fueron ensayadas a compresión a los 28 días, la muestra de control obtuvo una resistencia promedio de 26 MPa y las muestras con bacterias una resistencia promedio de 30 MPa, posteriormente fueron sometidas a pruebas de 3 puntos, para la medida de la resistencia a flexión.

La resistencia promedio a flexión a los 28 días para la muestra de control fue de 5.4 MPa y para la muestra con bacterias de 5.7 MPa. Se observó que las muestras con bacterias desarrollaron una mejor resistencia a compresión y flexión en comparación a la muestra de control. En el ensayo a flexión se produjeron fisuras de 140 μ m aproximadamente en ambas muestras (con bacterias, y sin bacterias). Buscando la similitud de la misma situación del canal y medir la capacidad autogenerativa, las muestras fueron puestas en contacto con agua en las caras agrietadas. A las 6 semanas realizaron observaciones con



ayuda del microscopio, se cerraron fisuras de diámetro de 125 μm en las muestras con bacterias, en la muestra de control no se vio ningún tipo de sellado.

Figura N 4 :Fotos microscópicas de precipitación de calcita.

Fuente: Sierra, M & Jonkers, Henk (2015, p. 211)

Finalmente fueron aplicadas en la sección media del canal, con dimensiones de 3m de longitud y un ancho de unidad de metro. En 6 meses de la aplicación no observaron ningún tipo de falla en el revestimiento.



Figura N 5 :Revestimiento del canal de regadío

Fuente: Sierra, M & Jonkers, Henk (2015, p. 212)

(González, Parraguez, Corvalán, Correa, & Stukrath, 2018) el presente estudio de pregrado tiene el enfoque de mitigar el daño al hormigón como consecuencia de la formación de microgrietas en vías, teniendo como objetivo diseñar un hormigón que aumente su vida útil y por lo tanto se disminuya la necesidad de

construir más infraestructura con este material. El método consistió en la incorporación en el proceso de mezclado del hormigón, de una bacteria llamada *Bacillus Pseudofirmus*, que ha sido probada de manera exitosa en otras investigaciones.

Las bacterias fueron incorporadas en su forma inactiva (es decir, esporulada) para resistir posteriormente la fabricación del hormigón, impregnada en arcilla expansiva junto con un aditivo nutritivo (lactato de calcio y extracto de levadura). La fuente de calcio su alimento actuará como centro de nucleación para precipitar carbonato de calcio (CaCO_3), con el cual se sellará total o parcialmente las fisuras. Para esta investigación, al cultivo de la bacteria se aplicó centrifugado en el medio DMZ 253, conformado por 2g de extracto de levadura, 1g de extracto de carne, 5g de peptona, 5g de NaCl y 1l de agua destilada. Se añadió 100ml de la solución Na-Sesquicarbonato compuesta por 4.2g de NaHCO_3 y 5.3g de Na_2CO_3 , esta solución alcaliniza el medio de cultivo, lo cual fue necesario por tratarse de una bacteria alcalófila. Cuando la bacteria alcanzó una densidad óptima de bacterias, se traspasó a un medio mineral conformado por 0.2g de NH_4Cl , 0.02 de KH_2PO_4 , 0.298g de $\text{CaCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$, 0.2g de KCl, 0.2g de $\text{MgCl}_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$, 0.1g de extracto de levadura, 0.009g de $\text{MnSO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$, 5.88g de $\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_7 \times 2\text{H}_2\text{O}$, 4.2g de NaHCO_3 , 5.3g de Na_2CO_3 , 1ml de Solución SL12B y 1l de agua destilada. Con este procedimiento, la bacteria queda en su fase esporulada. Obtenidas las esporulas de bacteria, fueron impregnadas a la arcilla expandida (4.75-1.18 mm) junto al extracto de levadura (5g/l de solución con bacterias) y lactato de calcio (200g/l de solución con bacterias). Se sumergió la arcilla durante una noche

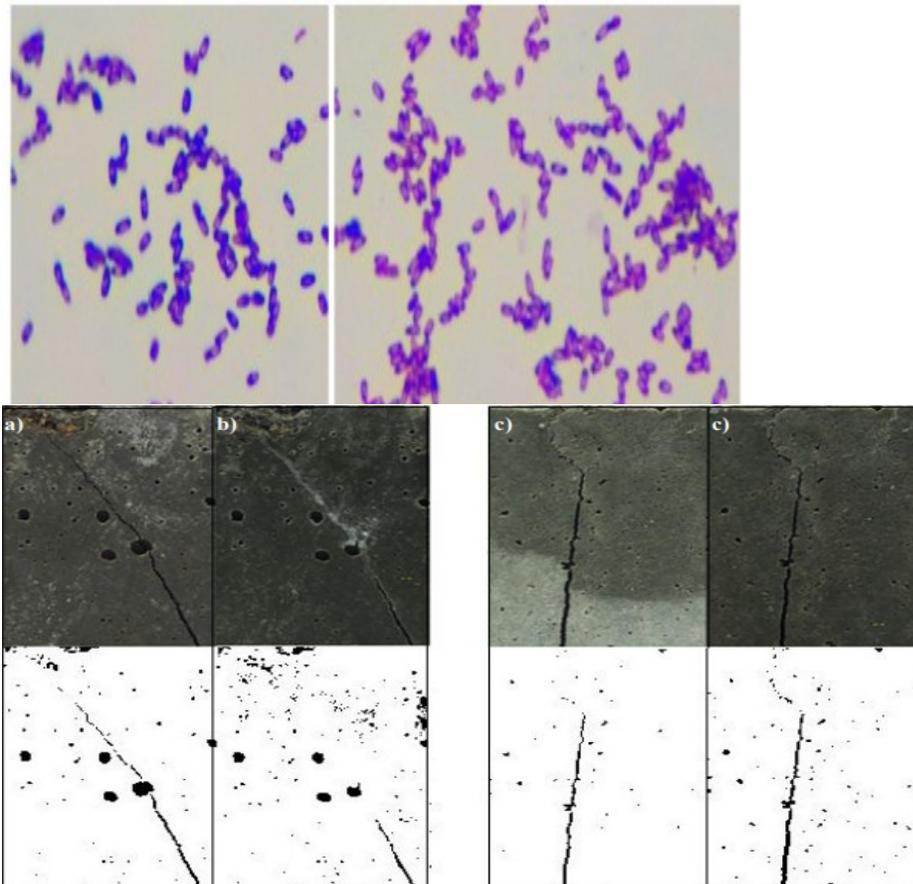
entera a una temperatura de 4°C en bolsas cerradas a modo de disminuir el riesgo de activación de las bacterias con el oxígeno del ambiente.

Figura N 6 :Vista al microscopio de bacteria esporulada

Fuente: González, A, Parraguez, A, Corvalán, L, Correa, N & Stukrath, E (2018, p.4).

Posteriormente realizaron probetas prismáticas de 16x4x4 cm con dos fierros de acero galvanizado de 2.11 mm diámetro. Se ensayaron tres tipos de muestras, una que contenían la arcilla expandida sin el agente de auto reparación, correspondientes a las probetas de control (C), otras contuvieron la arcilla impregnada con el lactato de calcio, pero sin bacterias (L), y el último grupo contiene el agente de auto reparación con todos sus componentes (B).

Después de pasado 28 días, las probetas fueron ensayadas a tres puntos de flexión, se produjeron fisuras de 2mm diámetros aproximadamente. Las probetas agrietadas se mantuvieron sumergidas en agua durante dos meses a una temperatura de 4, 23, y 35° C. Para observar su evolución, se fotografiaron



periódicamente. Para medir la capacidad de autocuración del hormigón en las

tres muestras C, L y B, se realizaron estudios de difracción de rayos X s y observaciones con el microscopio. Las fisuras no sellaron a los 4°C, a los 35° se observó un sellado mucho menor que a los 23°C, indicando así que la temperatura es un factor fundamental para la auto reparación. A los 23°C se observa el efecto de las bacterias, pues las probetas de control no entregaron resultados positivos, mientras que las probetas con el agente de auto reparación se observa grietas selladas de hasta 0.3 mm.

Figura N 7: Curado de fisuras del concreto de 0 a 14 días

Fuente: González, A, Parraguez, A, Corvalán, L, Correa, N & Stukrath, E (2018, p.6).

Nota: a) y b) Probeta con bacteria a los 0 y 14 días de sumergida en agua, se observa sellado de grietas de hasta 0.26mm. c) y d) Probetas de control a los 0 y 14 días de sumergidas en agua, no se observa sellado, tomado de González, A; Parraguez, A; Corvalán, L; Correa, N & Stukrath, E (2018).

(Parraguez, 2018) tiene el objetivo de estudiar el efecto de la temperatura y del tipo de cemento utilizado en la matriz de hormigón en la capacidad de la bacteria bacillus pseudofirmus de precipitar carbonato de calcio para la auto reparación de fisuras. Una de las ventajas que otorga este microorganismo se encuentra en su capacidad formadora de endosporas y su tolerancia a ambientes alcalinos.

Los autores agruparon los procedimientos en tres etapas para la obtención de resultados que se muestran a continuación:

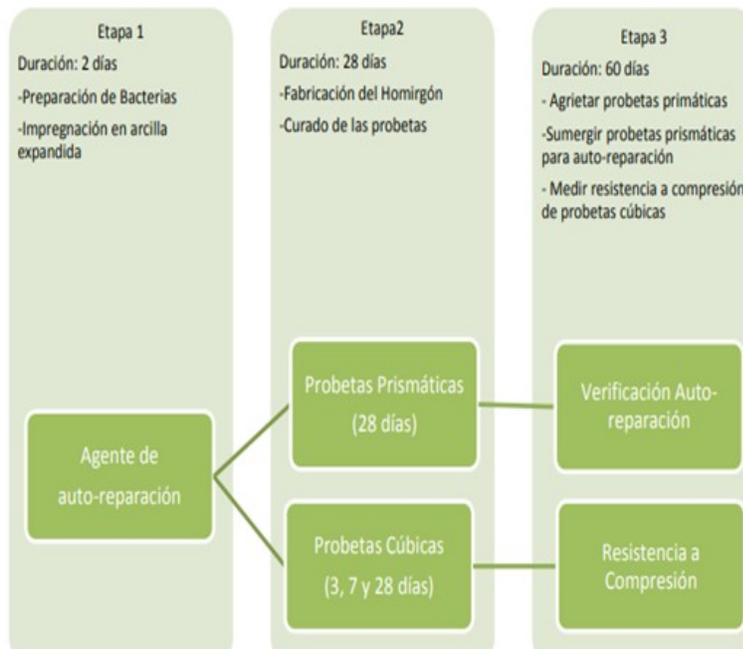




Figura N 8 : Esquema general del trabajo experimental.

Fuente: Parraguez, A. (2018, p.37).

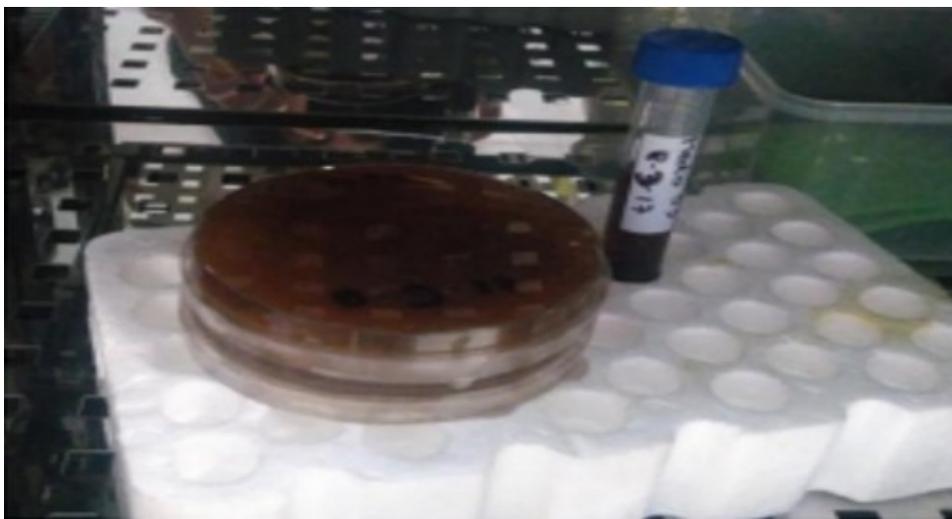
Obtuvieron la bacteria *Bacillus pseudofirmus* mediante una ampolla liofilizada.

Prepararon el medio de cultivo sólido y líquido con los reactivos que se muestran en las tablas N1 Y N2. Posteriormente esterilizaron en autoclave. La bacteria al ser alcalófila (desarrolla en ambientes con valores de pH comprendidos entre 8.5 y 11), se preparó la solución Na-sesquicarbonato que contiene bicarbonato y carbonato de sodio, se esterilizó por medio de la técnica de filtrado. Se agregó la solución Na-sesquicarbonato al medio de Cultivo para regular el pH y volverlo alcalino.

Figura N 9 :Bacteria liofilizada contenida en ampolla de vidrio.

Fuente: Parraguez, A. (2018, p.46)

Después de 24 horas, de verificar el crecimiento de cualquier otro microorganismo que altere la esterilización, realizaron el traspaso de la bacteria



contenida en la ampolla al medio de cultivo líquido y sólido. Añadieron agar para la obtención de la fase sólida.

Figura N 10 : Bacteria liofilizada contenida en ampolla de vidrio.

Fuente: Parraguez, A. (2018, p.46)

Al día siguiente, mediante observación microscópica, visualizaron que la bacteria se encontraba en estado de esporas. Las bacterias aparecen en color violeta, lo que demuestra su naturaleza Grampositiva. El medio de cultivo se visualiza de color naranja.

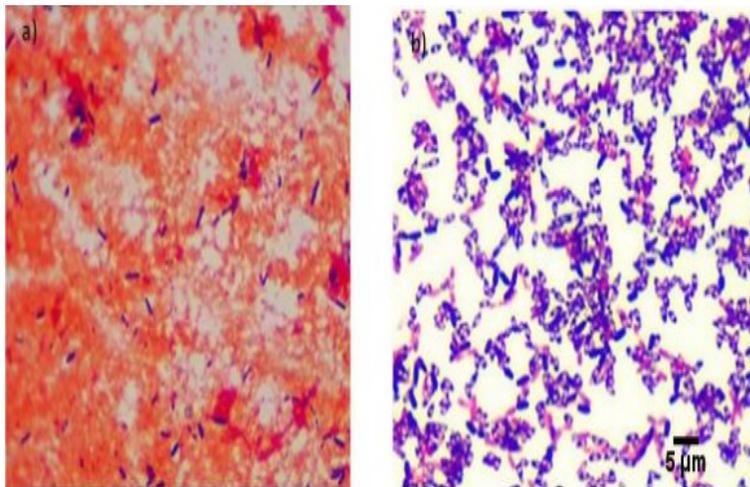


Figura N 11 : Bacteria Bacillus Pseudofirmus (color morado) en Medio de Cultivo 253 (color naranja)

Fuente: Parraguez, A. 2018, p.46)

Secaron la arcilla expandida por 24 horas. Prepararon la solución biológica combinando el 200g/l lactato de calcio, la suspensión con bacterias que correspondió al 12% del peso total de la arcilla y 5 g/extracto de levadura.

Figura N 12 : Bolsa de plástico con el Agente de Auto reparación.

Fuente: “Hormigón autorreparable con bacterias para la infraestructura vial”, por Parraguez, A. 2018, p.53)

Determinaron la concentración bacteriana mediante el método NMP (número más probable), La cantidad de bacterias fue de 2.14×10^7 , durante los 3 días de conservación de la bacteria. Para la elaboración de la mezcla emplearon una mezcladora Hobart; primero la llenaron con el agua de diseño y luego el cemento. Después de 30 sg, se incorporó el agente de auto reparación. Elaboraron probetas prismáticas de 16x4x4 cm y muestras cúbicas de 5x5x5 cm. Las muestras cúbicas fueron reforzadas con acero galvanizado de 2.1 mm de diámetro. A los tres días, las probetas con lactato de calcio (LPT) y con lactato de calcio más bacterias (BPT) obtienen la resistencia más alta, con un 14.94% y



11.78% más que el promedio de las probetas de control. A los 7 días continúa siendo mayor la resistencia de las probetas con lactato de calcio en comparación a las de control, con un 10.61% más para la mezcla PTL y un 9.34% para la mezcla PTB. A los 28 días se obtuvieron resultados bastante similares, siendo mayor el promedio de la resistencia de las probetas de control. La mezcla PTL fue un 0.49% menor a la de control, mientras que la PTB fue un 3.31%. Estos resultados podrían apuntar a que, si bien existe un efecto del lactato de calcio, este aceleraría el aumento de la resistencia a la compresión. sugiere estudiar

otras dosificaciones para el hormigón y distintas concentraciones de bacterias para poder optimizar la mezcla, además de estudiar en mayor detalle el posible efecto del lactato de calcio, u otras fuentes de calcio. De acuerdo a los resultados se observa que las probetas con bacterias a 23°C (BPT23) en el gráfico 6-6, pues, BPT23 entrega el mejor porcentaje de sellado tanto para un área inicial muy pequeña (82.4% para 2.95 mm²), como para áreas mayores (54.86% para 9.87 mm²).

Figura N 13 : Grieta de probeta CPT23. a) Día 0. b) Día 63

Fuente: Parraguez, A. (2018, p.81)

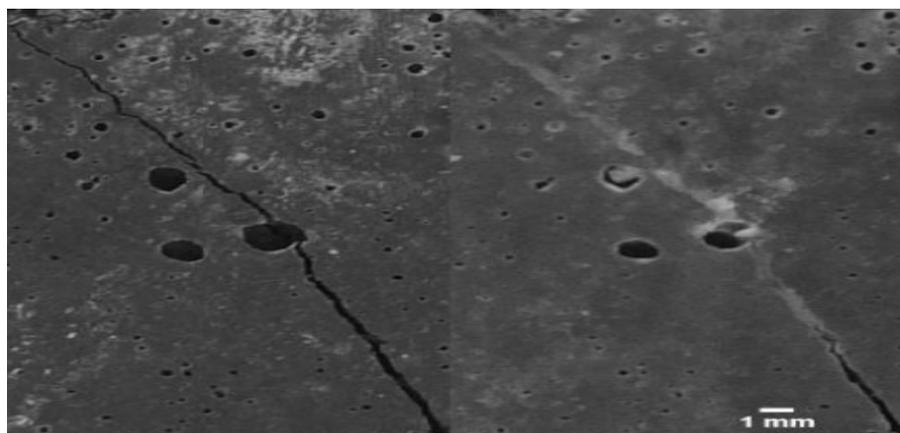


Figura N 14 : Grieta de probeta BPT23. a) Día 0. b) Día 63.

Fuente: Parraguez, A. (2018, p.81).

A los 30°C, 0.147 mm fue el pesor máximo de sellado para las mezclas (BPT30 Y CPT30), por lo que probablemente se trata de una auto-reparación autógena. Esto es visible, además, con el gráfico de la Figura 6-23, en donde se aprecia que todos los espesores mayores a 0.147 mm para las probetas a 30° no se sellaron, a diferencia de las probetas a 23°C, en donde el máximo espesor sellado fue de 0.38 mm.

(Daza & Guarnizo, 2020) la presente investigación tuvo el objetivo de la revisión bibliográfica entre el concreto auto reparable y el concreto convencional. Universidad Católica de Colombia, tiene el objetivo de realizar un estudio comparativo sobre los concretos autos reparables y concretos convencionales para las construcciones civiles. Lograron establecer por medio de la investigación y con base en los datos estudiados, que la hipótesis del beneficio de utilizar los concretos auto reparables es mayor que el emplear el concreto tradicional. Así mismo encontraron que la diferencia principal entre el concreto autorreparable y el concreto convencional es que el concreto autorreparable como su nombre lo indica es capaz de reparar sus fisuras una y otra vez por medio de una incorporación de 52 bacterias, además este presenta menor permeabilidad, pero tiene mejores propiedades de endurecimiento. Finalmente concluyeron que . Se pudo concluir que el concreto auto reparable se puede utilizar en todas las obras de ingeniería civil, pero se utiliza comúnmente en canales de irrigación, puentes y vías en lugares con un alto riesgo de sismicidad.

(Rodríguez, 2021) esta investigación tuvo la finalidad de elaborar un hormigón autorreparable mediante de la incorporación de bacteria del género bacillus, capaz de sellar fisuras vigas de hormigón (ASTM C78) de forma autónoma y mejorar las propiedades mecánicas del hormigón. Como primer paso cultivaron las bacterias del género bacillus para la obtención de distintas concentraciones. Posterior a ello elaboraron muestras conformadas en 16 vigas y 4 cilindros de hormigón según la ASTM C78, con una resistencia a la compresión de 210 kg/cm², emplearon agregado fino, agregado grueso, cemento Holcim (Tipo: GU, uso general)

Encontraron que la concentración bacteriana óptima fue de 3×10^6 cel/ ml, obtuvieron incremento de la resistencia a la compresión del 9.16% con respecto a la obtenida con el hormigón tradicional, lo que significa que hubo una mejora en las propiedades mecánicas añadiendo la solución biológica.

Emplearon el programa IMAGE-J para la visualización del sellado de fisuras y la cuantificación las respectivas dimensiones y con ello proceder al cálculo del área afectada, en cada una de ellas; también emplearon el microscopio y estereoscopio, para verificar las formaciones de calcita y carbonato de calcio principalmente, producto del metabolismo de las cepas bacterianas. Comprobaron que para un $f'c$ de 210 kg/cm² del 69,94 % respectivamente, aplicando la concentración óptima de diseño; mientras que, para las concentraciones restantes, el proceso de precipitación de CaCO₃ no llegó a superar el 20%.

2.2.1 Artículos relacionados con el tema

Kumar, A. y Gupta, A. (2021) en esta investigación, indican que la presencia de vacíos en el hormigón puede conducir a una reducción en su desempeño cuando este se expone a una alta retracción y asentamiento. Por ello se centraron en la utilización de bacterias de la familia bacillus megaterium como grandes curanderas del hormigón con una concentración de 10^8 CFU (colony forming unit), se fundieron un total de 48 especímenes y se comprobó su resistencia mecánica y absorción de agua después de 7 y 28 días de curado.

Según la Norma que se usó, fueron distintas para cada procedimiento. Se usó cemento Portland ordinario y se probaron varias propiedades según IS: 8112-2013[33]. El vaciado de las muestras se realizó de acuerdo con IS: 1199-1959 [34]. Los ensayos de resistencia a compresión fueron según IS: 516-1959[35]. Los ensayos de tracción dividida y flexión se realizaron según IS:5816-1999[36] e IS:516-1959[35]. Los valores de absorción de agua se calcularon utilizando la fórmula que se encuentra en IS: 1124-1974{37}.

En conclusión, estos resultados de las pruebas indicaron que las resistencias a la compresión, tracción dividida y flexión aumentaron a 12,91 %, 10,28 % y 9,02 % respectivamente después de 28 días de curado en comparación con la mezcla de concreto estándar de grado M30. También se constató que el valor de absorción de agua del concreto bacteriano es menor en comparación con la mezcla de concreto estándar, la absorción de agua en este estudio se ha reducido en un 5,25 % y un 7,35 % en comparación con el hormigón estándar a los 7 y 28 días respectivamente. Esto se debe al relleno de las grietas en el concreto debido a la precipitación de calcita producida por la bacteria *Bacillus megaterium*.

Meenaksi, BS., et al. (2021) En esta investigación, indican que las bacterias poseen una gran capacidad de llenar los microporos en el concreto, por ello en esta investigación experimental se encontrará la capacidad del concreto con y sin bacterias. Los microporos se llenan con la precipitación de calcita creada por las bacterias que crearán una curación autógena del concreto. Las bacterias de la familia bacillus crearon la spora resistente a los álcalis que esta formación produce como autorreparador del hormigón. El período viable activo de la bacteria fue de 4 meses en agua antes de agregarse al concreto. La disminución del diámetro del tamaño de las esporas en el hormigón ayuda a aumentar la resistencia a la compresión del hormigón. Se incrementó la vida útil del hormigón, que es la durabilidad del hormigón, por lo tanto, tendremos un hormigón sostenible. Teniendo como resultado la siguiente conclusión general:

La bacteria *Bacillus Halodurans* microbiológicamente inducida mejora las características de resistencia a la compresión del mortero de cemento en un

16,15%, en el hormigón convencional, la resistencia a la compresión característica se incrementa hasta en un 13,93% a los 28 días por acumulación de la bacteria *Bacillus Halodurans* en comparación con el hormigón controlado, también en el hormigón de grado normal, la resistencia a la tracción dividida ha aumentado hasta un 12,60 % en 28 días sobre la acumulación de la bacteria *Bacillus Halodurans* cuando se compara con el concreto controlado, finalmente cuando se observa el comportamiento tensión-deformación del hormigón controlado y bacteriano, la tensión deformación los parámetros también aumentarán usando *Bacillus. Halodurans*.

Dipika, P., et al. (2020) El presente estudio demuestra la eficacia biocementadora de *Bacillus subtilis* incorporando tres parámetros principales, la concentración bacteriana, el tiempo de curado y la proporción nutricional. Se realizaron estudios por lotes incorporando una variable a la vez (OVAT) y diseño compuesto central (CCD) junto con la metodología de superficie de respuesta (RSM) para establecer la posible relación de los parámetros seleccionados con las propiedades mecánicas (resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y resistencia a la tracción dividida). resistencia de morteros de cemento y hormigones bacterianos.

El cemento utilizado para los ensayos de la investigación fue el Portland ordinario según la norma BIS 8112-2013 para la producción de hormigón. Utilizaron el software Design Expert, versión 8.0.7.1 para el diseño experimental basado en el diseño compuesto central (CCD). Se realizó un diseño de matriz que contiene 12 experimentos producidos por el software para optimizar las propiedades de resistencia mecánica (resistencia a la compresión, a la flexión y a la tracción dividida). Teniendo como resultado lo siguiente: Las investigaciones realizadas sobre la base del enfoque OVAT indicaron que el nivel extremo de concentración bacteriana, el tiempo de curado y la proporción nutricional produjeron la mejora más alta en las propiedades mecánicas del concreto bacteriano que produjo resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y resistencia a la tracción dividida de 79.5 MPa, 6.22 MPa., y 5,01 MPa respectivamente. En línea con el enfoque OVAT, el análisis de varianza

(ANOVA) también mostró que el individuo, así como algunos de los posibles términos del modelo interactivo de dos factores, aparecían como términos significativos del modelo con un valor de p inferior a 0,05. La eficacia predictiva de la respuesta del modelo fue determinada con un valor alto de R² (0.99) y una alta precisión adecuada.

Aditya, K., et al. (2021) El presente estudio indica que antiguamente las curaciones del concreto se daban a base de cemento y, a partir de entonces, la investigación condujo al estudio de la curación autónoma. Esto fue posible con la ayuda de bacterias que se incrustaron en el material a base de cemento con diferentes tecnologías y métodos. En este trabajo, las especies *Enterobacteria* y la bacteria *Cohnii* se incorporaron al concreto. Se investigó el comportamiento del hormigón bacteriano en términos de resistencia a la compresión, a la tracción, a la flexión y a la velocidad del pulso ultrasónico

Se realizaron pruebas después de 7 días, 14 días y 28 días para evaluar el efecto de las bacterias en el concreto. El ensayo de resistencia a la compresión se realizó según BIS: 516-1999 (1959), se realizaron ensayos de resistencia a la compresión en cubos de tamaño 150 mm x 150 mm x 150 mm utilizando una máquina de ensayos de compresión a una tasa de carga de 13,7 N/mm²/m. El ensayo de resistencia a la flexión se realizó según BIS: 516-1999, el espécimen se colocó en la máquina de modo que la carga se aplicara a la superficie más alta como vaciado en el molde, a lo largo de dos líneas separadas 20 cm. Se aplicó la carga a una velocidad de 0,68 N/mm² /mm. La velocidad de pulso ultrasónico se realizó a cada muestra que tenía bacterias *Enterobacter* y *Cohnii*. Antes de completar la prueba de resistencia a la compresión, las muestras cúbicas se sometieron a una prueba de velocidad de pulso ultrasónico de acuerdo con IS 13311 (Parte 1): 1992. Teniendo como resultado lo siguiente: Se observó que la resistencia a la compresión del hormigón aumentó un 11,5 %, la resistencia a la flexión aumentó un 11,9 % y la resistencia a la tracción aumentó un 12,8 % con el reemplazo de la bacteria *Cohnii* en comparación con el hormigón convencional. Se ha demostrado que estas bacterias son un enfoque positivo

para el proceso de curación en materiales a base de cemento. Ambas bacterias generan la calcita que ayuda a llenar la grieta del concreto y los huecos si el agua entra en contacto. Las razones del aumento de UPV son que las bacterias generan la calcita que ayuda a llenar la grieta del concreto y los huecos si el agua entra en contacto.

Daniel, K., et al. (2020) El presente estudio se centró en los efectos de *Bacillus megaterium* y *Lysinibacillus sphaericus* en la resistencia a la flexión y la entrada de cloruro en los prismas de mortero. Las soluciones microbianas con una concentración de $1,0 \times 10^7$ células/ml se mezclaron con cemento Portland ordinario (OPC 42,5 N) para fabricar prismas de mortero con una relación agua/cemento de 0,5. Se obtuvieron cuatro categorías de mortero de cada bacteria según la mezcla y la solución de curado. En este estudio se utilizaron prismas de mortero de 160 mm × 40 mm × 40 mm. La resistencia a la flexión en todas las categorías de mortero se determinó a los días 14, 28 y 56 de curado. Los prismas de mezcla de mortero se realizaron de acuerdo con la norma KS AS 18-1:2017 (33). Las pruebas de resistencia a la flexión se llevaron a cabo de acuerdo con la norma ASTM C293: 1990 [35]. Teniendo como resultado lo siguiente: Los morteros preparados y curados con solución bacteriana en todas las edades de curado exhibieron la mayor resistencia a la flexión, así como el mayor porcentaje de ganancia de resistencia a la flexión. Los morteros de *Lysinibacillus sphaericus* en todas las categorías de morteros mostraron una mayor resistencia a la flexión y un porcentaje mayor de aumento de la resistencia a la flexión que los morteros de *Bacillus megaterium*. El mayor porcentaje de aumento de resistencia a la flexión de 33,3 % y 37,0 % se exhibió en los días 28 y 56 de curado, respectivamente.

(Venkata Siva Rama Prasad, 2020) Los autores tuvieron el objetivo de analizar la influencia de las bacterias en la resistencia a la compresión del hormigón. Realizaron un diseño de mezcla para un hormigón de 40 MPa, así mismo añadieron a la mezcla solución bacteriana en distintos porcentajes del 5%, 10% y 15%. Elaboraron muestras cúbicas de 150mm con bacterias con una concentración de 10^5 células/ml, para someterlas a ensayos de resistencia a la compresión según las especificaciones IS: 516-1959 (estándar indio) y fueron curados a los 3, 7, 28 y 90. Observaron que la muestra CBC10 (muestra bacteriana con 10% de solución bacteriana) alcanzó una resistencia a la compresión de 54.86 MPa superando en 14.86 MPa a la resistencia de diseño.

(Hosseini Balam & Mostofinejad, 2017) Los autores determinaron la influencia de la bacteria *Sporosarcina pasteurii* (*S. pasteurii*) en la resistencia a la compresión y el % de absorción de agua, mediante la elaboración de un hormigón bacteriano con una concentración de 10^6 células/ml. Diseñaron las mezclas para la obtención de resistencia de diseño de 25 MPa a los 28 días de curado. Utilizaron agregados livianos finos y gruesos, cemento portland y un aditivo superplastificante. La muestra YY-UC (muestra con bacterias y agregados pretratados) es la que obtuvo mayor resistencia a la compresión con respecto al concreto patrón NN-WC, presentando un incremento de 5.18 MPa a la resistencia a la compresión de la muestra patrón NN-WC el cual representa un incremento del 17.45 % a los 28 días de curado en medio Urea- CaCl_2 . Observaron que la muestra YY-UC fue la que presentó mayor resistencia a la penetración del agua, con una disminución significativa del 66.32% de absorción de agua a los 28 días y a los 90 días 77.83% con respecto a la muestra patrón.

(Nain, Surabhi, Yathish, Krishnamurthy, & Deepa, 2019) Los autores diseñaron las mezclas para un hormigón de 30MPa según IS 10262-2009 (estándar indio). Elaboraron muestras cúbicas de 150 mm con (concentración bacteriana de 10^8 células/ml) y sin bacterianas según IS 516-1959 (estándar indio). Así mismo añadieron caldo nutritivo en el agua de diseño (13 g de caldo nutritivo por cada 1000 ml de agua), para los hormigones bacterianos. Desmoldaron a las 24 h de

colocado y curaron en agua durante 28 días. La muestra de hormigón bacteriano denominada B. Subtilis a los 7 días de curado, presentó mayor resistencia a la compresión de 10.12 MPa con respecto a la muestra convencional, que representa un 46.4%. A los 28 días de curado se observa que la muestra B. Subtilis, obtuvo mayor resistencia a la compresión de 5.47 MPa el cual representa un 14.36%.

(Ameri, Shoaie, Bahrami, & Vaezi, 2019) Los autores buscaron determinar la influencia de las bacterias bacillus subtilis en la absorción de agua del hormigón. Emplearon bacillus pasteurii aisladas del suelo de la rizosfera y del suelo alcalino, añadieron células bacterianas al agua de diseño de la mezcla en diferentes concentraciones bacterianas de 10^3 , 10^5 , y 10^7 células/ml, B1R15, B2R15 y B3R15 utilizaron un contenido óptimo de RHA del 15 %. Realizaron la prueba de absorción de agua según la norma ASTM C 642-97, determinaron el aumento de la resistencia a la penetración del agua en el hormigón a los 7, 28 y 91 días. De acuerdo a los resultados obtenidos la muestra con una disminución significativa de absorción de agua a los 28 días fue B3R15 (hormigón elaborado con 10^7 células/ml) hasta del 77.08% con respecto al concreto patrón y a los 91 días del 88.37 % con respecto a la muestra patrón.

(Salmasi, 2020) Los autores buscaron determinar la influencia de las bacterias bacillus subtilis en la absorción de agua del hormigón. Emplearon cepas de bacterias bacillus subtilis, para cultivarlas y obtener la concentración requerida para la presente investigación de 10^7 células/ml. Realizaron la prueba de absorción de agua de acuerdo con la norma ASTM C 642, utilizando especímenes cilíndricos de 28, 90 y 150 días de 100 mm de diámetro y 200 mm de altura. Elaboraron un diseño de mezcla inicial de acuerdo con ACI 211.2-98. Con un a/c de 0,35, las muestras se diseñaron para alcanzar una resistencia a la compresión de al menos 40 MPa. Añadieron superplastificante a base de policarboxilato a una dosis de 0.25% del peso de cemento sin fibras de acero y 0.3% las que contenían acero. La muestra bs-aw (muestra bacteriana sin fibra de acero) presentó una disminución del 29.25 % de absorción de agua en

comparación a la muestra de control. La muestra bs-awf aw (muestra bacteriana con fibra de acero) presentó una disminución del 37.80 % de absorción de agua en comparación a la muestra de control. En conclusión, la muestra curada en agua bs-awf, presentó mayor resistencia a la penetración de agua. , La muestra bs-ac disminuye en 40.5% la absorción de agua con respecto a la muestra patrón a los 28 días. El hormigón bacteriano sin fibra de acero bs-aw curada en Urea-CaCl₂ es la que presenta mayor resistencia a la penetración del agua.

(Mohammad Mirshahmohammad & Bahari, 2022) Los autores estudiaron la influencia de las bacterias del género bacillus en la absorción del hormigón. Emplearon *Esporosarcina pasteurii* en una concentración de 10⁷ células/ml. Realizaron la prueba de absorción de agua según la norma ASTM C 642-97, elaboraron muestras cúbicas, que fueron curadas a los 7,28 días. De acuerdo a los resultados obtenidos observaron que la muestra C1 es la que presenta mayor resistencia a la penetración del agua, en comparación con la muestra M (muestra sin bacterias) de 22.04 % a los 28 días.

2.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

El desarrollo de la presente investigación se llevó a cabo mediante la revisión bibliográfica de artículos científicos desarrolladas entre los años 2017-2022. Se seleccionaron como referencia bibliográfica 30 artículos internacionales cuyo objetivo era el estudio del efecto de los agentes bacterianos en las propiedades mecánicas del concreto y el sellado de las fisuras del hormigón, mediante la inmersión de estas a la mezcla junto al agua de diseño. Cada investigación empleó una dosificación distinta y emplearon aditivos como superplastificantes y soluciones bacterianas. Midieron el efecto de las bacterias en las propiedades mecánicas y el sellado de fisuras (precipitación microbiana inducida de calcita), mediante los ensayos a compresión, análisis SEM y XRD (análisis para medir la cantidad y tipos de cristales de calcita precipitada y la morfología de estas) a edades de 7,14,28,90 y 150 días. Los resultados de los autores fueron analizados y graficados, con los cuales se contrastó las hipótesis y se llegó a conclusiones.

2.4 Definición de términos básicos

Cemento

Según la norma ASTM C-150, el cemento Pórtland es definido como el producto obtenido de la pulverización muy fina del Clinker, el cual está constituido esencialmente de silicato de calcio hidráulico, posteriormente a la calcinación se le adiciona agua y sulfato de calcio (yeso). La norma ASTM C-150 clasifica el cemento Pórtland en cinco diferentes tipos de acuerdo a las propiedades de los cuatro compuestos principales: Tipo I, Tipo II, Tipo III, Tipo IV, Tipo V.

El cemento es el ligante hidráulico (hidráulico = que reacciona al combinarse con el agua) que se utiliza para producir el hormigón. La pasta de cemento (cemento mezclado con agua) fragua y se endurece por hidratación, tanto al aire como bajo el agua. Los principales materiales de base, por ejemplo, para el cemento Portland, son la piedra caliza, la marga y la arcilla, que se mezclan en proporciones definidas. Esta mezcla cruda se quema a unos 1.450°C para formar el Clinker, que luego se moltura hasta alcanzar la conocida finura del cemento. (Ing. HTL Jürg Schlumpf, 2020, pág. 25)

Hormigón

Según la Norma 060 este es la mezcla de cemento Portland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos.

Propiedades físicas del concreto

Es el estado final del concreto donde desarrolla la capacidad de soportar grandes esfuerzos de compresión.

- Resistencia a la compresión.
- Resistencia a la flexión.
- Durabilidad.

Áridos

El árido para hormigón, que consiste en arena y áridos gruesos, representa el esqueleto de granular del hormigón. Todas las cavidades dentro de este esqueleto deben rellenarse con pasta conglomerante lo más completa posible. Los áridos de hormigón suman aproximadamente el 80% del peso del hormigón y el 70% del volumen del hormigón. El uso óptimo del tamaño y la calidad de la árida mejora la calidad del hormigón. Los áridos pueden ser de origen natural (fluvial o glacial) o producidos industrialmente como áridos ligeros o áridos reciclados. Para el hormigón de alta calidad, se limpian y clasifican en instalaciones industriales mediante procesos mecánicos como trituración, lavado, cribado y mezcla. Los áridos para hormigón deben tener una unión fuerte con la pasta de cemento endurecida, no deben interferir con el endurecimiento del cemento y no deben tener un efecto negativo en la durabilidad del hormigón. (Ing. HTL Jürg Schlumpf, 2020, pág. 29)

Hormigón reforzado con fibras

Existen diferentes fibras para diferentes hormigones en función del rendimiento requerido. Los dos tipos principales de fibras son las micro y macro fibras, definidas por su diámetro según las Normas Europeas. Las microfibras sintéticas se utilizan generalmente para reducir el descascaramiento a altas temperaturas y la reducción de fisuras. Las fibras macro sintéticas o de acero más gruesas se utilizan generalmente para aumentar el desempeño mecánico del hormigón endurecido. (Ing. HTL Jürg Schlumpf, 2020, pág. 49).

Biom mineralización

Bajo el método de precipitación de calcita inducida microbiológicamente (PCIM) permite la formación de minerales de carbonato de calcio (CaCO_3), producto de la actividad metabólica de cepas microbianas de *S. Pasteurii* aislada de suelos agrícolas. (Agustín, 2019, pág. 2)

Las biom mineralizaciones de calcio son comunes y ampliamente distribuidas en el planeta, y son el resultado de procesos metabólicos esenciales de microorganismos (Osterrieth, y otros, 2019, pág. 1) .Se considera que para el análisis de las características

morfológicas y mineral o químicas completas de las biomineralizaciones analizadas, se requiere de escalas crecientes de detalle, desde megascópica a submicroscópica. En particular la observación con microscopia electrónica de barrido y análisis semicuantitativo de sus composiciones elementales, son necesarias. (Osterrieth, y otros, 2019, pág. 3)

Fisuras en el concreto

Taira, J. (2004). Las grietas y fisuras son roturas que aparecen en el concreto como consecuencia de tensiones superiores a su capacidad resistente.

Fisuras originadas en el estado endurecido

Fisuras originadas por movimientos espontáneos: una vez que el concreto ha fraguado, se inicia la etapa del endurecimiento, el hormigón fresco pasa de un estado fluido a un estado plástico adquiriendo con la hidratación, las propiedades de un sólido rígido. En los primeros días se presenta muy baja resistencia principalmente a tensión y por lo tanto es susceptible de agrietarse. En esta etapa, los cambios de volumen están definidos por incrementos o decrementos causados por dilataciones y contracciones debidos a la temperatura y la humedad. Dentro de ella se encuentra la contracción por secado, las contracciones-dilataciones por temperatura, la contracción por carbonatación y la reacción expansiva álcalis agregado, se muestran las causas principales para su formación:

- ✓ Retracción hidráulica (contracción por secado).
 - ✓ Contracción por carbonatación.
 - ✓ Retracción térmica. Entumecimientos por dilatación térmica.
 - ✓ Entumecimientos por oxidación del acero de refuerzo.
 - ✓ Entumecimientos por exceso de expansivos del cemento.
 - ✓ Reacción álcalis-agregados.
- Fisuras producidas por cargas que originan esfuerzos: las fisuras producidas por cargas que originan esfuerzos difieren del resto porque tienen mayor profundidad y aparecen de forma típica, razón por lo cual es necesario comprobar sus dimensiones y progresión para establecer si constituyen un verdadero problema estructural. 102 si consideramos una

pieza prismática de hormigón, cada una de sus secciones está sometida o a una sollicitación compuesta por varios esfuerzos. Cada uno de estos esfuerzos simples de destaca por un tipo de figuración diferente, se muestran las causas principales para su formación:

- ✓ Compresión.
- ✓ Tracción.
- ✓ Flexión.
- ✓ Cortante.
- ✓ Torsión.

Bacillus

El género *Bacillus* fue reportado por primera vez por Cohn (1872), quien lo describió como bacterias productoras de endosporas resistentes al calor. Las especies de *Bacillus* pertenecen al Reino Bacteria; Filo Firmicutes; Clase Bacilli; Orden Bacillales y Familia Bacillaceae (Maughan y van der Auwera, 2011). Actualmente, el género incluye más de 336 especies. En una etapa temprana de la clasificación de las especies del género *Bacillus* se tienen en cuenta dos características fundamentales: el crecimiento aerobio, la respuesta positiva a la tinción de Gram, la forma bacilar y la formación de endospora. Esto hace que exista una gran cantidad de especies de este género ocupando una gran variedad de hábitats. (Berto Tejera Hernández, 2011, pág. 3). Las bacterias del género *Bacillus* son microorganismos identificados como agentes de control biológico que forman una estructura de resistencia denominada endospora, que les permite sobrevivir en ambientes hostiles (Pedraza & Vélez, 2018, pág. 1). (Rocío, 2020, pág. 1) en su investigación concluyó que, existen cepas ambientales de *Bacillus* alcalófilos cuyas actividades enzimáticas óptimas ocurren en el rango de pH 7.5 – 11 y temperatura de 28 a 50°C. Las especies de *Bacillus* se encuentran ampliamente distribuidas a nivel mundial debido a su habilidad para formar endosporas, característica que les confiere resistencia y potencia su aislamiento en diversos hábitats, tanto ecosistemas acuáticos como terrestres, e incluso en ambientes bajo condiciones extremas. (Berto Tejera Hernández, 2011, pág. 3). La presencia de endosporas bacterianas constituye una estructura de resistencia que puede permanecer viable durante una gran cantidad de tiempo hasta que las condiciones se tornen favorables para el desarrollo. (Berto Tejera Hernández, 2011, pág. 3). (Peterson et al.,

2001) también se adaptan a cambios bruscos de temperatura, para esto cuentan con genes de shock térmico inducibles que incluyen proteínas chaperonas y proteasas.

2.5 Fundamentos teóricos que sustentan la hipótesis

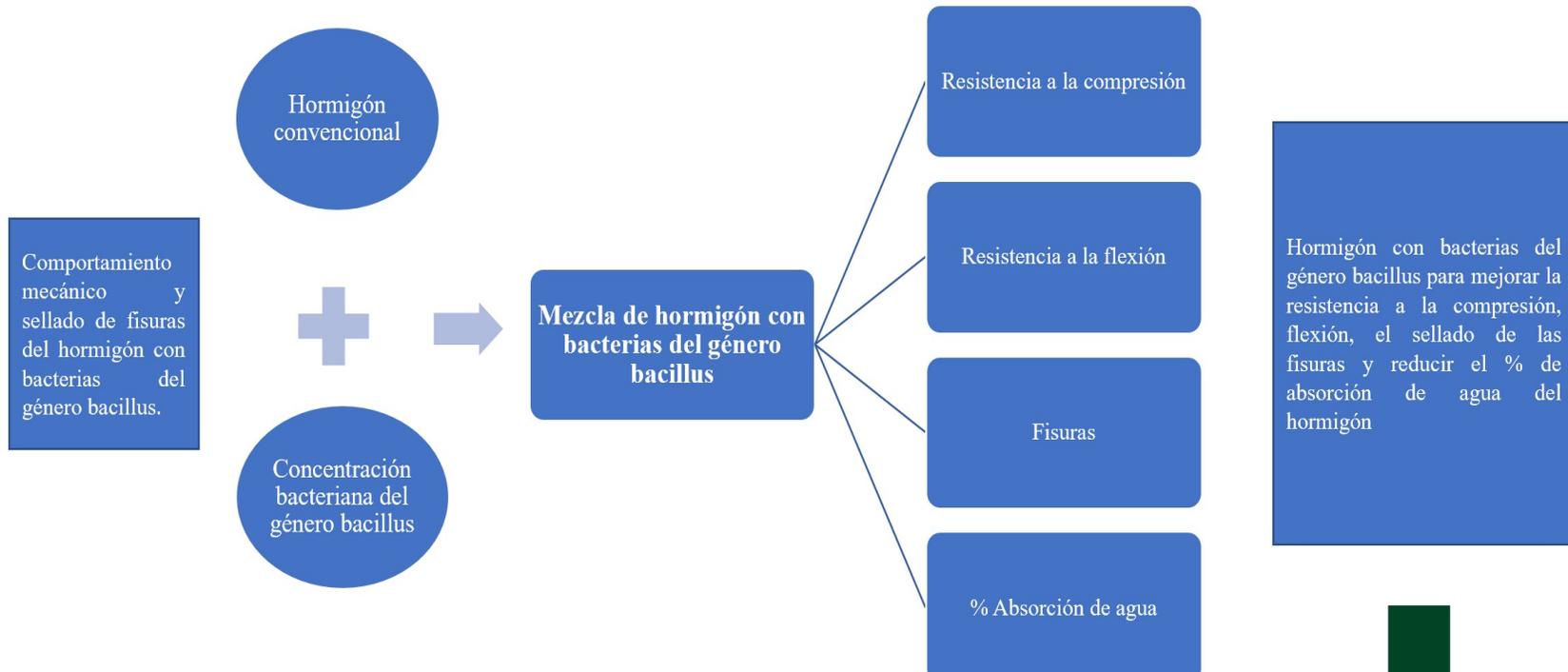


Figura N 15 :Fundamento teórico

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 3: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1 Hipótesis de la investigación

3.1.1 Hipótesis general

Al determinar el diseño de mezcla de hormigón con bacterias del género bacillus mejora las propiedades mecánicas y el sellado de las fisuras del hormigón.

3.1.2 Hipótesis específicas

- a. Al determinar la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus aumenta la resistencia a la compresión del hormigón.
- b. Al determinar la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus aumenta la resistencia a la flexión del hormigón.
- c. Al determinar la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus se reducen las fisuras del hormigón.
- d. Al determinar la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus se reduce la absorción del hormigón.

3.2 Variables

3.1.3 Definición de variables

Variable independiente: “Es la variable que produce el efecto o es la causa de la variable dependiente”. (Borja, 2012, p.23)

- VI. Diseño de mezcla de hormigón con bacterias del género bacillus.

Variable dependiente: “Es el resultado o efecto producido por la acción de la variable independiente.” (Borja, 2012, p.23)

- VD. Propiedades mecánicas y sellado de las fisuras del hormigón.

3.1.4 Operacionalización de variables

“Es el proceso mediante el cual se explica cómo se medirán las variables formuladas en la hipótesis, para lo cual en muchos casos habrá que

descomponerlas en indicadores susceptibles a poder medirse”. (Borja, 2012, p.24)

3.1.5 Matriz operacional de variables

Tabla N° 1
Operacionalización de variables

Variab	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Índices	Unidad de medida	Herramienta
V.i. Diseño de mezclas de hormigón con bacterias del género bacillus	El concreto es una mezcla de cemento, agregado grueso o piedra, agregado fino o arena y agua. El cemento, el agua y la arena constituyen el mortero cuya función es unir las diversas partículas de agregado grueso llenando los vacíos entre ellas. (Harrinson, 2002, pág. 11)	El hormigón bacteriano se elabora a partir de la adición de bacterias en la mezcla. Las bacterias mejoran las propiedades mecánicas y sella fisuras del hormigón. Estos cambios dependerán de la concentración bacteriana empleada. (Ascate M. M.-T., 2019, pág. 3)	Concreto + %de bacteria del género bascillus	Porcentaje de bacteria del género bascillus	Células/ml	Células/ml	Investigaciones nacionales e internacionales relacionadas al tema de estudio
Vd. Resistencia a la compresión y sellado de las fisuras del hormigón	La resistencia a la compresión del concreto es la carga máxima para una unidad de área soportada por una muestra antes de fallar por agrietamiento o rotura. (Castillo, pág. 91)	La resistencia a la compresión (f'c) se define como el promedio de la resistencia de, como mínimo, dos probetas tomadas de la misma muestra probadas a los 28 días. El procedimiento se describe en detalle en las normas ASTM-C-192M-95 y C-39-96. (Harrinson, 2002, pág. 21)	Fresco	Asentamiento	Manejabilidad colocarse Trabajabilidad	A/c tiempo slump	NTP 339.036 y ASTM C172. NTP 339.035 y ASTM C143. NTP 339.046 y ASTM C138- NTP 339.184 y ASTM C1064 ASTM C 231

Fuente: Elaboración propia.

Endurecido	Propiedades Mecánicas	Comprensión- flexión	Kg/cm ²	NPT 339.034 Y ASTM C39
------------	--------------------------	-------------------------	--------------------	---------------------------

CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA

4.1 Tipo y Nivel de Investigación

4.1.1 Tipo de la Investigación

El tipo de investigación será descriptiva, correlacional y explicativa, porque se determinará la influencia de las bacterias del género bacillus en las propiedades mecánicas, el sellado de fisuras del hormigón y la absorción de agua, mediante la recopilación y selección de información conformado por artículos científicos y tesis.

4.1.2 Nivel de la Investigación

La presente investigación será de nivel descriptivo ya que se especificará y describirá las características de la población o fenómeno en investigación para el análisis y observación del comportamiento de la variable dependiente en la realidad.

4.2 Método y Diseño de la Investigación

4.2.1 Método de la Investigación

El método de investigación será deductivo ya que realizará conclusiones a partir de las hipótesis planteadas en el presente estudio de investigación.

4.2.2 Diseño de la Investigación

El diseño de la investigación es del tipo prospectivo, ya que se evaluará los resultados de los ensayos realizados en el estudio bibliográfico en el capítulo II.

Tabla N° 2

Cuadro comparativo de tipología

Cuadro comparativo de tipología					
Análisis de la investigación	TESIS 1	TESIS 2	TESIS 3	TESIS 4	TESIS 5
Autor	Ormaeche, C. (2020)	Ruiz, A. y Valverde, E. (2020)	Núñez, L. (2021)	González, A., Et al. (2018)	Parraguez, A. (2018)
Título	Influencia de la bacteria <i>Sporosarcina Pasteurii</i> en la resistencia mecánica del concreto f'c 210 kg/cm ² , kg/cm ²	Incorporación de bacterias <i>Bacillus Subtilis</i> para mejorar la capacidad autorreparable del concreto F'c = 210 kg/cm ² , Lima – 2020	Evaluación de las propiedades del bioconcreto autorreparable con la bacteria <i>Bacillus Subtilis</i> , Lima - 2021	Hormigón autorreparable con bacterias para la infraestructura vial	Estudio sobre el rendimiento de bacterias como agente de auto reparación en el hormigón bajo diferentes condiciones de temperatura y tipo de cemento
Método de investigación	Deductivo				
Orientación de la investigación	Tecnológica	Tecnológica	Tecnológica	Aplicada	Tecnológica
Enfoque de la investigación	Cuantitativo				
Instrumento de recolección de datos	Retro lectiva				
Tipo de la Investigación	Descriptiva, explicativa correlacional	Descriptiva, explicativa correlacional	Descriptiva, explicativa	Descriptiva, explicativa	Descriptiva, explicativa correlacional
Nivel de la investigación	Descriptivo				
Diseño de la investigación	Experimental, Longitudinal	Prospectivo			
Estudio de diseño	Estudio de cohortes - Ensayo laboratorio				

Fuente: Elaboración propia

4.3 Universo, Población y Muestra

De acuerdo a Hernández R. (2014), Una vez que se tiene definida la unidad de análisis o de muestreo, se procede a delimitar la población sobre la cual se quiere generalizar los resultados. En esta investigación la población de estudio son las investigaciones recuperadas en el numeral del antecedente. Según Hernández R. (2014), Muestra Subgrupo del universo o población del cual se recolectan los datos y que debe ser representativo de ésta aleatoria).

Para la investigación la muestra es las distintas probetas de concreto bacteriano de distintas concentraciones, de variadas dimensiones que dependen de la normativa del país en el cual se llevó a cabo las investigaciones, los resultados y conclusiones de los estudios recopiladas son organizados y comparados en el numeral 4 y 5 para posteriormente, desarrollar las conclusiones y recomendaciones del presente estudio

En el presente estudio se toma como población las investigaciones recuperadas en el numeral de los antecedentes. Las muestras son las distintas probetas de concreto bacteriano de distintas concentraciones, de variadas dimensiones que dependen de la normativa del país en el cual se llevó a cabo las investigaciones, los resultados y conclusiones de los estudios recopilados son organizados y comparados en el numeral 4 y 5 para posteriormente, desarrollar las conclusiones y recomendaciones del presente estudio. Se comparan los datos obtenidos de los cultivos bacteriano-ejecutados por estudios que sí lo desarrollaron, así mismo los resultados de los ensayos a compresión, análisis SEM, análisis XRD. El estudio cuenta con 29 artículos científicos y de 3 tesis entre nacionales e internacionales. El total de investigaciones experimentales son 31, todas con el empleo de la bacteria del género bacillus y una investigación de tipo descriptiva.

4.4 Orientación de la Investigación.

La orientación de la tesis de investigación es aplicada, ya que se intentará resolver un problema generado en el concreto, que son las fisuras y como poder eliminar o reducir estos agrietamientos, como también el aumento de su resistencia a la compresión.

4.5 Enfoque de la Investigación.

La tesis de investigación es de enfoque cuantitativo, ya que los resultados se darán numéricamente, y estas representarán la cantidad del aumento de la resistencia del hormigón, el porcentaje de reducción de las fisuras y el porcentaje de absorción de agua con respecto a una muestra patrón.

4.6 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.

4.6.1 Técnica de Recolección de Datos.

La técnica para la recolección de datos fue el análisis documental, porque se revisó diversas fuentes bibliográficas artículos científicos, revistas indexadas, tesis, leyes y normas de RCD. Para los instrumentos de procesamiento de datos se usaron el programa de MICROSOFT EXCEL para realizar los cuadros de datos y para los formatos de cuantificación, y las normas NTP.

- NORMA 060 de concreto
- NTP 339.034:2015: Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas equivalente a la norma ASTM C39/C39M-18
- NTP 339.078:2012 (revisada el 2017): Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo equivalente a ASTM C1609/C1609M12.
- NTP 339.079:2012 (revisada el 2017) CONCRETO. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas en el centro del tramo. ASTM C293/C293M-16.
- Los ensayos de resistencia a la flexión están normados por la ASTM C78 y NTP 339.078 para la carga aplicada en dos puntos la ASTM C293 y NTP 339.079 para un solo punto.

- ASTM C 642-97, este método de prueba cubre las determinaciones de densidad, porcentaje de absorción y porcentaje de vacíos en concreto endurecido

El presente estudio es de tipo descriptivo en el cual se aplicaron las técnicas siguientes para la recolección de datos ;el análisis bibliográfico ,la observación no experimental y la organización de la información según fecha de publicación .Los instrumentos empleados para la selección de información bibliográfica confiable fueron los buscadores académicos de páginas como: Scielo,Redalcyt ,Escopus (Elseiver),Repositorio académico de la Universidad de Colombia y Repositorio Académico de la Universidad Pontificia Católica del Chile .Así mismo el software Excel y Word 2016,fueron instrumentos que cobraron relevancia al ser estos recolectores de las fuentes de información.

4.6.2 Instrumento de Recolección de Datos.

El instrumento de recolección de datos de la presente tesis es retro lectivo ya que se basa de información de tesis y artículos que realizaron sus ensayos en el laboratorio basándose de fichas técnicas y normas ya establecidas con las que obtuvieron los resultados de la resistencia a la compresión o el sellado de fisuras del concreto y el desarrollo sus conclusiones finales.

4.7 Estudio del Diseño de la Investigación.

El diseño de la investigación de cohortes, los investigadores observan la causa de la adición de las bacterias del género bacillus en el hormigón y determinan los efectos mediante ensayos destructivos y no destructivos.

4.8 Descripción de Procedimientos de Análisis.

El análisis de resultados del presente estudio se lleva a cabo mediante con la comparación de resultados extraídos de los artículos científicos y tesis citadas en el capítulo 2 .Se organizaron los resultados de cada estudio en hojas del software Excel para su posterior plasmado en el software Word 2016 .Se analiza las distintas cepas bacterianas del género bacillus por cada investigación las concentraciones bacterianas con las cuales se obtuvieron los mejores resultados en los ensayos a

compresión , la autorreparación de fisuras en concreto y la mejora de las propiedades físico- mecánicas del concreto como la absorción y la permeabilidad. Se analizan y comparan los medios de cultivo que sirven para la nutrición y conservación de las cepas bacterianas. Los resultados de los ensayos a compresión a los 7,14 y 28 días. Los resultados de los ensayos de absorción y permeabilidad de concentraciones bacterianas que mejoraron en mayor medida estas propiedades y los resultados de los ensayos XRD y observaciones físicas microscópicas que ayudaron a determinar las características y cantidad del material precipitado clasificándolas en distintas derivaciones del CaCO_3 .

CAPÍTULO 5: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se presenta los resultados del análisis comparativo de las distintas investigaciones enfocadas en la influencia de las bacterias del género bacillus en la resistencia a la compresión, flexión, permeabilidad y el sellado de las fisuras del hormigón. Este análisis abarca estudios de investigación experimental seleccionadas entre tesis y artículos internacionales.

5.1 Análisis e interpretación de resultados

5.1.1 Determinar la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus para aumentar la resistencia a la compresión del hormigón

Autores: Venkata Siva Rama Prasad, C. & Vara Lakshmi, TVS

Artículo 1: *“Experimental investigation on bacterial concrete strength with Bacillus subtilis and crushed stone dust aggregate based on ultrasonic pulse velocity”*

Concentración bacteriana

Mantuvieron los microorganismos Bacillus subtilis en agar nutritivo constantemente, en el cual se formaron colonias blancas desiguales. Para la obtención de una colonia solitaria del cultivo, inmunizaron en caldo nutritivo de 25 ml en matraz cónico de 100 ml a una temperatura de 37 °C y agitado a 125 rpm. Para el crecimiento bacteriano emplearon 5 g/lit de peptona: 5 g/lit de NaCl, 3 g/lit de extracto de levadura. Obtuvieron una concentración bacteriana de 10⁵ células/ml. (Venkata Siva Rama Prasad, 2020, pág. 3)

Dosificación de la mezcla

Elaboraron un diseño de mezcla para un hormigón de 40 MPa. Elaboraron muestras cúbicas de 150mm. para someterlas a prueba de compresión según las especificaciones IS: 516-1959 (estándar indio) y fueron curados a los 3, 7, 28 y 90.

Tabla N° 3 Proporciones de mezcla del hormigón

Mezcla No.	CBC00	CBC05	CBC10	CBC15
Cemento (kg/m ³)	390	390	390	390
(kg/m ³) Piedra triturada	642	642	642	642
(kg/m ³) Agregado grueso (kg/m ³)	1261	1261		
relación a/c	0,45	0,45	0,45	0,45
Células bacterianas (células/ml)	10 ⁵	10 ⁵	10 ⁵	10 ⁵
Porcentaje de solución bacteriana	0	5	10	15

Fuente: “Experimental investigation on bacterial concrete strength with Bacillus subtilis and crushed stone dust aggregate based on ultrasonic pulse velocity” (Venkata Siva Rama Prasad, 2020, pág. 4)

Añadieron a la mezcla solución bacteriana en distintos porcentajes como lo muestra la tabla en un 5%,10% y 15%.

Resultados de ensayos de la resistencia a la compresión F'c (MPa)

Tabla N° 4 Resultados de los ensayos a compresión (MPa)

MEZCLA	Resistencia a la compresión (MPa)			
	3 días	7 días	28 días	90 días
CBC00	32.82	36.26	48.12	55.21
CBC05	36.74	41.64	51.46	60.18
CBC10	38.64	42.84	54.86	63.44
CBC15	34.42	36.86	49.22	56.92

Fuente: “Experimental investigation on bacterial concrete strength with Bacillus subtilis and crushed stone dust aggregate based on ultrasonic pulse velocity” (Venkata Siva Rama Prasad, 2020, pág. 4) .

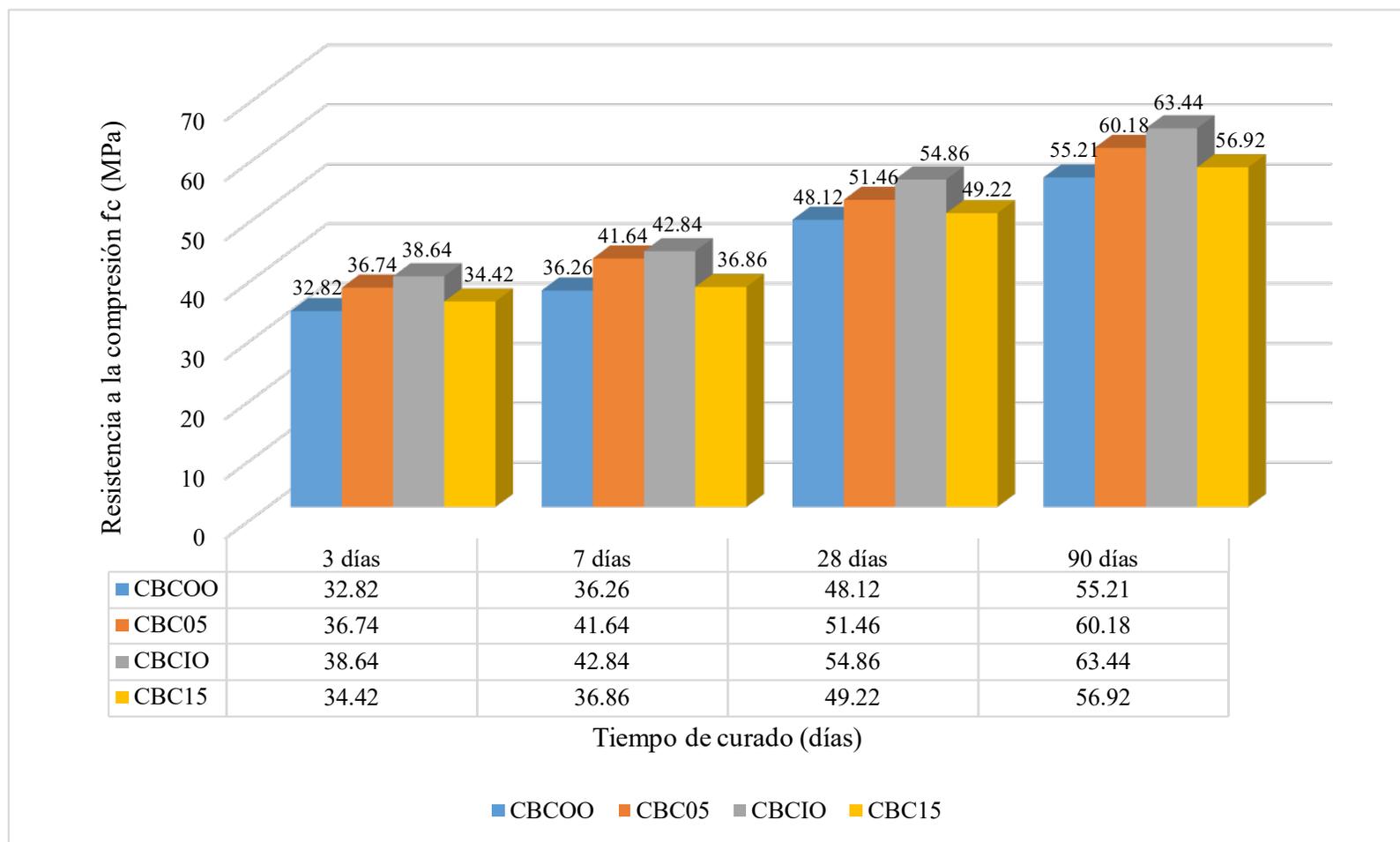


Figura N 16 : Gráfico de resultados de ensayo a compresión de hormigón bacteriano con diferentes porcentajes de solución bacteriana a los 3,7,28 y 90 días.

Fuente: “Experimental investigation on bacterial concrete strength with Bacillus subtilis and crushed stone dust aggregate based on ultrasonic pulse velocity” (Venkata Siva Rama Prasad, 2020, pág. 4)

Autores: Ameri, Farshad; Shoaee, Parham; Bahrami, Nasrollah; Vaezi, Mohammadsadegh & Ozbakkaloglu, Togay

Artículo 18: *"Effects of bacterial remediation on compressive strength, water absorption, and chloride permeability of lightweight aggregate concrete"*

Concentraciòn bacteriana

Emplearon *Sporosarcina pasteurii* (*S. pasteurii*), para la activaciòn de calcita bacteriana. Con el fin de obtener una concentraciòn bacteriana de 10^6 cèlulas/ml, emplearon 8g de caldo de nutritivo-urea. El cultivo se incubó a 37° C con agitación a 150 rpm durante 48 h. Posteriormente, las células bacterianas se recolectaron por centrifugaciòn a 6000 rpm durante 10 min. Las células cultivadas de 48 h de edad finalmente se lavan dos veces en la soluciòn salina. (Hosseini Balam & Mostofinejad, 2017, pág. 2).

Contenido de mezcla

Diseñaron las mezclas para la obtenciòn de resistencia de 25 MPa a los 28 días de curado. Emplearon agregados livianos finos y gruesos, cemento portland y un aditivo superplastificante. Fueron diseñadas segùn ACI 211.2. Para los fines de este estudio, los agregados dejaron en remojo en una soluciòn de urea- CaCl_2 que contuvo bacterias durante 6 días para investigar la mejora biològica de la calidad de los agregados.

Tabla N° 5 Materiales para la mezcla de hormigòn de materiales ligeros

Material	Masa (kg/m ³)
Leca (LWA grueso)	456
Leca (LWA fino)	152
Arena Fina (NWA)	527
Cemento	405
Agua	160
Superplastificante	0.05

Fuente: "Effects of bacterial remediation on compressive strength, water absorption, and chloride permeability of lightweight aggregate concrete" (Hosseini Balam & Mostofinejad, 2017, pág. 3).

Especímenes

A;denota si el agregado fue pretratado en suspensión bacteriana.La letra Y ,indica si el agregado fue tratado y la letra N ,indica lo contrario.B; indica el uso de bacterias en el agua de mezcla ,se denota con la letra Y y de lo contrario con la letra N.C;representa el enterno de curado que incluía solo agua (W) O CaCl₂ (U). D se refiere a la forma de la muestra que podría ser un disco (indicado por D) o un cubo C.

AB-CD-i

Tabla N° 6 Especificaciones de los especímenes

Prueba	Dimensiones de la muestra	Condición de curado	Tiempo de curado (días)			
			14	28	90	150
Resistencia a la compresión	Cubo 70 mm	Urea-CaCl ₂	YY-UC-0	AA-UC-1	YY-UC-2	YY-UC-3
		Urea-CaCl ₂	NY-UC-0	NY-UC-1	NY-UC-2	NY-UC-3
		Urea-CaCl ₂	NN-UC-0	NN-UC-1	NN-UC-2	NN-UC-3
		Agua	NN-WC-0	NN-WC-1	NN-WC-2	NN-WC-3

Fuente: “Effects of bacterial remediation on compressive strength, water absorption, and chloride permeability of lightweight aggregate concrete “ (Hosseini Balam & Mostofinejad, 2017, pág. 4).

Resultados

Tabla N° 7

Resultados de ensayo de resistencia a la compresión

Grupo de muestras	Condición de curado	Resistencia a la Compresión en MPa			
		14	28	90	150
NN-WC	Agua	24.88	29.68	32.95	33.23
YY-UC	Urea-CaCl ₂	31.06	34.86	40.05	42
NY-UC	Urea-CaCl ₂	30.98	34.59	39.89	40.17
NN-UC	Urea-CaCl ₂	34.53	24.7	24.29	23.91

Fuente: “Effects of bacterial remediation on compressive strength, water absorption, and chloride permeability of lightweight aggregate concrete “ (Hosseini Balam & Mostofinejad, 2017, pág. 6).

Resultados de ensayos de la resistencia a la compresión f_c (MPa)

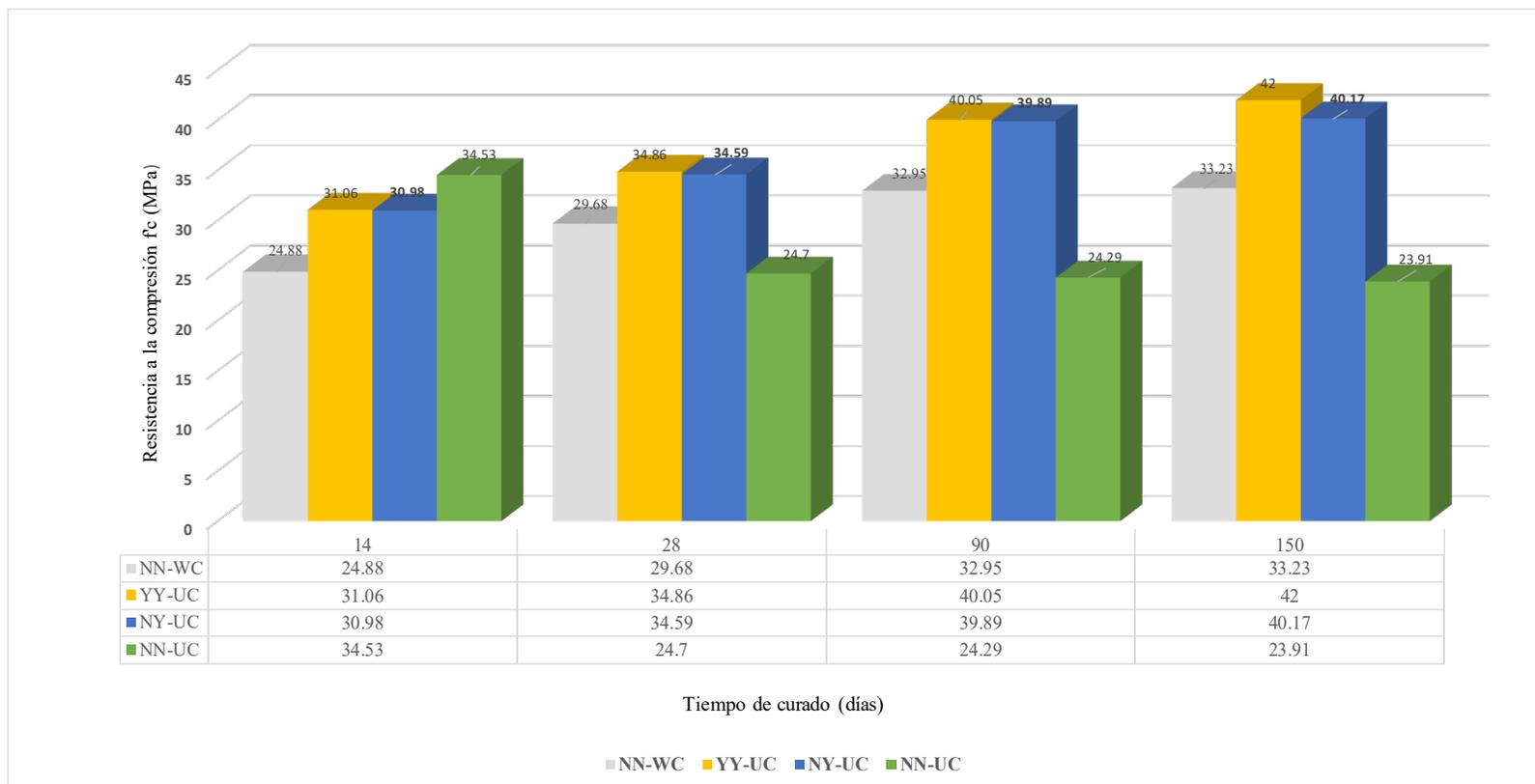


Figura N 17 : Resultados de los ensayos a compresión de muestras curadas con agua y Urea- CaCl_2 a los 14,28,90 y 150 días.

Fuente: “Effects of bacterial remediation on compressive strength, water absorption, and chloride permeability of lightweight aggregate concrete “ (Hosseini Balam & Mostofinejad, 2017, pág. 6).

Autores: Salmasi, Farnaz & Mostofinejad, Davood

Artículo 10: *“Investigating the effects of bacterial activity on compressive strength and durability of natural lightweight aggregate concrete reinforced with steel fibers”*

Concentraciòn bacteriana

Emplearon cepas de bacterias bacillus subtilis, para cultivarlas y obtener la concentraciòn requerida para la presente investigaciòn de 10^7 células/ml. Cada 13 gr de caldo nutritivo estaba compuesto por: 1gr de extracto de carne, 2 gr de extracto de levadura, 5 gr de peptona y 5 gr de NaCl, con un pH de 7. Esterilizaron todo el equipo empleado y el medio de cultivo en autoclave a una temperatura de $121\text{ }^\circ\text{C}$ durante 20 min. Activaron la cepa bacteriana y se inoculó en el medio de cultivo. Luego, el medio líquido que contenía bacterias se transfirió a una incubadora que funcionaba a 115 rpm, donde se mantuvo a $30\text{ }^\circ\text{C}$ durante 24 h para crecer. Todas las etapas de cultivo se realizaron en condiciones estériles. Después del crecimiento bacteriano, los medios de cultivo se colocaron en una centrífuga a 6000 rpm durante 10 min para separar las bacterias del medio líquido. Luego, los cultivos se incubaron a $30\text{ }^\circ\text{C}$ en una incubadora con agitador que funcionaba a 130 rpm durante 72 h antes de recolectar las células bacterianas de los cultivos de 72 h de edad mediante centrifugaciòn a 5000 rpm durante 10 min y se lavaron dos veces en una soluciòn salina NaCl, 8,5 g/L). Además, algunos de los medios de cultivo previamente inoculados se mantuvieron a $40\text{ }^\circ\text{C}$ durante 3 semanas para crear las condiciones para que las bacterias formaran esporas. Durante este período se evaluó la turbidez de los medios de cultivo para asegurar la concentraciòn de células bacterianas. (Salmasi, 2020, pág. 3)

Contenido de mezcla

Elaboraron un diseño de mezcla inicial de acuerdo con ACI 211.2–98. Emplearon cemento ordinario Tipo 1 para la construcciòn de LWAC. La mezcla final de concreto se determinó por ensayo y error. Con un a/c de 0,35, las

muestras se colaron para alcanzar una resistencia a la compresión de al menos 40 MPa. Añadieron superplastificante a base de policarboxilato a una dosis de 0.25% del peso de cemento sin fibras de acero y 0.3% las que contenían acero.

Tabla N° 8

Proporciones de mezcla de los diseños de mezcla de hormigón

Material	Masa (kg/m ³)
Cemento	450
Grava	393
Arena	575
Agua	160
fibra de acero	78.5
superplastificante	0,25–0,30 (%)

Fuente: “Investigating the effects of bacterial activity on compressive strength and durability of natural lightweight aggregate concrete reinforced with steel fibers” (Salmasi, 2020, pág. 4).

Tabla N° 9

características de la fibra utilizada

Características	Cantidad
Densidad (kg/m ³)	785
Longitud (mm)	36
Resistencia a la tracción (MPa)	1000–1800
Absorción de agua (%)	0

Fuente : “Investigating the effects of bacterial activity on compressive strength and durability of natural lightweight aggregate concrete reinforced with steel fibers” (Salmasi, 2020, pág. 3).

Especímenes

El sistema de nombres involucra un 'cs' inicial, 'bs' o 'sp' que significa 'Control Espécimen', 'B. subtilis' o 'esporas' bacterianas, respectivamente. Esto es seguido por las iniciales de la prueba a la que se someten los especímenes. La tercera parte de la designación incluye las iniciales del ambiente de curado (es decir, w representa agua, c para solución de urea lactato de calcio y n para caldo nutritivo). Finalmente, la designación de algunos especímenes termina en la letra 'f' que representa la fibra de acero.

Tabla N° 10

Especificaciones y etiquetas de los especímenes

Prueba	Dimensión de la muestra	Entorno de curado	Etiqueta de Especímenes
Resistencia a la compresión	Diámetro de 100 mm y 200 mm de altura	Agua	cs-aw
			cs-awf
			bs-aw
			bs-awf
		Urea-lactato de calcio	cs-a-c
			cs-a-c-f
			bs-a-c
			bs-a-c-f

Fuente : “Investigating the effects of bacterial activity on compressive strength and durability of natural lightweight aggregate concrete reinforced with steel fibers” (Salmasi, 2020, pág. 5).

Re sultados de ensayo de la resistencia a la compresión

Tabla N° 11

Resultados de los ensayos de la resistencia a la compresión

Entorno de curado	Etiqueta de muestra	Tiempo de curado (días)		
		28	90	150
Agua	cs-aw	44.31	47.1	49.83
	cs-awf	48.44	50.91	52.53
	bs-aw	41.92	43.63	45.81
	bs-awf	42.86	45.17	46.76
Urea-lactato de calcio	cs-a-c	43.56	46.21	48.89
	cs-a-c-f	46.83	48.15	51.26
	bs-a-c	40.25	42.76	44.91
	bs-a-c-f	42.96	46.35	47.1

Fuente : “Investigating the effects of bacterial activity on compressive strength and durability of natural lightweight aggregate concrete reinforced with steel fibers” (Salmasi, 2020, pág. 7).

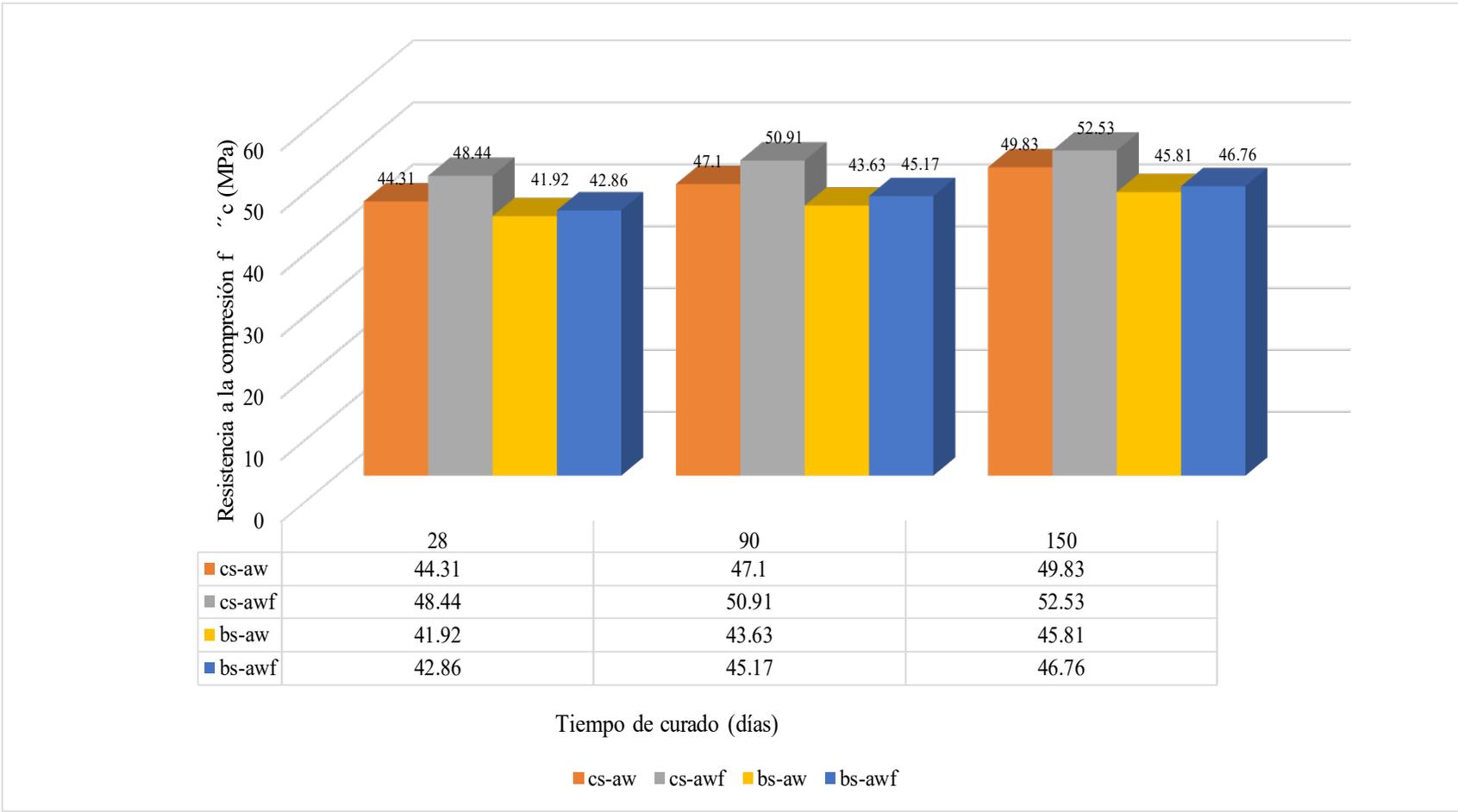


Figura N 18 :Gráfico de los ensayos de resistencia a la compresión de muestras con bacterias con y sin fibras y muestras sin bacterias con y sin fibras curadas en agua ac los 28,90 y 150 días.

Fuente : “Investigating the effects of bacterial activity on compressive strength and durability of natural lightweight aggregate concrete reinforced with steel fibers” (Salmasi, 2020, pág. 7).

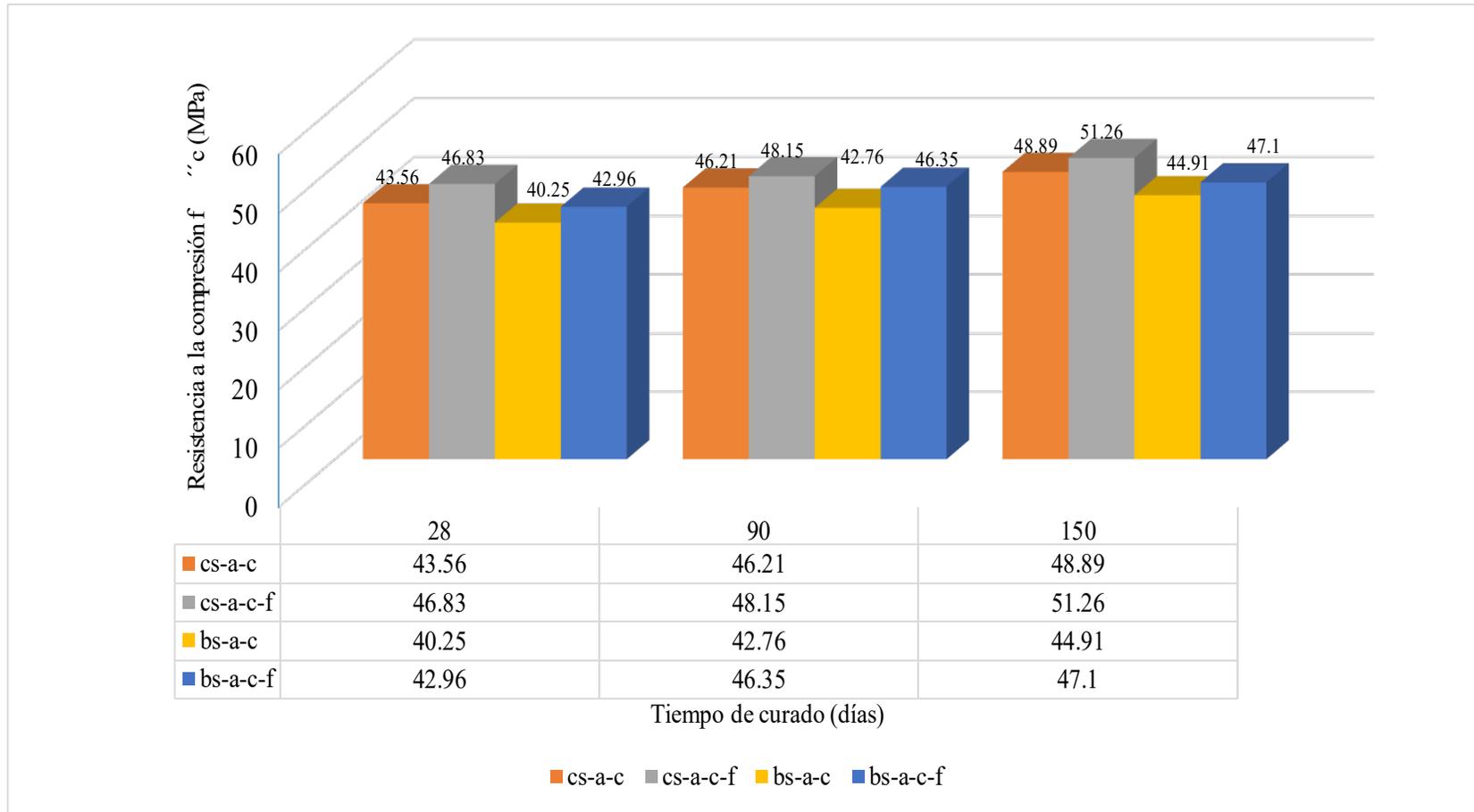


Figura N 19 :Gráfico de los ensayos de resistencia a la compresión de muestras con bacterias con y sin fibras y muestras sin bacterias con y sin fibras curadas en Urea-Lactato de Calcio a los 28,90 y 150 días.

Fuente : “Investigating the effects of bacterial activity on compressive strength and durability of natural lightweight aggregate concrete reinforced with steel fibers” (Salmasi, 2020, pág. 7).

**Autores: Nain, Nidhi; Surabhi, R.; Yathish, N.V.; Krishnamurthy, V;
Deepa, T. & Tharannum, Seema**

Artículo 7: *“Enhancement in strength parameters of concrete by application of Bacillus bacteria”*

Concentraciòn bacteriana

Emplearon cepas de bacterias bacillus subtilis y Bacillus megaterium para su cultivo con la finalidad de obtener una concentraciòn bacteriana de 10^8 células/ml. Esterilizaron toda la cristalería e instrumentaciòn empleada para el cultivo de las bacterias. Prepararon medio de cultivo compuesto por; peptona 5g/l, NaCl 5g/extracto de levadura y 2 g/extracto de carne 1gr/l. Previo al cultivo de las bacterias, realizaron un subcultivo conformado por las bacterias Bacillus subtilis preparados en medio agar nutritivo en placa Petri en el cual formaron colonias irregulares de color blanco seco. Transfirieron unas pocas colonias de bacterias al medio de cultivo preparado en un matraz cónico como parte de la inoculaciòn. Luego, este medio inoculado se mantiene para incubar a una temperatura de 37 °C que consiste en un agitador orbital de 150 rpm durante la noche y luego se realizò una prueba de densidad óptica para determinar la concentraciòn. (Nain, Surabhi, Yathish, Krishnamurthy, & Deepa, 2019, pág. 2)

Contenido de mezcla

Diseñaron las mezclas para un hormigòn de 30MPa segùn IS 10262-2009 (estándar indio). Elaboraron muestras cúbicas de 150 mm con y sin bacterianas segùn IS 516-1959(estándar indio). Así mismo añadieron caldo nutritivo en el agua de diseño (13 g de caldo nutritivo por cada 1000 ml de agua), para los hormigones bacterianos. Desmoldaron a las 24 h de colocado y curaron en agua durante 28 días.

Tabla N° 12

Composición del caldo nutritivo (13 g de caldo nutritivo por cada 1000 ml de agua).

Composición	Contenido
peptona	5g/l
Cloruro de sodio	5g/l
Extractos de levadura	2 g/l
Extractos de carne	1g/litro

Fuente: “Enhancement in strength parameters of concrete by application of Bacillus bacteria” (Nain, Surabhi, Yathish, Krishnamurthy, & Deepa, 2019, pág. 2)

Especímenes

Las muestras fueron etiquetadas con los siguientes nombres:

Tabla N° 13

Etiqueta de especímenes de hormigón bacteriano y la muestra control

Prueba	Dimensión de la muestra	Entorno de curado	Etiqueta de Especímenes
Resistencia a la compresión	Cúbico 150mm	Agua	Convencional B. Subtilis

Fuente: “Enhancement in strength parameters of concrete by application of Bacillus bacteria” (Nain, Surabhi, Yathish, Krishnamurthy, & Deepa, 2019, pág. 2).

Resultados de ensayo de la resistencia a la compresión

Tabla N° 14

Resultado de los ensayos de resistencia a la compresión del hormigón

Hormigón	Resistencia a la compresión (MPa)	
	7 días	28 días
Convencional	21.81	38.08
B. Subtilis	31.93	43.55

Fuente : “Enhancement in strength parameters of concrete by application of Bacillus bacteria”

(Nain, Surabhi, Yathish, Krishnamurthy, & Deepa, 2019, pág. 3).

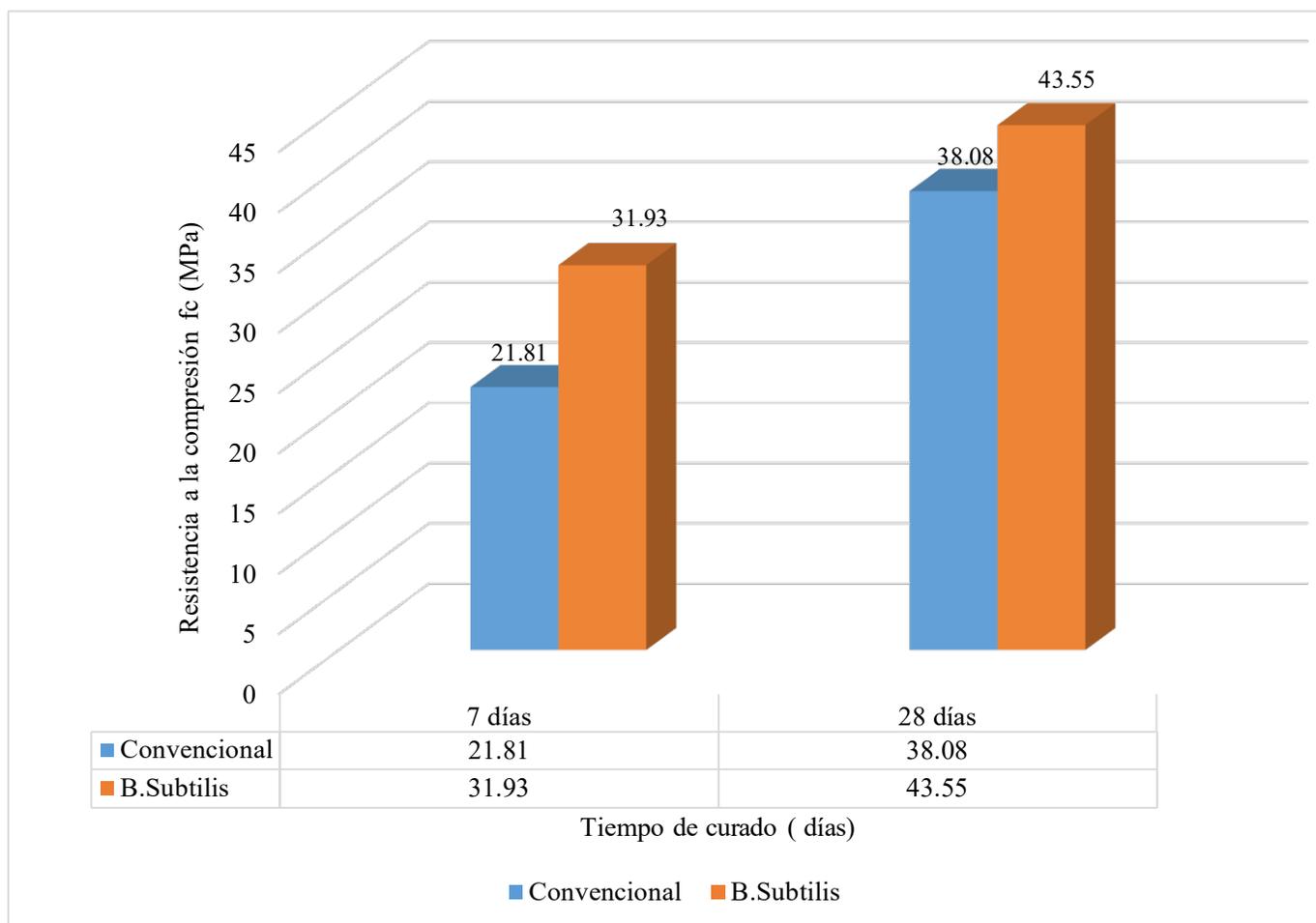


Figura N 20 : Gráfico de la resistencia a la compresión de la muestra de control y la muestra B. Subtilis.

Fuente : “Enhancement in strength parameters of concrete by application of Bacillus bacteria” (Nain, Surabhi, Yathish, Krishnamurthy, & Deepa, 2019, pág. 3)

a. Análisis comparativo de los resultados

N°	Autor	Título	Concentración bacteriana (células/ml)	Tipo de bacteria	Aditivos o adiciones	Muestra Nomenc	f'c Mpa		
							7 días	28 días	90 días
1	Venkata Siva Rama Prasad, C. & Vara Lakshmi, TVS	Experimental investigation on bacterial concrete strength with Bacillus subtilis and crushed stone dust aggregate based on ultrasonic pulse velocity	1E+05	Bacillus subtilis	Solución bacteriana	CBOO	36.26	48.12	55.21
						CBC05	41.64	51.46	60.18
						CBCIO	42.84	54.86	63.44
						CBC15	36.86	49.22	56.92
18	Hosseini Balam, Nafise; Mostofinejad, Davood & Eftekhari, Mohamadreza	Effects of bacterial remediation on compressive strength, water absorption, and chloride permeability of lightweight aggregate concrete.	1E+06	Sporosarcina pasteurii	Superplastificante	NN-WC		29.68	32.95
						YY-UC		34.86	40.05
						NY-UC		34.59	39.89
						NN-UC		24.7	24.29
7	Nain, Nidhi; Surabhi, R.; Yathish, N.V.; Krishnamurthy, V.; Deepa, T. & Tharannum, Seema	Enhancement in strength parameters of concrete by application of Bacillus bacteria	1E+08	Bacillus subtilis	Solución bacteriana	CC	21.81	38.08	
						B. Subtilis	31.93	43.55	

Tabla N° 15

Comparación de ensayos en concreto endurecido a los 28 días

Fuente: Elaboración Propia.

b. Análisis de los resultados de los ensayos a compresión por autor

-Venkata Siva Rama Prasad, C. & Vara Lakshmi, TVS

Los autores diseñaron las mezclas para un hormigón de 40 MPa. Como se observa en la **tabla 3** emplearon una única concentración bacteriana de 10^5 células/ml y distintos porcentajes de solución bacteriana (implícito en la investigación), para las muestras CBC00, CBC05, CBC10 y CBC15.

Según la **figura 16**, la muestra CBC00 (hormigón bacteriano con 0% de solución bacteriana) obtuvo una resistencia a la compresión de 36.26 .12 MPa a los 7 días de curado. A los 28 días de curado presentó una resistencia a la compresión de 48.12 MPa, mayor en 8.12 MPa a la resistencia de diseño esperada de 40MPa. Los hormigones bacterianos con adición de solución bacteriana obtuvieron los siguientes resultados a los 7 días de curado, CBC05 de 41.64 MPa, CBC10 de 42.84 MPa, CBC15 de 36,86. Se observa que a los 7 días de curado la muestra con mayor valor de resistencia a la compresión fue CBC10 con 42.84 MPa, superando en 6.58 MPa a la resistencia de la muestra CBC00 (muestra bacteriana sin solución bacteriana) esto debido a que la solución bacteriana actúa como fuente de alimento de bacterias ,provocando un incremento de la calcita bacteriana que conlleva a mejorar la resistencia a la compresión. Los hormigones bacterianos con adición de solución bacteriana obtuvieron los siguientes resultados a los 28 días de curado, CBC05 de 51.46 MPa, CBC10 de 54.86 MPa, CBC15 de 49.22. Se observa que a los 28 días de curado la muestra con mayor valor de resistencia a la compresión fue CBC10 con 54.86 MPa superando en 14.86 MPa a la resistencia de diseño.

Según la **figura 16** el hormigón CBC10, es el que obtuvo un mayor porcentaje de incremento de la resistencia a la compresión superando a la resistencia de diseño en un 37.15 % a los 28 días de curado.

- Hosseini Balam, Nafise; Mostofinejad, Davood & Eftekhar, Mohamadreza

Los autores diseñaron las mezclas para un hormigón de 25 MPa. Como se observa en la **tabla 5**, emplearon una concentración bacteriana de 10^6 células/ml. la **figura 17**

representa los resultados de los ensayos a compresión de muestras curadas en agua y Urea-CaCl₂ a las 14,28,90 y 150 días.

De acuerdo a la **figura 17**, la muestra NN-WC (muestra de control sin bacterias) curada en agua, obtuvo una resistencia a la compresión de 29.68 MPa a los 28 días de curado y a los 90 días de curado 32.95 MPa, la muestra NN-UC (muestra de control sin bacterias) curada en Urea-CaCl₂, obtuvo una resistencia a la compresión de 24.7 MPa a los 28 días de curado y a los 90 días de curado 24.29 MPa. La muestra YY-UC (muestra con bacterias y agregados pre tratados con solución bacteriana) curada en Urea-CaCl₂, presentó una resistencia a la compresión de 34.86 MPa a los 28 días de curado, siendo mayor en 5.18 MPa y 10.16 MPa la resistencia a la compresión de la muestra patrón NN-WC y NN-UC. La muestra NY-UC (muestra con adición de bacterias y agregados no pre -tratados), presentó una resistencia a la compresión de 34.59 MPa a los 28 días de curado mayor en 4.91 MPa y 9.89 MPa a la resistencia de las muestras NN-WC y NN-UC. De acuerdo la **figura 17**, la muestra YY-UC es la que obtuvo mayor resistencia a la compresión con respecto al concreto patrón NN-WC y NN-UC presentando un incremento del 17.45 % y 41.13% a los 28 días de curado en medio Urea-CaCl₂. Así mismo YY-UC, presentó un aumento de resistencia a la compresión de 21.55 % y 64.88% con respecto a las muestras NN-WC y NN-UC a los 90 días de curado.

- **Nain, Nidhi; Surabhi, R.; Yathish, N.V.; Krishnamurthy, V.; Deepa, T. & Tharannum, Seema**

Los autores diseñaron las mezclas para un hormigón de 30 MPa. Emplearon una concentración bacteriana de 10⁸ células/ml y caldo nutritivo en la cantidad que especifica la **tabla 12** para el hormigón bacteriano denominado B. Subtilis.

Según la **figura 20**, la muestra convencional obtuvo una resistencia a la compresión de 21.81 MPa a los 7 días de curado. A los 28 días de curado presentó una resistencia a la compresión de 38.08 MPa. La muestra B. Subtilis (contiene bacterias y solución bacteriana) obtuvo una resistencia a la compresión de 31.93 MPa a los 7 días de curado

y a los 28 días de curado 43.55 MPa .La muestra B. Subtilis a los 7 días de curado, presentó mayor resistencia a la compresión con respecto a la muestra convencional de 10.12 MPa, que representa un 46.4%.A los 28 días de curado se observa que la muestra B. Subtilis, obtuvo mayor resistencia a la muestra convencional de 5.47 MPa el cual representa un 14.36% .

5.1.2. Determinar la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus para aumentar la resistencia a la flexión del hormigón.

-Autores: Arun Kumar Parashar & Ankur Gupta

Artículo 26: *“Experimental study of the effect of bacillus megaterium bacteria on cement concrete”*

Concentración bacteriana

Las bacterias obtenidas estuvieron en forma de polvo y estado de congelación de IMTECH MTCC Chandigarh, y se utilizan con una concentración de 10^8 células/ml. La forma de polvo de la bacteria se convirtió en la solución líquida con el fin de mezclarla en el concreto. En la 1era etapa, se usó un matraz cónico que tenía 0,3 g de extracto de carne de res, 0,5 g de peptona y 0,5 g de cloruro de sodio y poder cultivar los medios de caldo nutritivo. Mientras tanto, el pH de los medios cultivados se mantiene en el rango de 7 a 7,4. La bacteria bacillus megaterium se alimenta de caldo de cultivo en solución. Las bacterias en forma de polvo, utilizando la inoculación en placas de Petri, se aplicaron en franjas en una placa de agar para producir una solución líquida de bacterias. Luego las placas se sometieron a una incubadora a 37°C después de 24 horas. Para prevenir la adulteración ambiental y una mayor descomposición de bacteria bacillus megaterium, se utilizó medio de caldo nutritivo en autoclave en un matraz cónico y todos los equipos se limpiaron y desinfectaron con mucho cuidado. La solución líquida inoculada, mantenida en el matraz cónico, fue luego trasladada al agitador orbital y rotada a una velocidad de 150 rpm durante 24 horas para desarrollar el grupo de bacterias. Las bacterias así preparadas se han utilizado para la preparación de mezclas de hormigón. (Kummar & Gupta, 2021, pág. 2)

Contenido de mezcla

La mezcla de concreto de grado M30 fue preparada utilizando cemento grado OPC 43, agregado grueso disponible localmente de tamaños nominales máximos de 20 mm (60%) y 10 mm (40%), arena natural de la zona III, bacterias bacillus megaterium en forma líquida con densidad 10^8 celdas/ml y superplastificante a base de éter policarboxílico se preparan utilizando cemento, agregado fino y agregado grueso. El agregado fino y el agregado grueso se mezclaron primero en una mezcladora de tambor con una pequeña cantidad de agua durante aproximadamente dos minutos para minimizar el polvo debido a la mezcla del agregado en la batidora de tambor. Después de eso, se ha agregado la cantidad requerida de cemento y se continúa mezclando durante los siguientes dos minutos. Luego, el agua restante junto con la solución bacteriana se agregó en una batidora y se mezclaron durante tres minutos. A continuación, la mezcla se vierte en los moldes deseados. (Kummar & Gupta, 2021, pág. 3)

Especímenes

El vaciado de muestras se realizó de acuerdo con IS-1199-1959[34]. Luego de una mezcla adecuada, el hormigón se ha vertió en los moldes en tres capas. Cada capa ha sido apisonada 25 veces. Después, los moldes se compactaron para eliminar los vacíos de aire utilizando una mesa vibratoria. Después de la compactación, los moldes realizados se mantienen intactos durante 24 horas. Las muestras fueron desmoldeadas después de 24 horas y luego todos los especímenes fueron curados en agua hasta el momento de la prueba. Se realizaron un total de 24 especímenes cúbicos de tamaño 150 mm x 150 mm x 150 mm, 12 cilindros de 200 mm de altura y 100 mm de diámetro y 12 vigas de tamaño 100 mm x 100 mm x 500 mm para el hormigón estándar y bacteriano. Las muestras así fundidas han sido probadas para la resistencia a la tensión, compresión y flexión y también para la absorción de agua a la edad de curado deseada. (Kummar & Gupta, 2021, pág. 3).

Resultados de ensayos

Se fundieron un total de 36 muestras para el ensayo de resistencia a la compresión, tracción dividida y flexión. La prueba se ha llevado a cabo según los códigos estándar indios, es decir, IS: 516-1959[35] e IS 5816: 1999[36]. La prueba se ha realizado para el hormigón de mezcla de cultivo bacteriano según los métodos de prueba estándar de la India. En esta investigación experimental se ha estudiado el efecto de la bacteria bacillus megaterium en las propiedades de resistencia y absorción de agua de muestras de hormigón. El ensayo para todos los especímenes se realizó a los 7 y 28 días de curado.

Tabla N° 16

Resumen de resistencia a flexión

Tipo de Concreto	Tipo de bacteria	N° de muestras	Concentración de bacteria	Resistencia a la flexión MPa/7 días de curado	Resistencia a la flexión MPa/28 días de curado
Concreto patrón	Patrón	6	-	5.51	5.98
Bioconcreto	Megaterium	6	10 ⁸ cel/ml	6.65	7.25

Fuente: “Experimental study of the effect of bacillus megaterium bacteria on cement concrete” Kumar, A. y Gupta, A. (2021, p. 6)

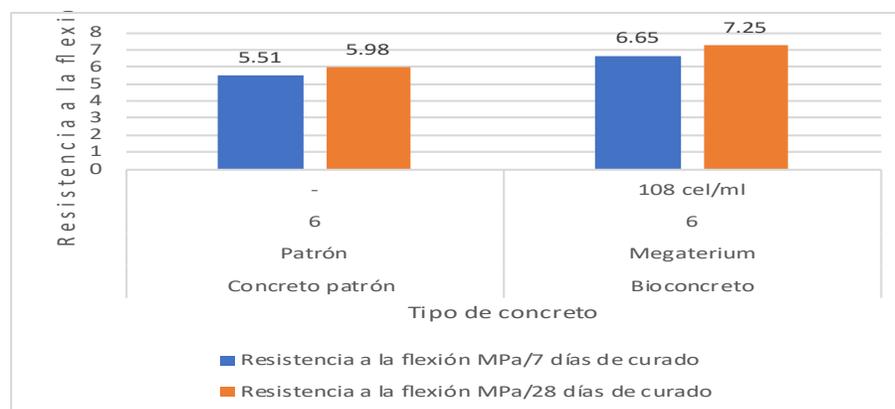


Figura N 21: Gráfico de la resistencia a la flexión del Concreto patrón y el Bioconcreto B. Megaterium.

Fuente : “Experimental study of the effect of bacillus megaterium bacteria on cement concrete” (Kummar & Gupta, 2021, pág. 6)

-Autores: B S Meenaksi, S Kanmani, K Sakthivel, S Varun & R C Srithar

Artículo 28: “*Experimental Investigation of Microbial Precipitation of Concrete with Bacillus Halodurans*”

Concentración bacteriana

Los investigadores con diferentes bacterias planearon diferentes microorganismos específicos. En el estudio actual, la bacteria *Bacillus halodurans* fue creada por desarrollo. La mayor ventaja de incrustar bacterias en el concreto es que perpetuamente se precipitará. Esta ocurrencia se denomina precipitado de calcita inducido por microbios (MICP). El precipitado de carbonato está bien desarrollado entre las bacterias y han sido estudiados por sus múltiples implicaciones científicas y técnicas. *Bacillus Halodurans* es probablemente una bacteria del suelo mejorada en laboratorio cuyo impacto en la resistencia y la robustez se investiga aquí

Tabla N° 17

Tipo de Concreto	Tipo de bacteria	Concentración de bacteria cel/ml	Días de curado	Muestra 1 (MPa)	Muestra 2 (MPa)	Muestra 3 (MPa)	Muestra 4 (MPa)	Muestra 5 (MPa)
Hormigón patrón	Patrón		28	4.2	6	6.4	7.8	8.5
Hormigón Con bacterias	Halodurans	1 x 10 ⁵	28	5.8	7.2	8.4	9.6	10

Cuadro de resultados de resistencia a la flexión

Fuente: “Experimental Investigation of Microbial Precipitation of Concrete with *Bacillus Halodurans*”
Meenaksi, BS., et al. (2021, p. 4).

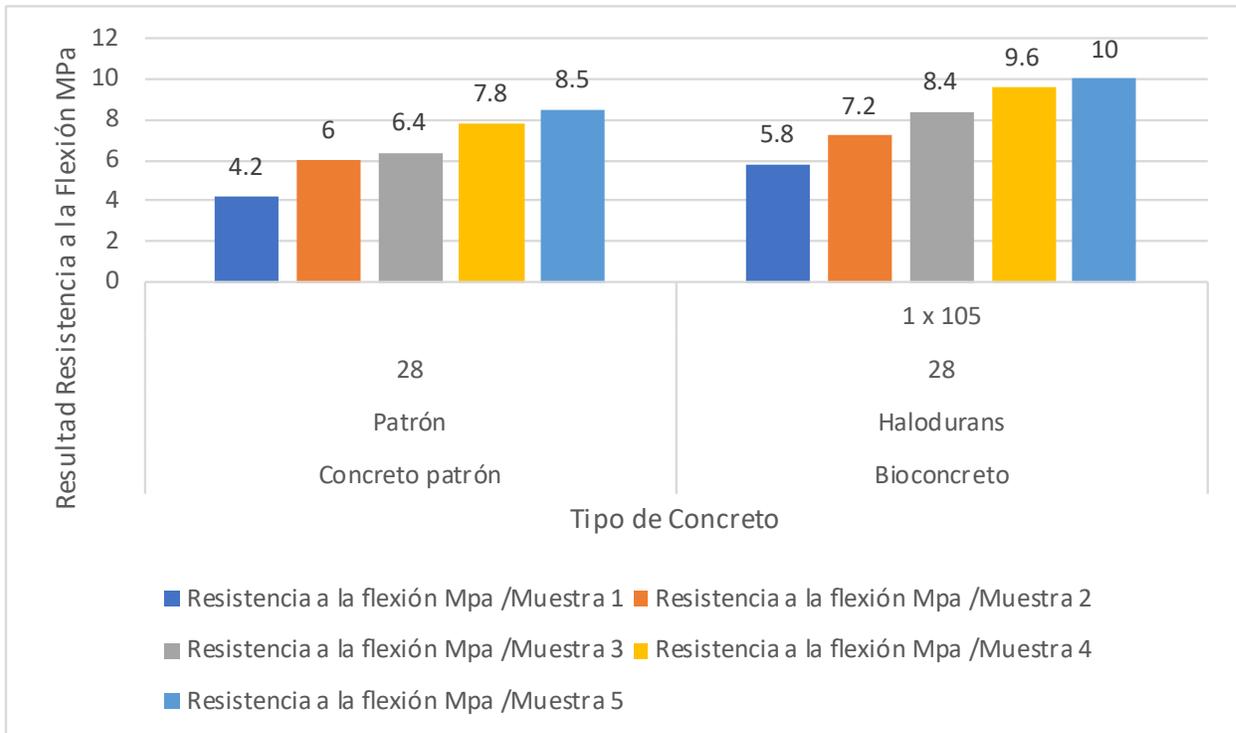


Figura N 22 :Gráfico de la resistencia a la flexión del Concreto patrón y el Bioconcreto B. Halodurans.

Fuente: “Experimental Investigation of Microbial Precipitation of Concrete with Bacillus Halodurans” (Meenaksi, Kanmani, Sakthivel, Varun & Srithar, 2021, pág. 6)

Autores: Dipika Patnaik, Akshaya K. Verma, Simanchala Panda, Naresh K. Sahoo

Artículo 31: “Bio Cementation Process in the Concrete using Bacillus Subtilis: A Statistical Modeling Study”

Concentraciòn bacteriana

Se seleccionó una bacteria ureolítica Gram-positiva, en forma de bastón, de Bacillus subtilis (CT-5) a una concentración de 5×10^3 células/ml, pues satisface los criterios esenciales de supervivencia en condiciones físico-químicas duras al formar las esporas en un entorno adverso. Se cultivó Bacillus subtilis usando caldo nutritivo esterilizado en autoclave (Himedia, India) de composición estándar. Además, para la precipitación in vitro de calcita, el cultivo se complementó con una solución estéril de urea al 2 % (w/v) y 25 mM CaCl_2 a 37°C en un agitador

orbital a 120 rpm manteniendo un pH neutro. Los controles de crecimiento de rutina se realizaron midiendo los valores de absorbancia a 600 nm usando un espectrofotómetro UV. Además, se utilizó una prueba de densidad óptica para generar una curva de calibración estándar para determinar la cantidad de medio de cultivo requerida para diferentes proporciones. (Dipika, Akshaya, Simanchala & Naresh, 2020, pág. 3)

Contenido de mezcla

Para la producción de hormigón se utilizó cemento Portland ordinario (grado 43) según BIS 8112-2013. Las propiedades de OPC 43 se determinaron según la norma india (IS 8112:1989). (Dipika, Akshaya, Simanchala & Naresh, 2020, pág. 3).

Los agregados finos actúan como rellenos en el concreto, llenando la matriz y proporcionando una estructura compacta similar al cemento. Para ello se utilizó arena natural de río limpia, seca y bien seleccionada (tamiz de ,75 mm) según la Zona II. Se midieron propiedades físicas como la gravedad específica y la absorción de agua del agregado fino y se encontró que eran 2,70% y 1,8%, respectivamente. Los agregados gruesos brindan solidez y resistencia al desgaste, ocupando el mayor volumen del hormigón. Como agregado grueso se utilizó piedra triturada reducida a 20 mm. La gravedad específica y la absorción de agua del agregado fueron 2.65 y 1.39%, respectivamente. (Dipika, Akshaya, Simanchala & Naresh, 2020, pág. 3).

Tabla N° 18

Propiedades de OPC43

Propiedades Físicas	Valores
Finura del cemento	2300 cm ² /g
Consistencia estándar	31%
Tiempo de fraguado inicial (min)	35
Tiempo de fraguado final (min)	510

Fuente: “Bio Cementation Process in the Concrete using Bacillus Subtilis: A Statistical Modeling Study” (Dipika, Akshaya, Simanchala & Naresh, 2020, pág. 3)

Diseño Experimental y Análisis de Datos para Concreto

Se utilizaron experimentos RSM de segundo orden con CCD factorial completo de 3 niveles para optimizar los principales parámetros que afectan las propiedades de resistencia de las muestras de concreto. Los parámetros de concentración bacteriana (A), tiempo de endurecimiento (B) y composición de nutrientes (C) fueron seleccionados como factores numéricos que afectan las propiedades de resistencia mecánica del proceso. Se realizaron 12 corridas que contenían 4 puntos centrales para la preparación aleatoria de especímenes específicos. (Tabla 20).

Tabla N° 19

Matriz de diseño compuesto central de tres factores para Concreto Bacteriano

Correr	A	B	C
1	15	28	10
2	15	28	30
3	10	15.5	20
4	15	3	30
5	5	28	30
6	10	15.5	20
7	15	3	10
8	5	3	30
9	10	15.5	20
10	5	28	10
11	10	15.5	20
12	5	3	10

Fuente: “Bio Cementation Process in the Concrete using Bacillus Subtilis: A Statistical Modeling Study” (Dipika, Akshaya, Simanchala NO & Naresh, 2020, pág. 4)

Las muestras de concreto bacteriano se vació utilizando métodos estándar, se desmoldaron después del tiempo de curado requerido y se sometieron a pruebas de resistencia mecánica. Los resultados experimentales se ajustaron a un modelo

polinomial de segundo orden utilizando análisis de regresión múltiple seguido de análisis de varianza (ANOVA). Se evaluó el coeficiente de determinación (R²) para observar la calidad del mejor ajuste y dar cuenta de la variabilidad del modelo. (Dipika, Akshaya, Simanchala & Naresh, 2020, pág. 4).

Resultados de Ensayo

Tabla N° 20

Resumen de resistencia a la flexión

Tipo de Concreto	Tipo de bacteria	N° de muestras	Concentración de bacteria	Resistencia a la flexión MPa/3 días de curado	Resistencia a la flexión MPa/14 días de curado	Resistencia a la flexión MPa/28 días de curado
Concreto	Patrón	2	-	3.72	4.06	4.36
Bioconcreto	Subtilis	2	5x10 ³ cel/ml	4.41	5.18	6.22

Fuente: “Bio Cimentation Process in the Concrete using Bacillus Subtilis: A Statistical Modeling Study” (Dipika, Akshaya, Simanchala & Naresh, 2020, pág. 5).

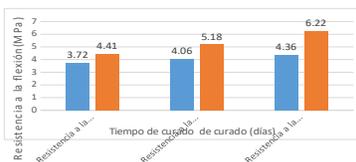


Figura N 23 :Gráfico de la resistencia a la flexión del Concreto patrón y el Bioconcreto B. Halodurans.

Fuente: "Bio Cementation Process in the Concrete using Bacillus Subtilis: A Statistical Modeling Study" (Dipika, Akshaya, Simanchala & Naresh, 2020, pág. 5).

Tabla N° 21

Cuadro de Resistencia a flexión con diferentes concentraciones de bacteria a los 14 días

Tipo de Concreto	Tipo de bacteria	N° de muestras	Concentración de bacteria	Resistencia a la flexión MPa/14 días de curado
Bioconcreto	Subtilis	2	5x10 ³ cel/ml	5.2
Bioconcreto	Subtilis	2	10x10 ³ cel/ml	5.5
Bioconcreto	Subtilis	2	15x10 ³ cel/ml	5.7

Fuente: "Bio Cementation Process in the Concrete using Bacillus Subtilis: A Statistical Modeling Study" (Dipika, Akshaya, Simanchala & Naresh, 2020, pág. 5)

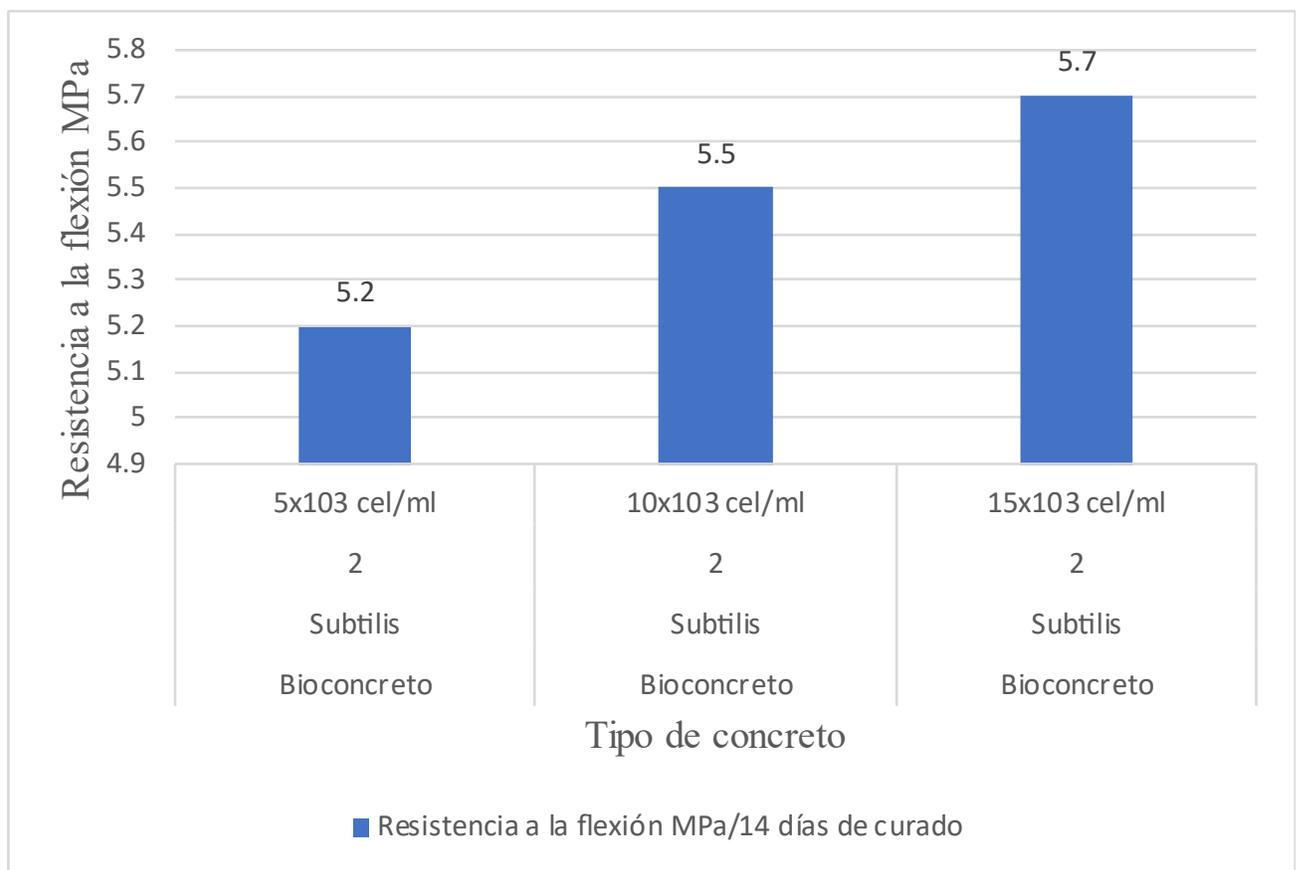


Figura N 24: Gráfico de la resistencia a la flexión según concentración bacteriana

Fuente: Bio Cementation Process in the Concrete using Bacillus Subtilis: A Statistical Modeling Study” (Dipika, Akshaya, Simanchala & Naresh, 2020, pág. 5).

Autor	Título	Tipo de concreto	N° de muestras	Tipo de bacteria Bacillus	Concentración de bacteria	Tipo de Aplicación	Resistencia a la flexión MPa/ 3 días de curado	Resistencia a la flexión MPa/7 días de curado	Resistencia a la flexión MPa/14 días de curado	Resistencia a la flexión MPa/28 días de curado
Arun Kumar Parashar y Ankur Gupta	Estudio experimental del efecto de la bacteria bacillus megaterium en el hormigón de cemento	Hormigón bacteriano	6	Megaterium	10 ⁸ cel/ml	Directa	0	6.65	0	7.25
		Hormigón patrón	6	Patrón	-	Directa	0	5.51	0	5.98
B S Meenaksi, S Kanmani, K Sakthivel, S Varun and R C Srithar	Investigación Experimental de Precipitación Microbiana de Concreto con Bacillus Halodurans	Hormigón bacteriano	3	Halodurans	10 ⁶ cel/ml	Directa	0	0	0	9.8
		Hormigón patrón	3	Patrón	-	Directa	0	0	0	8.2
Dipika Patnaik, Akshaya K. Verma, Simanchala Panda, Naresh K. Sahoo	Proceso de Biocementación en el Hormigón con Bacillus Subtilis: un estudio de modelado estadístico	Hormigón bacteriano	6	Subtilis	5x10 ³ cel/ml	Directa	4.41	0	5.18	6.22
		Hormigón patrón	6	Patrón	-	Directa	3.72	0	4.06	4.36

a. Análisis comparativo de los resultados

Tabla N° 22

Comparación de resultados de resistencia a la flexión

Fuente: Elaboración Propia.

b. Análisis de los resultados de los ensayos a flexión por autor

- Parashar, A. K., & Gupta, A.

Para este artículo se realizó un ensayo utilizando cemento de grado OPC 43 para una mezcla de concreto de grado M30. Como se observa en la **tabla 16** se empleó una concentración de bacterias de 10^8 células/ml, obteniendo 12 muestras total, 6 para ensayos a flexión con concreto patrón y 6 con concreto bacteriano.

Como se puede apreciar en la **figura 21**, la muestra patrón obtuvo una resistencia a la flexión promedio de 5.51 MPa a los 7 días de curado y de 5.98 MPa a los 28 días de curado.

Mientras que la solución de concreto bacteriano obtuvo una resistencia a la flexión promedio de 6.65 MPa a los 7 días de curado y 7.25 MPa a los 28 días de curado, siendo mayor la resistencia a la flexión en comparación de los resultados con el concreto patrón.

Con la bacteria *Bacillus Megaterium*, se logra aproximadamente un 20.7% en el aumento de la resistencia a la flexión a los 7 días de curado, con una concentración de 10^8 células/ml y 21.2% en el aumento de la resistencia a la flexión a los 28 días de curado con la misma concentración bacteriana.

- B S Meenaksi, S Kanmani, K Sakthivel, S Varun & R C Srithar

Los autores de esta investigación desarrollaron ensayos a flexión a los 28 días de curado, utilizando la bacteria *Bacillus Halodurans* para el desarrollo de muestras que serán comparadas con los resultados de las muestras patrón.

Los resultados obtenidos según la **tabla 17** con la muestra patrón, según el número de muestra fueron, muestra 1 obtuvo 4.2 MPa frente a la muestra bacteriana 1 que presentó 5.8 MPa en su ensayo de resistencia a la flexión, representando un 38% de aumento en dicho ensayo.

El resultado obtenido con la muestra patrón 2 fue 6 MPa frente a la muestra bacteriana 2 que presento 7.2 MPa en su ensayo de resistencia a la flexión, representando un 20% de aumento en dicho ensayo.

El resultado obtenido con la muestra patrón 3 fue 6.4 MPa frente a la muestra bacteriana 3 que presento 8.4 MPa en su ensayo de resistencia a la flexión, representando un 31% de aumento en dicho ensayo.

El resultado obtenido con la muestra patrón 4 fue 7.8 MPa frente a la muestra bacteriana 4 que presento 9.6 MPa en su ensayo de resistencia a la flexión, representando un 23% de aumento en dicho ensayo.

El resultado obtenido con la muestra patrón 5 fue 8.5 MPa frente a la muestra bacteriana 5 que presento 10 MPa en su ensayo de resistencia a la flexión, representando un 18% de aumento en dicho ensayo.

Si no se analiza la **tabla 17** se podría decir que la muestra 5 obtuvo mayor resistencia a la flexión que los demás ensayos, pero realizando el análisis respectivo entre concreto patrón vs concreto bacteriano, podemos confirmar que la muestra 1 obtuvo el resultado más óptimo ya que representa un mayor porcentaje en el aumento de la resistencia a flexión en comparación del concreto patrón, a diferencia de los demás ensayos.

- **Dipika Patnaik, Akshaya K. Verma, Simanchala Panda & Naresh K. Sahoo**

En esta investigación, seleccionaron la bacteria *Bacillus Subtilis* a una concentración de 5×10^3 células/ml, para desarrollar el ensayo respectivo de resistencia a la flexión. Para la producción del hormigón usaron cemento Portland de grado 43 según BIS 8112-2013. Se utilizó arena natural de río limpia, seca y bien seleccionada (tamiz 75 mm). Para el desarrollo de este experimento se utilizó 3 parámetros los cuales son, concentración bacteriana, tiempo de endurecimiento y composición de nutrientes. Según la **tabla 20** los ensayos se dieron en distintos días de curado, obteniendo distintos resultados entre el concreto patrón y el bioconcreto.

La resistencia a flexión a los 3 días de curado fue 3.72 MPa para el concreto patrón frente a 4.41 MPa para el hormigón bacteriano, representando un 18.5% en el aumento de resistencia. La resistencia a flexión a los 14 días de curado fue 4.06 MPa frente a 5.18 MPa que presentó el hormigón bacteriano, que representa un 27.6% en el aumento de la resistencia a flexión. Por último, a los 28 días de curado el hormigón patrón presentó 4.36 MPa como resultado del ensayo de la resistencia a flexión frente a 6.22 MPa que presentó el hormigón bacteriano, representando un 42.7% en el aumento de su resistencia.

5.1.3. Determinar el porcentaje de bacterias del género bacillus para el sellado de las fisuras del hormigón.

Atores: Ruiz, A. y Valverde, E

Tesis 1 *“Incorporación de bacterias Bacillus Subtilis para mejorar la capacidad autorreparable del concreto $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, Lima – 2020”*

Concentración bacteriana

Dos suspensiones bacterianas estaban disponibles para este estudio. Bacillus Subtilis a 1×10^9 y 1×10^{12} células/ml es proporcionado por una empresa especializada en la comercialización de este tipo de insumo para la industria agrícola. (Ruiz, A. y Valverde, E. 2020, pág. 22)

Una vez que se obtuvo el tamaño requerido de arcilla expandida, las bacterias se impregnaron en ella. Este procedimiento se realizó de la siguiente manera: Primero se seca en un horno a $60^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ durante 2 horas, luego se enfría a temperatura ambiente. A continuación, se impregnó con una solución de 50 g/l de lactato de calcio y 5 g/l de extracto de levadura (cebo bacteriano). Deje secar a temperatura ambiente. Asimismo, después de un vacío se procedió a adherirlos microorganismos biológicos, equivalente al 26.2% del peso de la arcilla expandida y se dejó secar en una bolsa hermética cerrada para evitar la difusión de oxígeno y la activación bacteriana. Este procedimiento se repitió para cada dosis bacteriana. (Ruiz, A. y Valverde, E. 2020, pág. 22)

Contenido de mezcla

El cemento seleccionado para el proyecto fue Portland Tipo I. El agregado tenía que cumplir con las características mínimas de calidad para someterse a pruebas de granulometría, peso unitario, contenido de humedad, peso específico y absorción. También se realizaron pruebas de granulometría y contenido de humedad de la arcilla expandida.

Tabla N° 23

Materiales	Cantidad	Und
Cemento	7	bls
Agregado Fino	10	bls
Agregado Grueso	15	bls
Arcilla expandida	2	bls
Bacillus Subtilis	10	lt
Lactato de calcio	9	und
Extracto de levadura	1	und
Fibra de polipropileno	1	bls
Aditivo acelerante de resistencia	2	und

Cuantificación de materiales

Fuente: “Incorporación de bacterias Bacillus Subtilis para mejorar la capacidad autorreparable del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, Lima – 2020” (Ruiz, A. y Valverde, E. 2020, pág. 22)

Se diseñó un concreto de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ según el ACI 211.1 que se muestra en la etapa de desarrollo del procedimiento.

Especímenes

Para la obtención de los resultados, todo el proceso de elaboración de las probetas se desarrolló bajo la norma ASTM C31/31M. Con respecto a los ensayos, El ensayo a

compresión y flexión se realizaron según las normas ASTM C39 y ASTM C78 respectivamente.

Con respecto a la población estuvo comprendida por la producción de concreto con una resistencia de 210 kg/cm² en la ciudad de Lima. La muestra es un grupo representativo de la población a estudiar, la cual se tiene que definir y delimitar con precisión.

Se elaboraron un total de 78 probetas-testigo, entre cilíndricas y prismáticas las cuales se distribuyeron 6 probetas prismáticas para el ensayo de inducción de fisuras, 36 probetas cilíndricas de 4" x 8" para el ensayo de resistencia a la compresión y 36 probetas prismáticas para el ensayo de resistencia a la flexión.

Tabla N° 24

Población de probetas diseñadas

Inducción de fisuras (autosellado)				
	Bacillus Subtilis (cel/ml)	Lactato de Calcio (g/l)	Extracto de Levadura (g/l)	Edad 14 días
D0	0	0	0	2
D1	1x10 ⁹	50	5	2
D2	1x10 ¹²	50	5	2

Fuente: "Incorporación de bacterias Bacillus Subtilis para mejorar la capacidad autorreparable del hormigón F'c = 210 kg/cm², Lima – 2020" (Ruiz, A. y Valverde, E. 2020, pág. 22).

Resultado de ensayo

Tabla N° 25

Resumen del autosellado

Dosificación del concreto

Registro inicial	Concreto patrón		1x10 ⁹ cel/ml		1x10 ¹² cel/ml	
	mm	%	mm	%	mm	%
0.1	0.00	100	0	100	0	100
0.15	0.00	100	0	100	0	100

0.20	0.15	25	0	100	0	100
0.25	0.20	20	0	100	0	100
0.30	0.25	17	0	100	0.15	50
0.40	0.35	13	0.25	38	0.30	25
0.50	0.50	0	0.35	30	0.30	40
0.60	0.60	0	0.40	33	0.40	33

Fuente: “Incorporación de bacterias Bacillus Subtilis para mejorar la capacidad autorreparable del hormigón $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, Lima – 2020” (Ruiz, A. y Valverde, E. 2020, pág. 87).

Autores: Reynoso, Reeksting, Heath, Gebhard & Paine

Artículo 36 “Evaluación del potencial de curación cíclica de compuestos cementosos autorreparables a base de bacterias”

Concentración bacteriana

Las esporas de la bacteria MM1_1 DSM 110489 (estrechamente relacionada con Bacillus Licheniformis) se obtuvieron de Reeksting et al. [9] Para la fabricación de prismas de mortero a base de bacterias investigados en este estudio. Estas bacterias formadoras de esporas se recolectaron de rocas calizas en el suroeste de Inglaterra. Los procedimientos de cultivo y esporulación para el presente estudio se realizaron como se describe en este estudio anterior. Se añadieron esporas MM1_1 (2,1 x 10¹⁰ CFU) a un volumen de agua igual a la capacidad total de absorción de agua de 3,54 g de partículas de ACG. (Reynoso, Reeksting, Heath, Gebhard. y Paine. 2020, pág. 87)

Contenido de mezcla

Los prismas de mortero (65 mm 40 mm 40 mm) de las tres mezclas investigadas en este estudio (es decir, Referencia, Control y Bio) fueron preparados inicialmente por Reeksting et al. La mezcla de referencia era una mezcla de mortero simple donde no había partículas de ACG (con o sin bacterias).se agregaron esporas) ni GM. La mezcla Bio contenía esporas GM y bacterianas encapsuladas en partículas ACG (ACG-S), mientras que la mezcla Control contenía

partículas GM y ACG sin esporas bacterianas (ACG-NS). Todas las mezclas de mortero se prepararon en tripletes y se colaron en dos capas (20 mm cada una). Las proporciones de mezcla para la primera capa (capa inferior) se muestran en la Tabla 26. Un cemento de piedra caliza Portland (es decir, CEM II/AL 32.5R) y estándar arena se utilizaron conforme a BS EN 197-1 y BS EN 196-1, respectivamente. Se utilizó agua del grifo para lograr una relación agua/cemento de 0,5. La mezcla se llevó a cabo siguiendo BS EN 196-1. Las partículas de ACG recubiertas con PVA que contenían esporas bacterianas se mezclaron en seco con la arena y luego se agregaron simultáneamente con la arena, mientras que el GM (es decir, nitrato de calcio y extracto de levadura) se agregó directamente con el agua de mezclado. En las mezclas Control y Bio se reemplazó una parte del contenido de arena (por volumen) para considerar la inclusión de partículas ACG (ACG-S o ACG-NS), nitrato de calcio y extracto de levadura. Después de aproximadamente 3 h, se vertió la segunda capa (capa superior) que contenía mortero de cemento estándar siguiendo las proporciones de mezcla dadas para la mezcla de referencia en la Tabla 26. (Reynoso, Reeksting, Heath, Gebhard. y Paine. 2020, pág. 3)

Tabla N° 26

Proporciones de mezcla diseñadas.

Mezcla	Cemento (gr)	Arena (gr)	Agua (ml)	Nitrato de Calcio	Extracto de levadura	Esporas de bacteria (cel./ml)
Referencia	92	276	46	0	0	0
Control	92	253	46	4.6	1	0
Bacteriano	92	253	46	4.6	1	2.1×10^{10}

Fuente: “Evaluación del potencial de curación cíclica de compuestos cementosos autorreparables a base de bacterias” (Reynoso, Reeksting, Heath, Gebhard. y Paine. 2020, pág. 4)

Especímenes

La información completa sobre los materiales y métodos seguidos para la producción de endosporas, la preparación de los prismas de mortero y los resultados del rendimiento de curación de los prismas de mortero utilizados en este estudio se pueden encontrar en el trabajo de Reeksting et al. En aras de la exhaustividad, la información principal también se incluye en esta sección.

Resultados del ensayo

Tabla N° 27

Cuadro resumen de curación el concreto

Tipo de concreto	Tipo de Bacillus	Medida de fisura		Autosellado en mm/48 días de curado
		inicial (mm)	Dosificación (cel/ml)	
Concreto de referencia	Patrón	0.5	-	0.044
Concreto de control	Control	0.5	Esporas y nutrientes	0.097
Concreto bacteriano	B. Licheniformis	0.5	2.1×10^{10}	0.472

Fuente: “Evaluación del potencial de curación cíclica de compuestos cementosos autorreparables a base de bacterias” (Reynoso, Reeksting, Heath, Gebhard, y Paine. 2020, pág. 3)

Artículo 3 “Influence of bacterial concentration on crack self-healing of cement - based materials”

Concentración bacteriana

Bacilo pasteurii (DSM 33, obtenido de la Colección Alemana de Microorganismos y Cultivos Celulares) fue elegido para el estudio debido a su excelente capacidad de supervivencia en ambiente alcalino y alta eficiencia de mineralización de carbonato de calcio. El medio de cultivo se preparó disolviendo 5,0 g de peptona y 3,0 g extracto de carne en un litro de agua destilada. Después de ajustar el valor de pH del medio de cultivo a 7,0, se esterilizó a 121 °C durante 20 min y se enfrió en la estación de superlimpieza, luego se le agregaron las bacterias a una concentración de volumen del 2 % y se cultivó en un agitador. a 170 rpm a 35 -C durante 2 h para obtener el líquido bacteriano con una concentración de 10⁸ células/ml. El líquido bacteriano a la concentración de 10⁹ células/ml se obtuvo al ser cosechado por una centrífuga (TD25-WS, CENCE, China) a 500 rpm durante 15 min. Para obtener un líquido bacteriano con una concentración de 10⁷ células/ml, el líquido bacteriano que contenía 10⁸ células/ml se mezcló diez veces con agua pura. (Rong, Guanqi, Zhang, Xinguo, Zhang. y Rui Xu. 2020, pág. 2)

Contenido de la mezcla

Tabla N° 28

Proporciones de mezcla

Tipo de Mezcla	Cemento (gr)	Arena (gr)	Agua (ml)	Agentes de autocuración			Nutrientes	
				Acetato de calcio (gr)	Urea (gr)	Líquido bacteriano (ml)	Peptona (g/L)	Extracto de carne (g/L)
Mezcla A	650	1300	160	19.5	6.65	164.79	5	3
Mezcla B	650	1300	241	19.5	6.65	84	5	3
Mezcla C	650	1300	311	19.5	6.65	13.63	5	3

Fuente: “Influence of bacterial concentration on crack self-healing of cement - based materials” (Rong, Guanqi, Zhang, Xinguo, Zhang. y Rui Xu. 2020, pág. 2)

Especímenes

Los especímenes de mortero con dimensiones de 40 se produjeron mezclando cemento portland ordinario (PO 42,5, Conch Co. Ltd., China), arena de río local (módulo de finura: 2,54), agua del grifo, agentes autorreparadores y nutrientes. Para estudiar cuantitativamente el efecto de las bacterias en la autocuración de grietas, se añadió directamente al mortero el líquido bacteriano y se utilizó como sustrato un peso igual al 3% del peso del cemento. Para mejorar la viabilidad de las bacterias, se eligió para el estudio una mayor proporción de agua a cemento ($a/c = 0,5$). Las proporciones de la mezcla se muestran en tabla 28. Después de curar durante 24 h, los especímenes se desmoldaron y se mantuvieron en agua a 20 °C durante 7 días. (Rong, Guanqi, Zhang, Xinguo, Zhang. y Rui Xu. 2020, pág. 2).

Resultados de Ensayo

Tabla N° 29

Tipo de concreto	Tipo de Bacillus	Medida de fisura inicial (mm)	Dosificación (cel/mm)	Autosellado en mm/50 días de curado
Mezcla A	B. Pasteurii	0.3	1×10^7	0.205
		0.7		0.208
Mezcla B	B. Pasteurii	0.3	1×10^8	0.268
		0.7		0.339
Mezcla C	B. Pasteurii	0.3	1×10^9	0.284
		0.7		0.528

Cuadro resumen de curación el concreto

Fuente: “Influence of bacterial concentration on crack self-healing of cement - based materials” (Rong, Guanqi, Zhang, Xinguo, Zhang. y Rui Xu. 2020, pág. 2)

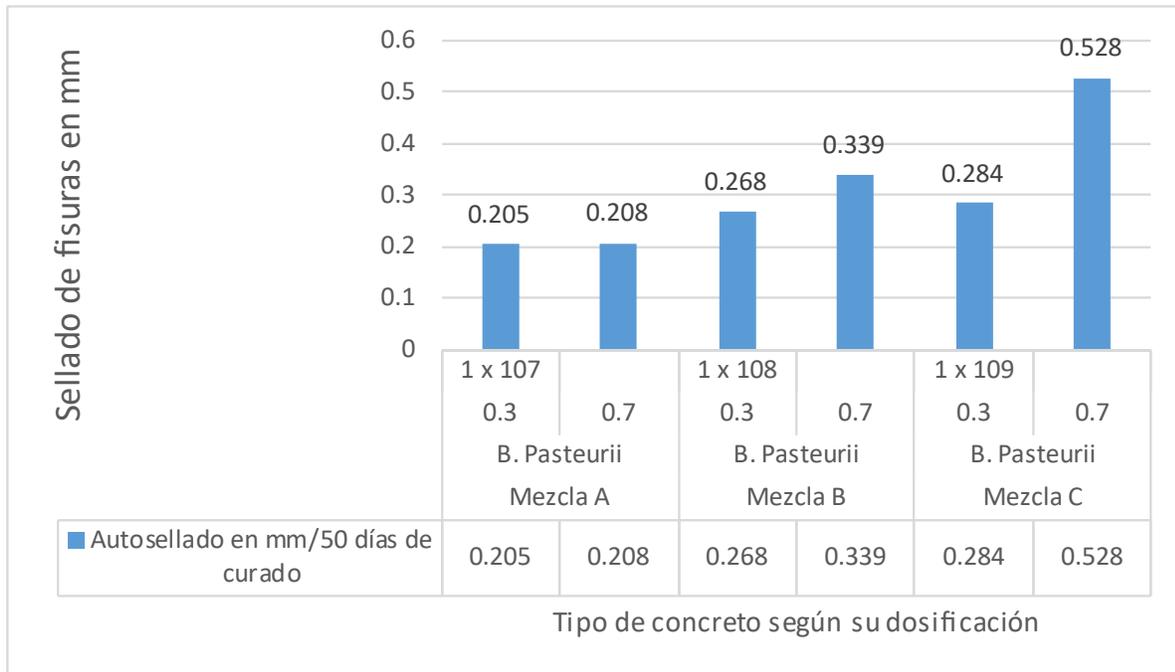


Figura N 25: Gráfico del autosellado del Concreto patrón y el Bioconcreto B. Pasteurii.

Fuente: “Influence of bacterial concentration on crack self-healing of cement - based materials” (Rong, Guanqi, Zhang, Xinguo, Zhang. y Rui Xu. 2020, pág. 5)

a. Análisis comparativo de resultados

Tabla N° 30

Análisis comparativo de sellado de fisuras del hormigón fisurado

Autor	Título	Tipo de concreto	Tipo de Bacillus	Medida de fisura inicial (mm)	Dosificación (cel/ml)	Autosellado en mm/28 días de curado	Autosellado en mm/48 días de curado	Autosellado en mm/50 días de curado
				0.1	-	0.00		
				0.2	-	0.15		
		Concreto patrón	Patrón	0.3	-	0.25		
				0.4	-	0.35		
				0.5	-	0.50		
				0.6	-	0.60		
				0.1	1×10^9	0.00		
				0.2	1×10^9	0.00		
				0.3	1×10^9	0.00		
Ruiz, A. & Valverde, E. (2020)	Incorporación de bacterias Bacillus Subtilis para mejorar la capacidad autorreparable del concreto F'c = 210 kg/cm ² , Lima – 2020	Concreto microbiano	B. Subtilis	0.4	1×10^9	0.25		
				0.5	1×10^9	0.35		
				0.6	1×10^9	0.40		
				0.1	1×10^{12}	0.00		
				0.2	1×10^{12}	0.00		
				0.3	1×10^{12}	0.15		
		Concreto microbiano	B. Subtilis	0.4	1×10^{12}	0.30		
				0.5	1×10^{12}	0.30		
				0.6	1×10^{12}	0.40		

Ismael Justo-Reinoso, Bianca J. Reeksting, Andrew Heath, Susanne Gebhard y Kevin Paine	Evaluación del potencial de curación cíclica de compuestos cementosos autorreparables a base de bacterias	Concreto de referencia	Patrón	0.5	-	0.456
		Concreto de control	Control	0.5	-	0.403
		Concreto bacteriano	B. Licheniformis	0.5	2.1×10^{10}	0.028
Hui Rong, Guanqi Wei, Guowei Ma, Ying Zhang, Xinguo Zheng, Lei Zhang, Rui Xu	Influencia de la concentración bacteriana en la autocuración de grietas en materiales cementosos	Concreto bacteriano	B. Pasteurii	0.3	1×10^7	0.095
				0.7	1×10^7	0.492
		Concreto bacteriano	B. Pasteurii	0.3	1×10^8	0.032
				0.7	1×10^8	0.361
		Concreto bacteriano	B. Pasteurii	0.3	1×10^9	0.016
				0.7	1×10^9	0.172

Fuente: Elaboración Propia

b. Análisis de los resultados del sellado de fisuras por autor

- Ruiz, A. & Valverde, E.

En esta investigación se utilizó la bacteria *Bacillus Subtilis* como aditivo del hormigón, con las concentraciones de 10^9 y 10^{12} células/ml para desarrollar el ensayo de autosellado de fisuras.

Para la mezcla de hormigón, se utilizó el cemento Portland Tipo 1, cumpliendo con las características mínimas de calidad, sometiéndose a pruebas de granulometría, peso unitario, contenido de humedad, peso específico y absorción. Se agregó extracto de levadura al hormigón como nutriente para las bacterias.

Se realizaron 6 muestras para los ensayos de sellado de fisuras, 2 para cada tipo de concentración bacteriana y 2 para el hormigón patrón.

Según los resultados en la **tabla 25**, se observa que el hormigón patrón solo logró sellar al 100% fisuras de 0.15 mm de espesor, en comparación con el hormigón bacteriano de concentración 10^9 cel/ml que logró sellar al 100% fisuras de hasta 0.3 mm de espesor, siendo este el doble, y el hormigón bacteriano de concentración 10^{12} cel./ml que logró sellar al 100% fisuras de 0.25 mm de espesor.

En el ensayo para las grietas de mayor espesor, como se muestra en la **tabla 25**, existen fisuras de 0.6 mm de grosor que solo se pudo sellar 0.2 mm de grieta representando el 33% de la fisura total, utilizando estas bacterias como aditivo en el hormigón en ambas concentraciones.

- Reynoso, Reeksting, Heath, Gebhard & Paine

Para esta investigación se utilizó 3 tipos de muestras que se sometieron al ensayo para observar su efectividad en el sellado de fisuras. Se realizó el concreto de referencia, el concreto de control y el concreto bacteriano. Se utilizó cemento de piedra caliza Portland y la relación de agua cemento fue de 0.5.

El concreto de referencia solo contenía cemento, arena y agua; el concreto de control, se adiciono nutrientes como extracto de levadura y Nitrato de Calcio, mientras que el

concreto bacteriano se le adicionó nutrientes y esporas de bacterias con una dosificación de 2.1×10^{10} cel./ml.

De acuerdo a la **tabla 27** realizaron el análisis con una fisura inicial de 0.5 mm de grosor, obteniendo un sellado de 0.044 mm con el concreto de referencia, representando solo un 8.8% de la fisura total.

Con el concreto de control se obtuvo un sellado de 0.097 mm siendo mayor que el concreto de referencia, utilizando nutrientes en el concreto, que representa un 19.4% de la fisura total.

Utilizando bacterias del género bacillus Licheniformis en el concreto, se obtuvo un sellado de fisura de 0.472 mm a una concentración de 2.1×10^{10} cel./ml, que representa un 94.4% de la fisura total, siendo casi un sellado al 100%.

- **Rong, Hui; Wei, Guanqi; Ma, Guowei; Zhang, Ying; Zheng, Xinguo & Zhang, Lei; Xu, Rui**

En esta investigación se escogió el Bacillus Pasteurii para su estudio en el concreto, debido a su excelente capacidad de supervivencia en ambiente alcalino y alta eficiencia de mineralización de carbonato de calcio. Se estudió la propiedad de autosellado de fisura en el concreto con distintas concentraciones bacterianas que fueron $10^7, 10^8, 10^9$ células/ml.

Según la **tabla 29**, se obtuvieron distintos tipos de mezclas para cada tipo de concentración bacteriana. Para los ensayos respectivos, se utilizaron 2 medidas de grietas como fisura inicial que fueron, 0.3 y 0.7 mm. La mezcla A que representa una dosificación de 10^7 cel./ml, obtuvo un sellado de 0.203 mm para la fisura de 0.3 mm y 0.208 mm para la fisura de 0.7 mm, representando el 68.3% y 29.7% respectivamente.

La mezcla B que representa una dosificación de 10^8 cel./ml, obtuvo un sellado de 0.268 mm para la fisura de 0.3 mm y 0.339 mm para la fisura de 0.7 mm, representando el 89.3% y 48.4% respectivamente. Finalmente, la mezcla C que representa una dosificación de 10^9 cel./ml, obtuvo un sellado de 0.284 mm para la fisura de 0.3 mm y 0.528 mm para la fisura de 0.7 mm, representando el 94.7% y

75.4% respectivamente, siendo esta dosificación la más óptima en el concreto, desarrollando un mayor porcentaje de sellado de fisuras frente al resto de dosificaciones.

5.1.4. Determinar la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus para reducir la absorción del hormigón.

Autores: Hosseini Balam, Nafise; Mostofinejad, Davood & Eftekhar, Mohamadreza

Artículo 18: "Effects of bacterial remediation on compressive strength, water absorption, and chloride permeability of lightweight aggregate concrete"

Concentración bacteriana

Emplearon *Sporosarcina pasteurii* (*S. pasteurii*), para la activación de calcita bacteriana. Con el fin de obtener una concentración bacteriana de 10^6 células/ml, emplearon 8g de caldo de nutritivo-urea. El cultivo se incubó a 37° C con agitación a 150 rpm durante 48 h. Posteriormente, las células bacterianas se recolectaron por centrifugación a 6000 rpm durante 10 min. Las células cultivadas de 48 h de edad finalmente se lavaron dos veces en la solución salina. (Hosseini Balam & Mostofinejad, 2017, pág. 2) .

Contenido de mezcla

Diseñaron las mezclas para la obtención de resistencia de 25 MPa a los 28 días de curado. Emplearon agregados livianos finos y gruesos, cemento portland y un aditivo superplastificante. Fueron diseñadas según ACI 211.2.

Tabla N° 31

Materiales para la mezcla de hormigón de materiales ligeros

Material	Masa (kg/m ³)
Leca (LWA grueso)	456
Leca (LWA fino)	152
Arena Fina (NWA)	527
Cemento	405
Agua	160
Superplastificante	0.05

Fuente: “Effects of bacterial remediation on compressive strength, water absorption, and chloride permeability of lightweight aggregate concrete “ (Hosseini Balam & Mostofinejad, 2017, pág. 3).

Especímenes

Realizaron la prueba de absorción de agua según la norma ASTM C 642-97, determinaron el aumento de la resistencia a la penetración del agua en el hormigón mediante el ensayo de moldes cúbicos de 70 mm de tamaño, con y sin bacterias.

Tabla N° 32

Etiqueta de especímenes para ensayos a absorción

Prueba	Dimensiones de la muestra	Condición de curado	Tiempo de curado (días)	
			28	90
Absorción de agua.	cúbico (70 mm)	Urea-CaCl ₂	YN-UC-1	YN-UC-2
		Urea-CaCl ₂	AA-UC-1	YY-UC-2
		Urea-CaCl ₂	NY-UC-1	NY-UC-2
		Urea-CaCl ₂	NN-UC-1	NN-UC-2
		Agua	YN-WC-1	YN-WC-2
		Agua	NN-WC-1	NN-WC-2

Fuente: “Effects of bacterial remediation on compressive strength, water absorption, and chloride permeability of lightweight aggregate concrete “ (Hosseini Balam & Mostofinejad, 2017, pág. 4).

Resultados

Tabla N° 33

Resultados del porcentaje de absorción

Grupo de muestras	Condición de curado	Valor de absorción de agua en %	
		28 días	90 días
YN-WC	Agua	12.4	7.5
NN-WC	Agua	14	10.9
YN-UC	Urea-CaCl ₂	12.8	13.8
AA-UC	Urea-CaCl ₂	6.4	5.1
NY-UC	Urea-CaCl ₂	9.6	5.7
NN-UC	Urea-CaCl ₂	19	23

Fuente: “Effects of bacterial remediation on compressive strength, water absorption, and chloride permeability of lightweight aggregate concrete “ (Hosseini Balam & Mostofinejad, 2017, pág. 5).

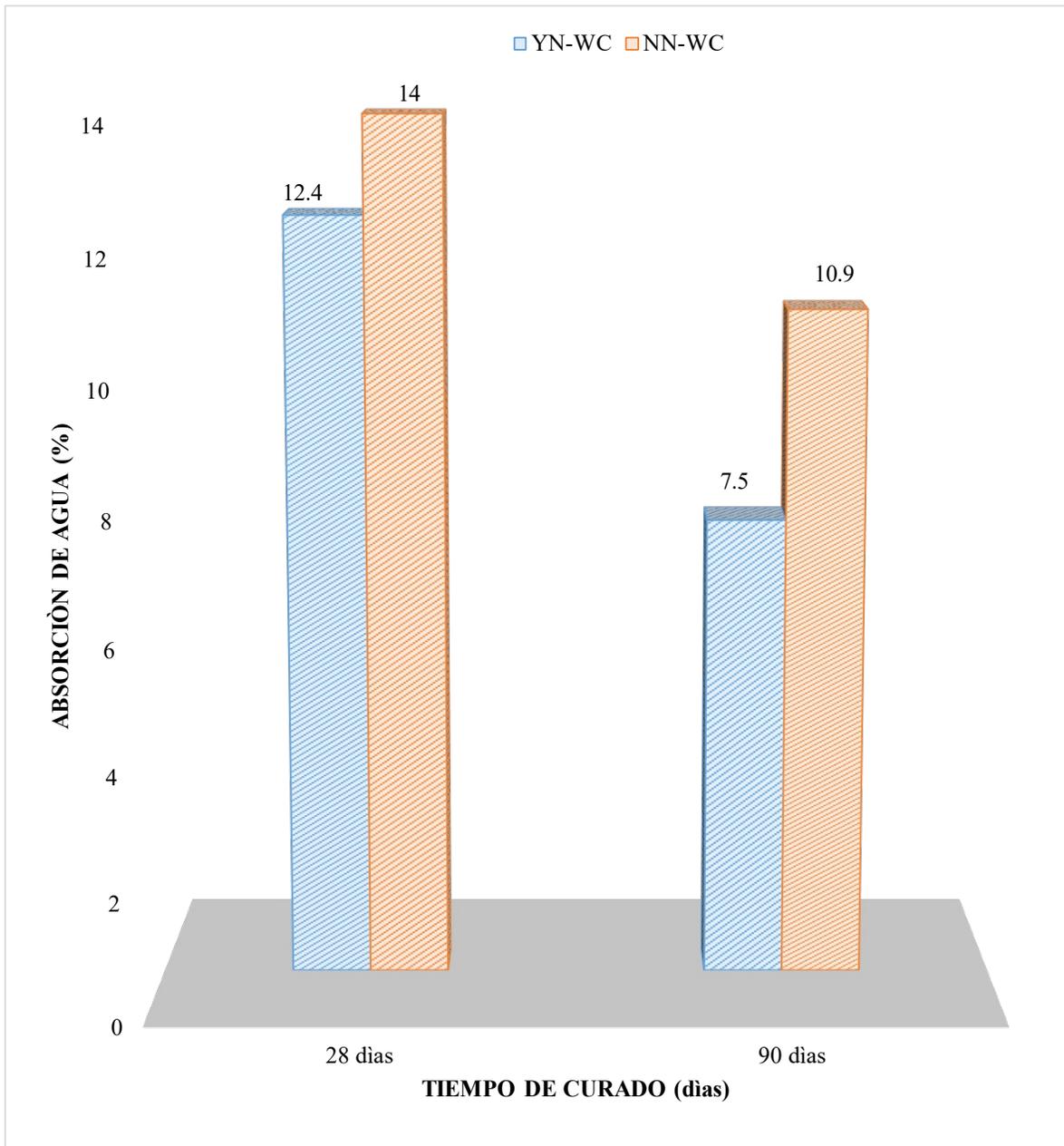


Figura N 26 : Gráfico de % de absorción de agua de especímenes con y sin bacterias curadas en agua a los 28 y 90 días.

Fuente: “Effects of bacterial remediation on compressive strength, water absorption, and chloride permeability of lightweight aggregate concrete “ (Hosseini Balam & Mostofinejad, 2017, pág. 4).

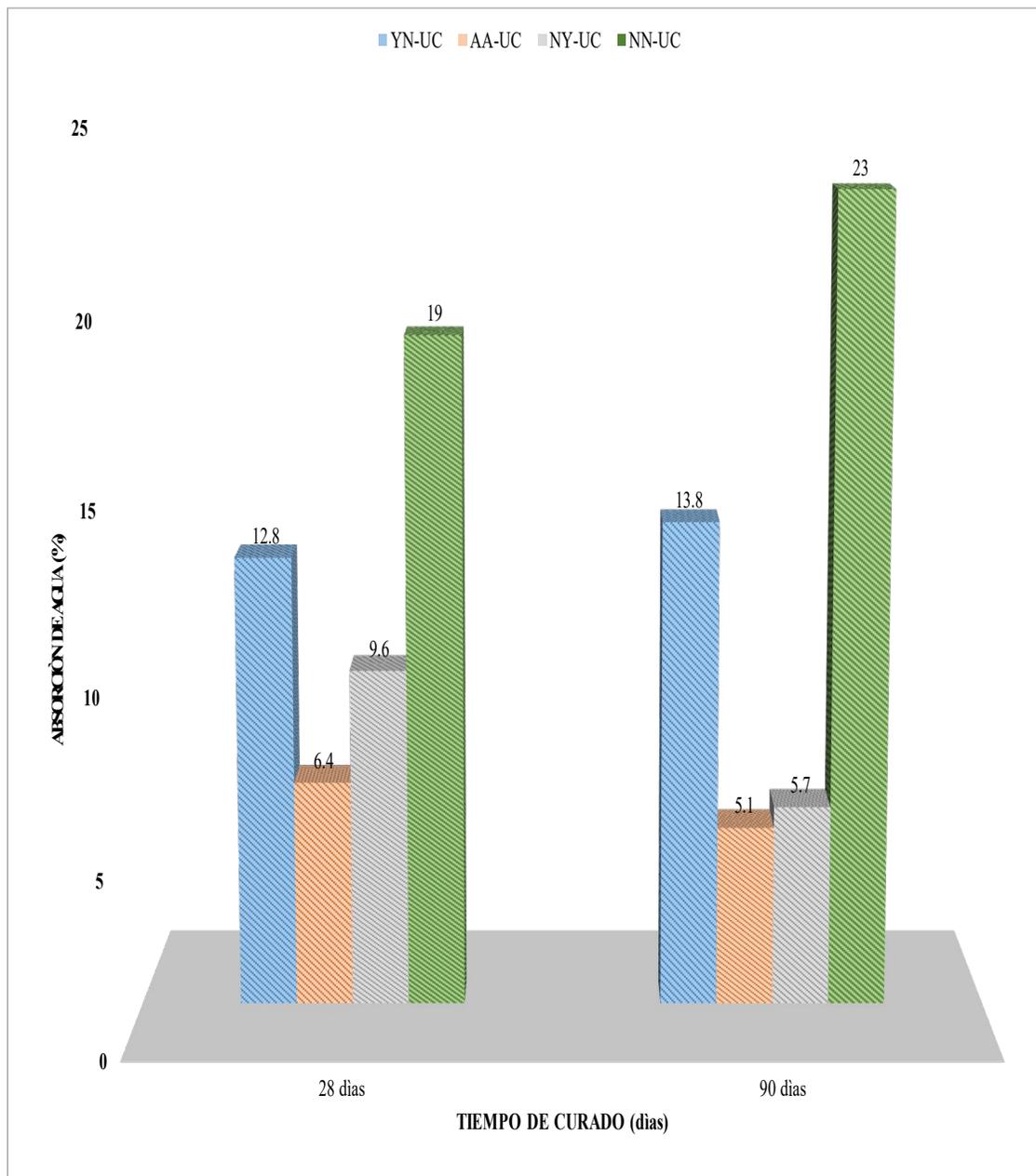


Figura N 27: Gráfico de % de absorción de especímenes con y sin bacterias curadas en Urea-CaCl₂ a los 28 y 90 días.

Fuente: “Effects of bacterial remediation on compressive strength, water absorption, and chloride permeability of lightweight aggregate concrete “ (Hosseini Balam & Mostofinejad, 2017, pág. 4).

Autores: Ameri, Farshad; Shoaie, Parham; Bahrami, Nasrollah; Vaezi, Mohammadsadegh & Ozbakkaloglu, Togay

Artículo 8: " *Optimum rice husk ash content and bacterial concentration in self-compacting concrete*"

Concentración bacteriana

Emplearon bacillus pasteurii aisladas del suelo de la rizosfera y del suelo alcalino. Las muestras se suspendieron en una solución estéril de NaCl al 0,85 % y se diluyeron adecuadamente. La incubación se llevó a cabo a 28 °C y las colonias se examinaron cada 5 días bajo un microscopio estereoscópico para determinar los aislados positivos, Se agregaron células bacterianas al agua de diseño en diferentes concentraciones celulares, incluyendo 10^3 , 10^5 , y 10^7 células/ml. Las concentraciones requeridas se obtuvieron mediante dilución repetitiva. (Ameri, Shoaie, Bahrami, & Vaezi, 2019, pág. 5)

Contenido de Mezcla

Realizaron la prueba de absorción de agua según la norma ASTM C 642-97, determinaron el aumento de la resistencia a la penetración del agua en el hormigón a los 7,28 y 91 días.

Diseño de mezcla:

Tabla N° 34

Mezcla	a/c	Cemento (kg/m ³)	Agua (kg/m ³)	Arena (kg/m ³)	Piedra pómez (kg/m ³)	Polvo de Caliza (kg/m ³)	RHA (kg/m ³)	Micro- sílice (%)	Bacterias (células/ml)	superplastificante (%)
R0	0.4	450	238	625	780	100	0	10	–	2.5
B1R15	0.4	382.5	238	625	780	100	67.5	10	10 ³	2.5
B2R15	0.4	382.5	238	625	780	100	67.5	10	10 ⁵	2.5
B3R15	0.4	382.5	238	625	780	100	67.5	10	10 ⁷	2.5

Diseño de mezcla del hormigón patrón y el hormigón bacteriano

Fuente: "Optimum rice husk ash content and bacterial concentration in self-compacting concrete" (Ameri, Shoaei, Bahrami, & Vaezi, 2019, pág. 7).

Especímenes

Prepararon tres mezclas bacterianas con tres concentraciones 10^3 , 10^5 , y 10^7 células/ml, B1R15, B2R15 y B3R15 utilizaron un contenido óptimo de RHA del 15 %. La concentración bacteriana óptima solo se investigó para el hormigón RHA óptimo, es decir, un contenido de RHA del 15 %, ya que estudios previos demostraron que la concentración bacteriana óptima no estaba influenciada por la dosificación de los materiales cementicios suplementarios.

Tabla N° 35

Etiqueta de especímenes

Prueba	Dimensión de la muestra	Entorno de curado	Etiqueta de Especímenes
Absorción de agua	Cúbico	Agua	R0 B1R15 B2R15 B3R15

Fuente: "Optimum rice husk ash content and bacterial concentration in self-compacting concrete" (Ameri, Shoaie, Bahrami, & Vaezi, 2019, pág. 7).

Resultados

Tabla N° 36

Absorción de agua del concreto bacteriano y convencional

Mezcla	Absorción de agua en %		
	7 días	28 días	91 días
R0	6.4	4.8	4.3
B1R15	4.9	3.2	2.3
B2R15	3.1	1.4	0.9
B3R15	2.8	1.1	0.5

Fuente: "Optimum rice husk ash content and bacterial concentration in self-compacting concrete" (Ameri, Shoaie, Bahrami, & Vaezi, 2019, pág. 12).

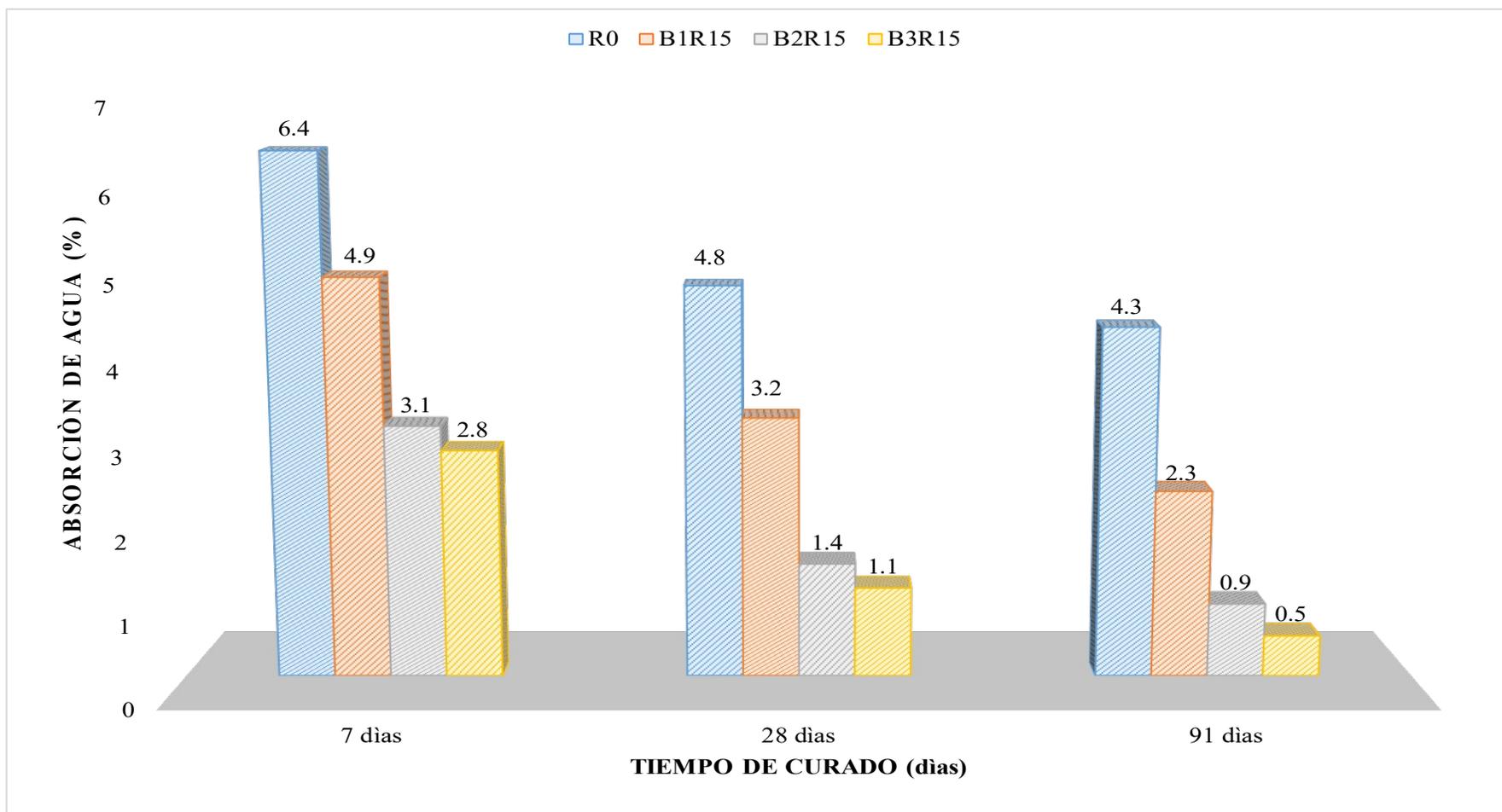


Figura N 28: Gráfico de % de absorción de agua del R0 (hormigón convencional) y hormigón bacteriano.

Fuente: " Optimum rice husk ash content and bacterial concentration in self-compacting concrete" (Ameri, Shoaei, Bahrami, & Vaezi, 2019, pág. 12)

Autores: Salmasi, Farnaz & Mostofinejad, Davood

Artículo 10: *“Investigating the effects of bacterial activity on compressive strength and durability of natural lightweight aggregate concrete reinforced with steel fibers”*

Concentración bacteriana

Emplearon cepas de bacterias bacillus subtilis, para cultivarlas y obtener la concentración requerida para la presente investigación de 10^7 células/ml. Cada 13 gr de caldo nutritivo estaba compuesto por: 1gr de extracto de carne, 2 gr de extracto de levadura, 5 gr de peptona y 5 gr de NaCl, con un pH de 7. Esterilizaron todo el equipo empleado y el medio de cultivo en autoclave a una temperatura de 121 ° C durante 20 min. Activaron la cepa bacteriana y se inoculó en el medio de cultivo. Luego, el medio líquido que contenía bacterias se transfirió a una incubadora que funcionaba a 115 rpm, donde se mantuvo a 30 °C durante 24 h para crecer. Todas las etapas de cultivo se realizaron en condiciones estériles. Después del crecimiento bacteriano, los medios de cultivo se colocaron en una centrífuga a 6000 rpm durante 10 min para separar las bacterias del medio líquido. Luego, los cultivos se incubaron a 30 °C en una incubadora con agitador que funcionaba a 130 rpm durante 72 h antes de recolectar las células bacterianas de los cultivos de 72 h de edad mediante centrifugación a 5000 rpm durante 10 min y se lavaron dos veces en una solución salina NaCl, 8,5 g/L). Además, algunos de los medios de cultivo previamente inoculados se mantuvieron a 40 °C durante 3 semanas para crear las condiciones para que las bacterias formaran esporas. Durante este período se evaluó la turbidez de los medios de cultivo para asegurar la concentración de células bacterianas. (Salmasi, 2020, pág. 3).

Contenido de mezcla

La prueba de absorción de agua se realizó de acuerdo con la norma ASTM C 642, utilizando especímenes cilíndricos de 28, 90 y 150 días de 100 mm de diámetro y 200 mm de altura. Elaboraron un diseño de mezcla inicial de acuerdo

con ACI 211.2–98. Con un a/c de 0,35, las muestras se colaron para alcanzar una resistencia a la compresión de al menos 40 MPa. Añadieron superplastificante a base de policarboxilato a una dosis de 0.25% del peso de cemento sin fibras de acero y 0.3% las que contenían acero.

Tabla N° 37

proporciones de mezcla de los diseños de mezcla de hormigón

Material	Masa (kg/m ³)
Cemento	450
Grava	393
Arena	575
Agua	160
fibra de acero	78.5
superplastificante	0,25–0,30 (%)

Fuente: “Investigating the effects of bacterial activity on compressive strength and durability of natural lightweight aggregate concrete reinforced with steel fibers” (Salmasi, 2020, pág. 4).

Tabla N° 38

características de la fibra utilizada

Características	Cantidad
Densidad (kg/m ³)	785
Longitud (mm)	36
Resistencia a la tracción (MPa)	1000–1800
Absorción de agua (%)	0

Fuente : “Investigating the effects of bacterial activity on compressive strength and durability of natural lightweight aggregate concrete reinforced with steel fibers” (Salmasi, 2020, pág. 3).

Especímenes

El sistema de nombres involucra un 'cs' inicial, 'bs' o 'sp' que significa 'Control Espécimen', 'B. subtilis' o 'esporas' bacterianas, respectivamente. Esto es seguido por las iniciales de la prueba a la que se someten los especímenes. La tercera parte de la designación incluye las iniciales del ambiente de curado (es decir, w representa agua, c para solución de urea-lactato de calcio y n para caldo

nutritivo). Finalmente, la designación de algunos especímenes termina en la letra 'f' que representa la fibra de acero.

Tabla N° 39

Especificaciones y etiquetas de los especímenes

Prueba	Dimensión de la muestra	Entorno de curado	Etiqueta de Especímenes
			cs-aw
Absorción de agua	Diámetro de 100 mm y 200 mm de altura	Agua	cs-awf
			bs-aw
			bs-awf
		Urea-lactato de calcio	cs-a-c
			cs-a-c-f
			bs-a-c
			bs-a-c-f

Fuente : “Investigating the effects of bacterial activity on compressive strength and durability of natural lightweight aggregate concrete reinforced with steel fibers” (Salmasi, 2020, pág. 5).

Resultado

Tabla N° 40

Resultado de la absorción de agua del hormigón bacteriano y de control curado en agua y Urea-Lactato de calcio

Entorno de curado	Muestra	Valores de absorción de agua (%).	
		28	90
Agua	cs-aw	7.83	7.48
	cs-awf	7.91	7.52
	bs-aw	5.51	5.34
	bs-awf	4.92	4.61
Urea-lactato de calcio	cs-ac	8.05	7.69
	cs-acf	8.05	7.69
	bs-ac	4.79	4.24
	bs-acf	5.03	4.67

Fuente : “Investigating the effects of bacterial activity on compressive strength and durability of natural lightweight aggregate concrete reinforced with steel fibers” (Salmasi, 2020, pág. 12).

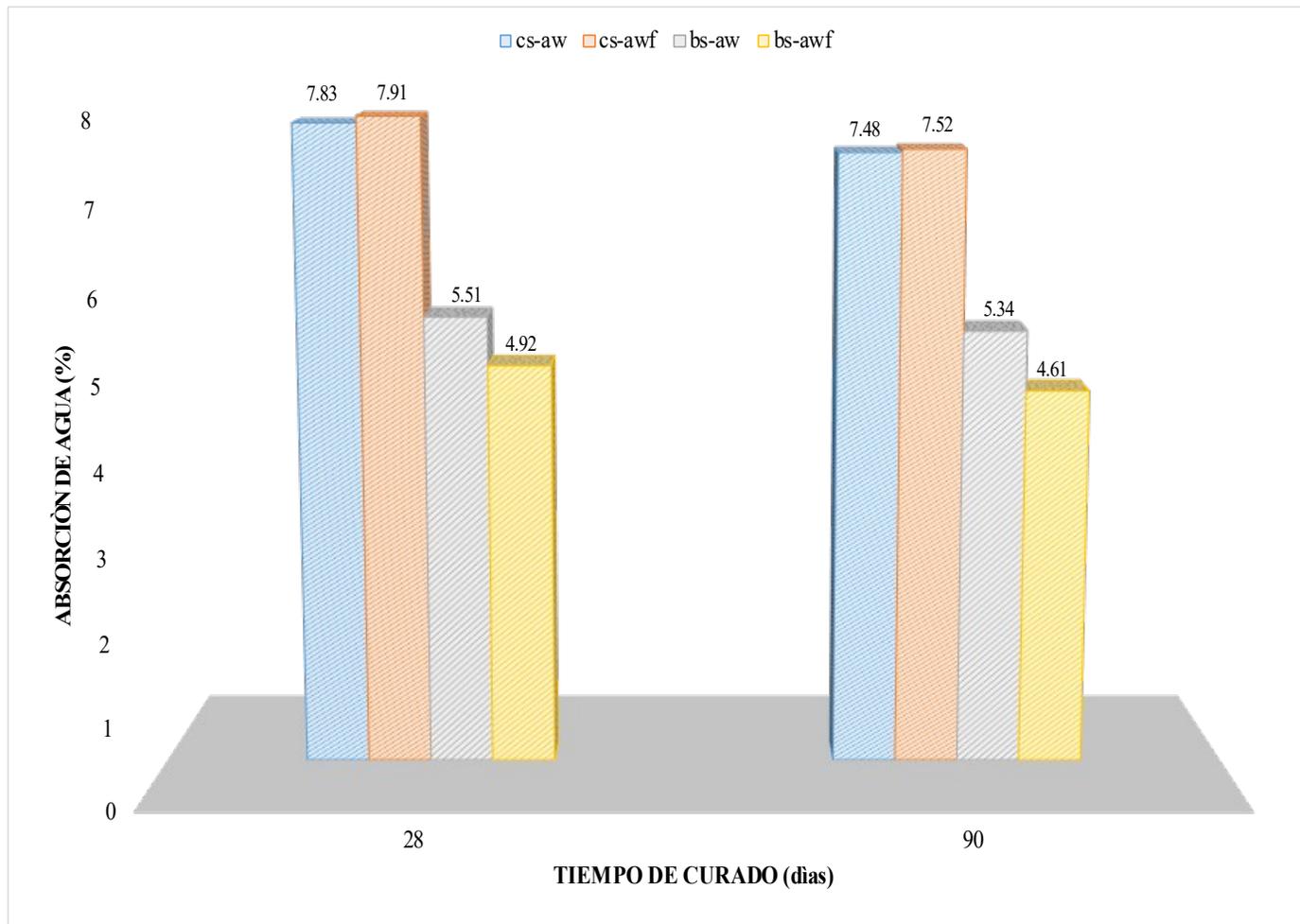


Figura N 29: Gráfico de absorción de agua de concreto bacteriano y convencional curado en agua.

Fuente : “Investigating the effects of bacterial activity on compressive strength and durability of natural lightweight aggregate concrete reinforced with steel fibers” (Salmasi, 2020, pág. 12).

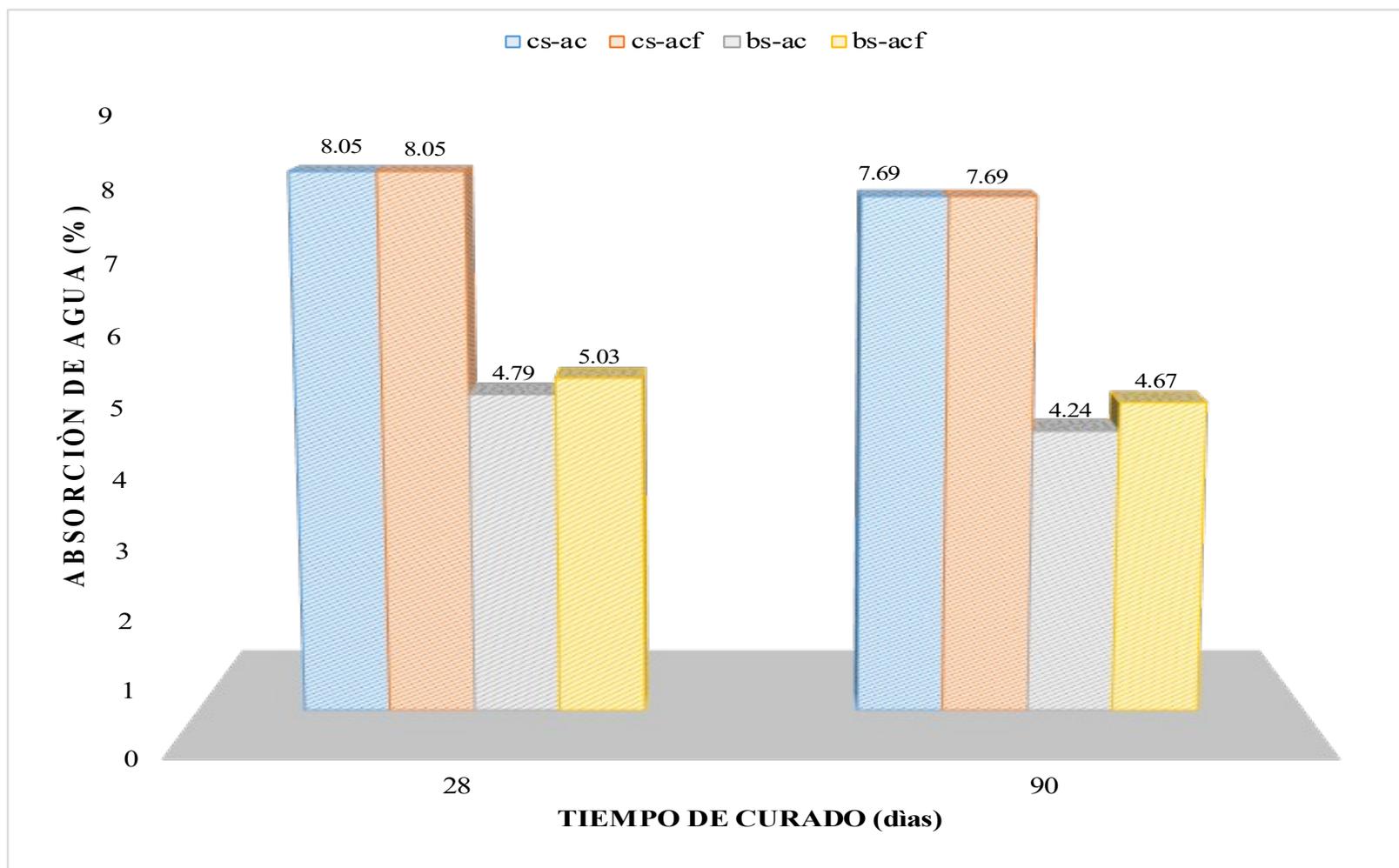


Figura N 30: Gráfico de absorción de agua de concreto bacteriano y convencional curado en Urea-CaCl₂

Fuente : “Investigating the effects of bacterial activity on compressive strength and durability of natural lightweight aggregate concrete reinforced with steel fibers” (Salmasi, 2020, pág. 12).

Autores: Mohammad Mirshahmohammad, Hamid Rahmani; Mahdi Maleki-Kakelar & Abbas Bahari

Artículo 24: " *Effect of sustained service loads on the self-healing and corrosion of bacterial concretes.* "

Concentración bacteriana

Emplearon *Esporosarcina pasteurii* en una concentración de 10^7 células/ml. Inocularon en 200 ml de un medio de crecimiento que contenía extracto de levadura (20 g/l) y NH_4Cl (10 g/l) a un valor de pH de 8,5. Las células bacterianas se incubaron aeróbicamente en un agitador rotatorio (200 rpm) a 30°C . La concentración de biomasa se determinó cuantificando la absorbancia de la suspensión (densidad óptica) utilizando un espectrofotómetro (Bio-Photometer, Eppendorf, Hamburgo, Alemania) a una longitud de onda de 600 nm (OD600). (Mohammad Mirshahmohammad & Bahari, 2022, pág. 2)

Contenido de Mezcla

Realizaron la prueba de absorción de agua según la norma ASTM C 642-97, elaboraron muestras cúbicas, que fueron curadas a los 7,28 días.

Añadieron a la mezcla los siguientes materiales como fuente de alimento para las bacterias.

Tabla N° 41

Cantidad de nutrientes utilizados en las mezclas de hormigón

Composición	Contenido (g/l)
Urea	20
Nitrato de Calcio	10
Cloruro de calcio	10

Fuente: " *Effect of sustained service loads on the self-healing and corrosion of bacterial concretes.* " (Mohammad Mirshahmohammad & Bahari, 2022, pág. 3).

Especímenes

Los especímenes elaborados en la investigación se denominaron con las letras M, Cl, Ni.

M: muestra control.

Cl: Muestra con cloruro de calcio.

Ni: Muestra con Nitrato de Calcio

Resultados

Tabla N° 42

Absorción de agua de la muestra de control y de la muestra bacteriana.

Entorno de curado	Muestra	Valores de absorción de agua (%).	
		7	28
Agua	M	7.25	6.83
	Ni	6.45	5.56
	Cl	6.48	5.3

Fuente: " Effect of sustained service loads on the self-healing and corrosion of bacterial concretes." (Mohammad Mirshahmohammad & Bahari, 2022, pág. 5).

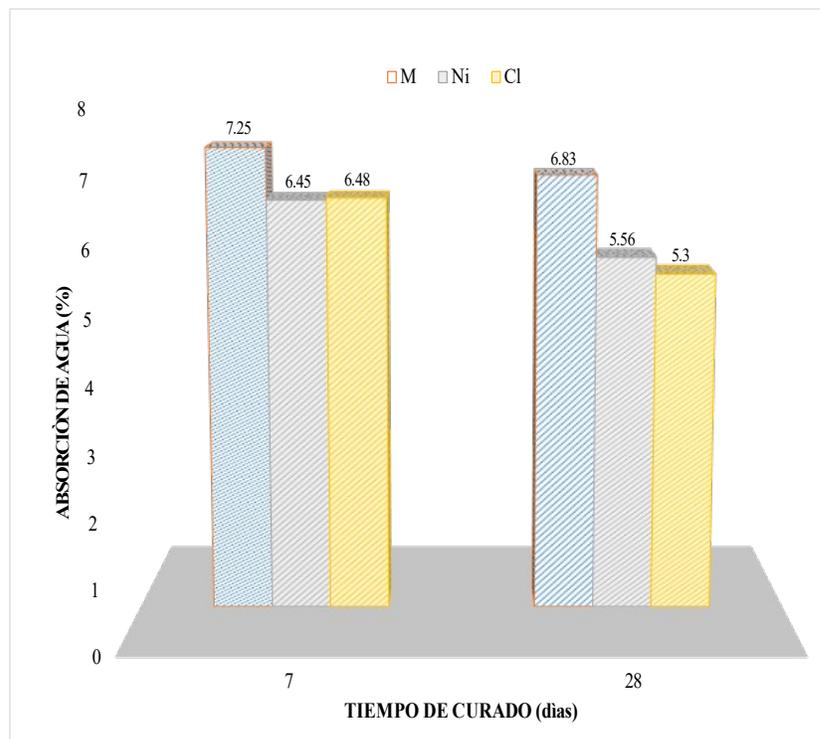


Figura N 31: Gráfico de absorción de agua de concreto bacteriano y convencional curado en agua.

Fuente: " Effect of sustained service loads on the self-healing and corrosion of bacterial concretes." (Mohammad Mirshahmohammad & Bahari, 2022, pág. 5).

a. Análisis comparativo de los resultados

Tabla N° 43

Comparación de % de absorción de agua del hormigón bacteriano y el hormigón de control a los 7 y 28 días

N°	Autor	Título	Concentración bacteriana células/ml	Tipo de bacteria	Aditivos o adiciones	Muestra Nomenc	Valor de absorción de agua en %		
							7 días	28 días	90 días
8	Salmasi, Farnaz & Mostofinejad, Davood	Investigating the effects of bacterial activity on compressive strength and durability of natural lightweight aggregate concrete reinforced with steel fibers	10 ³ , 10 ⁵ y 10 ⁷	Sporosarcina pasteurii	RHA + Superplastificante + solución bacteriana	R0	6.4	4.8	4.3
						B1R15	4.9	3.2	2.3
						B2R15	3.1	1.4	0.9
						B3R15	2.8	1.1	0.5
24	Mohammad Mirshahmohammad, Hamid Rahmani, Mahdi Maleki-Kakelar & Abbas Bahari	Effect of sustained service loads on the self-healing and corrosion of bacterial concretes.	10 ⁷	Sporosarcina pasteurii	Solución bacteriana	M	7.25	6.83	
						Ni	6.45	5.56	
						Cl	6.48	5.3	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 44

Comparación de % de absorción de agua del hormigón bacteriano y el hormigón de control a los 28 y 90 días

N°	Autor	Título	Concentración bacteriana células/ml	Tipo de bacteria	Aditivos o adiciones	Muestra Nomenc	Valor de absorción de agua en %		
							7 días	28 días	90 días
18	Hosseini Balam, Nafise; Mostofinejad, Davood & Eftekhar, Mohamadreza	Effects of bacterial remediation on compressive strength, water absorption, and chloride permeability of lightweight aggregate concrete.	10 ⁶	Sporosarcina pasteurii	Superplastificante	YN-WC	12.4	7.5	
						NN-WC	14	10.9	
						YN-UC	12.8	13.8	
						AA-UC	6.4	5.1	
						NY-UC	9.6	5.7	
						NN-UC	19	23	
10	Salmasi, Farnaz & Mostofinejad, Davood	Investigating the effects of bacterial activity on compressive strength and durability of natural lightweight aggregate concrete reinforced with steel fibers	10 ⁷	Bacillus subtilis	Superplastificante	cs-ac	8.05	7.69	
						cs-cf	8.05	7.69	
						bs-ac	4.79	4.24	
						bs-cf	5.03	4.67	

Fuente: Elaboración propia

b. Análisis de los resultados de los ensayos de absorción de agua por autor

- Hosseini Balam, Nafise; Mostofinejad, Davood & Eftekhar, Mohamadreza

Los autores “Hosseini Balam, Nafise; Mostofinejad, Davood & Eftekhar, Mohamadreza “emplearon 10^6 células/ml para la elaboración del hormigón bacteriano y aditivo superplastificante como lo muestra la **tabla 30**. realizaron la prueba de absorción de acuerdo con la norma ASTM C 642-97, utilizando especímenes cúbicos de 70 mm de tamaño, con y sin bacteria de acuerdo a la **tabla 31**.

Según la **figura 26**, la muestra NN-WC la muestra patrón sin adición de bacterias presentó 14% de porcentaje de absorción de agua a los 28 días de curado en agua y 10.9 % a los 90 días de curado. Para la muestra YN-WC (muestra con agregados pretratados con bacterias), presentó 12.4%de absorción de agua a los 28 días de curado y 7.5% a los 90 días de curado. YN-WC, presentó una disminución del 11.45% de absorción de agua en comparación con la muestra de control NN-WC a los 28 días de curado en agua y 31.19%a los 90 días de curado.

Las muestras curadas en Urea- CaCl_2 presentaron los siguientes porcentajes de absorción: NN-UU (muestra patrón)19%, YN-UC 12.8%, YY-UC 6.4%, NY-UC 9.6% a los 28 días de curado. A los 90 días de curado NN-UU (muestra patrón) 23%, YN-UC 13.8%, YY-UC 5.1%, NY-UC 5.7%.

Se observa que La muestra YY-UC es la que presenta mayor resistencia a la penetración del agua, presentó una disminución significativa del 66.32% de absorción de agua y a los 90 días 77.83% con respecto a la muestra patrón.

- Ameri, Farshad; Shoaie, Parham; Bahrami, Nasrollah; Vaezi, Mohammadsadegh & Ozbakkaloglu, Togay

Los autores emplearon tres concentraciones bacterianas; 10^3 , 10^5 , y 10^7 células/ml con 15% de RHA, como lo muestra la **tabla 33**. elaboraron especímenes cúbicos b1r15, b2r15 y b3r15 según la **tabla 34**, realizaron la prueba de absorción de agua según la norma ASTM C 642-97.

De acuerdo a la **figura 28** en el cual se muestran los resultados de la prueba de absorción de agua de las muestras bacterianas y el espécimen de control : La muestra patrón a los 7 días de curado presentó 6.4% de absorción de agua, a los 28 días 4.9%, a los 91 días de 4.3%. Las muestras B1R15, B2R15 y B3R15 a los 7 días de curado presentaron los siguientes porcentajes de absorción de agua de 4.9%, 3.1% y 2.8 %. A los 28 días de curado presentaron los siguientes porcentajes de absorción 3.2%, 1.4% y 1.1%. A los 91 días de curado 2.3%, 0.9% y 0.5%. De acuerdo a los resultados obtenidos la muestra con una disminución significativa de absorción de agua a los 28 días fue B3R15 (hormigón elaborado con 10^7 células/ml) hasta del 77.08% con respecto al concreto patrón y a los 91 días del 88.37 % con respecto a la muestra patrón.

- **Salmasi, Farnaz & Mostofinejad, Davood**

Los autores “Salmasi, Farnaz & Mostofinejad, Davood “emplearon 10^7 células/ml para la elaboración del hormigón bacteriano, fibra de acero y aditivo superplastificante como lo muestran las **tablas 36** y **37**. realizaron pruebas de absorción de acuerdo con la norma ASTM C 642, mediante la elaboración de especímenes cilíndricos de 28, 90 y 150 días de 100 mm de diámetro y 200 mm de altura.

De acuerdo a la **figura 29**, las muestras cs-aw y cs-awf (muestras patrón sin adición de bacteria curadas en agua) presentaron 7.83% , 7.91% de absorción de agua a los 28 días de curado. A los 90 días obtuvieron 7.48% y 7.52 % de absorción de agua. Las muestras bs-aw y bs-awf (muestras bacterianas sin y con fibras de fibra de acero) a los 28 días de curado obtuvieron , 5.54% y 4.92% porcentaje de absorción de agua. A los 90 días de curado 5.345 y 4.61%. porcentaje de absorción de agua. Las muestras bacterianas presentaron valores menores de absorción de agua en comparación a las muestras de control. Las muestras bs-aw y bs-awf (muestra bacteriana con y sin fibra de acero) presentó una disminución del 29.25 % y 37.80 % de absorción de agua en comparación a la muestra de control a los 28 días de curado. En conclusión, la muestra curada en agua bs-awf, presentó mayor resistencia a la penetración de agua.

Según la **figura 30**, la muestra cs-ac y cs-af (muestras de control con y sin fibras de acero) curadas en Urea-CaCl₂, presentaron los siguientes valores de absorción: A los 28 días, 8.05% y 8.05% y a los 90 días 7.69% y 7.69%. Las muestras bs-ac y bs-acf (muestras bacterianas con y sin fibras de acero) curadas en Urea-CaCl₂ presentaron los siguientes resultados a los 28 días de curado de 4.79% y 5.03% y a los 90 días 4.24% y 4.67%. Se observa en la figura mencionada como disminuye significativamente la absorción de agua en las muestras bacterianas y se hace un poco más significativa en la muestra sin fibras de acero. Las muestras bs-ac y bs-acf disminuyen en 40.5% y 37.52% la absorción de agua con respecto a la muestra patrón a los 28 días. A los 90 días las muestras bs-ac y bs-acf disminuyen significativamente el % de absorción en 44.86 % y 39.28% con respecto a la muestra patrón. El hormigón bacteriano sin fibra de acero bs-aw curada en Urea-CaCl₂ es la que presenta mayor resistencia a la penetración del agua. En conclusión, las muestras curadas en entorno de Urea-CaCl₂ presentan menores valores de absorción de agua, lo cual indica que favorece a la producción de calcita bacteriana, ayudando a disminuir los poros y vacíos en la matriz del hormigón.

- **Mohammad Mirshahmohammad, Hamid Rahmani; Mahdi Maleki-Kakelar & Abbas Bahari**

Los autores “Mohammad Mirshahmohammad, Hamid Rahmani; Mahdi Maleki-Kakelar & Abbas Bahari “Emplearon *Esporosarcina pasteurii* en una concentración de 10⁷ células/ml para la elaboración de muestras bacterianas. Añadieron fuentes de nutrientes para las bacterias en la mezcla. Los especímenes fueron denominados como ;m,ni,cl, según el contenido del material especificado en la **tabla 40**. Realizaron la prueba de absorción de acuerdo con la norma ASTM C 642, utilizando especímenes cúbicos. Se observa en la **figura 31** que la muestra patrón sin adición de bacterias M presentó 7.25 % de porcentaje de absorción de agua a los 7 días de curado y 6.83 % a los 90 días de curado. La muestra Ni, presentó 6.45% de absorción de agua a los 7 días de curado y 5.56 % a los 28 días de curado. La muestra Ni mostró una disminución en el % de absorción de agua del 11.03% en comparación a la muestra convencional a los 7 días de curado en agua y 18.59 % a

los 28 días de curado. La muestra Cl, presentó 6.48% de absorción de agua a los 7 días de curado y 5.3 % a los 28 días de curado. La muestra Cl mostró una disminución del 10.62% en el valor de absorción en comparación a la muestra convencional a los 7 días de curado y una disminución del 22.40 % a los 28 días de curado.

Se observa que la muestra Ni es la que presenta mayor resistencia a la penetración del agua, en comparación con la muestra M (muestra sin bacterias) de 11.03% a los 7 días. Así mismo se observa que la muestra Cl es la que presenta mayor resistencia a la penetración del agua, en comparación con la muestra M (muestra sin bacterias) de 22.04 % a los 28 días.

5.2 Contratación de Resultados

5.2.1 Contratación de la primera hipótesis

HIPÓTESIS 1: Al determinar la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus aumenta la resistencia a la compresión del hormigón

Para determinar la influencia de la bacteria del género bacillus en la resistencia a la compresión del hormigón, se requiere realizar un análisis de los resultados de los ensayos a la compresión de las investigaciones plasmadas en el la **figura 32**.

- Hipótesis auxiliar

H0: Al determinar la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus no aumenta la resistencia a la compresión del hormigón

H1: Al determinar la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus si aumenta la resistencia a la compresión del hormigón

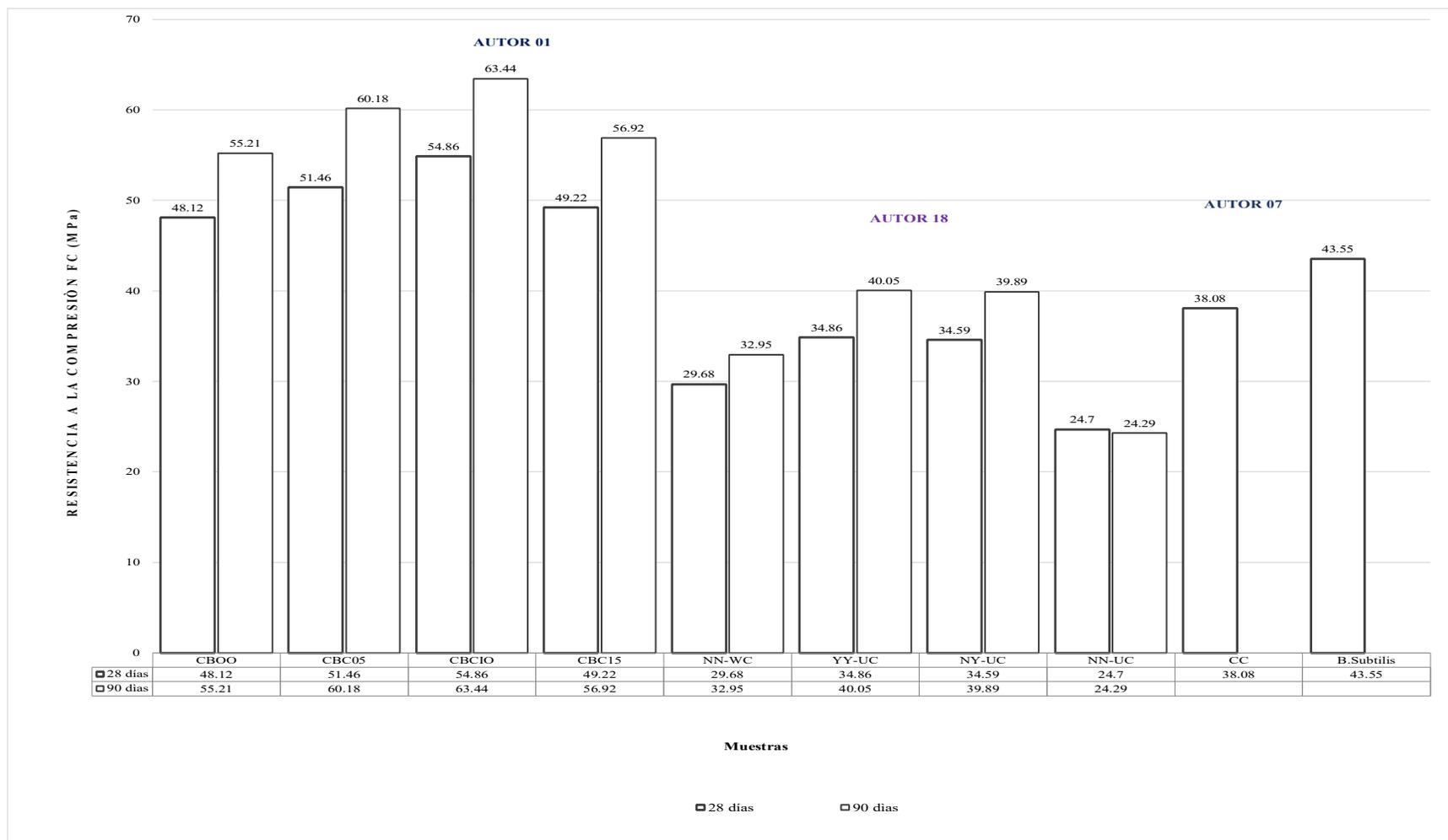


Figura N 32 : Comparación de los resultados de ensayos a la compresión de los hormigones a los 28 y 90 días.

Fuente: Elaboración propia.

- **Observación**

De acuerdo a la **figura 32** los autores emplearon distintas resistencias de diseño y concentraciones bacterianas; los autores Venkata Siva Rama Prasad, C. & Vara Lakshmi, TVS del artículo 1, elaboraron las muestras de hormigón con una resistencia de diseño de 40 MPa y una concentración de 10^5 células/ml, la muestra CBC 10 alcanzó la resistencia a la compresión máxima de 54.86 MPa a los 28 días de curado, superando en 14.86 MPa a la resistencia de diseño. Se observa que los autores Ameri, Farshad; Shoaie, Parham; Bahrami, Nasrollah; Vaezi, Mohammadsadegh & Ozbakkaloglu, Togay del artículo 18, elaboraron las muestras de hormigón con una resistencia de diseño de 25 MPa y una concentración de 10^6 células/ml, la muestra YY-UC alcanzó la resistencia a la compresión de 34.86 MPa a los 28 días de curado mayor en 5.18 MPa y 10.16 MPa la resistencia a la compresión de las muestras patrón NN-WC y NN-UC. Los autores Nain, Nidhi; Surabhi, R.; Yathish, N.V.; Krishnamurthy, V; Deepa, T. & Tharannum, Seema del artículo 07, elaboraron las muestras de hormigón con una resistencia de diseño de 30 MPa y una concentración de 10^8 células/ml, la resistencia alcanzada por la muestra B.Subtilis a los 28 días fue 43.55 MPa, superando en 5.45 MPa a la muestra de control. En los tres casos se observa el aumento del f'_c a los 28 días de curado, por lo tanto: Se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1) ya que al determinar la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus si aumenta la resistencia a la compresión del hormigón. De acuerdo a los resultados analizados del autor 18, con el empleo de 10^6 células/ml la resistencia a la compresión del hormigón bacteriano YY-UC se ve incrementado hasta en un 17.45% con respecto al espécimen de control a los 28 días de curado, el autor 1 con el empleo de 10^5 células/ml y 10 % de solución bacteriana CB10, presentó un incremento de la resistencia a la compresión del 37.15% con respecto a la muestra patrón y finalmente el autor 7, con el empleo de 10^8 células/ml y solución bacteriana en la muestra B.Subtilis, presentó un incremento de su resistencia a la compresión del 14.36% con respecto a la muestra patrón.

5.2.2 Contrastación de la segunda hipótesis

HIPÓTESIS 2: Al determinar la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus aumenta la resistencia a la flexión del hormigón. Para analizar la comparación de la resistencia a flexión entre el concreto bacteriano y el concreto tradicional, se requieren los resultados de ensayos experimentales de otros investigadores.

- Hipótesis Auxiliar

H0: Al determinar la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus no aumenta la resistencia a la flexión del hormigón.

H1: Al determinar la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus si aumenta la resistencia a la flexión del hormigón.

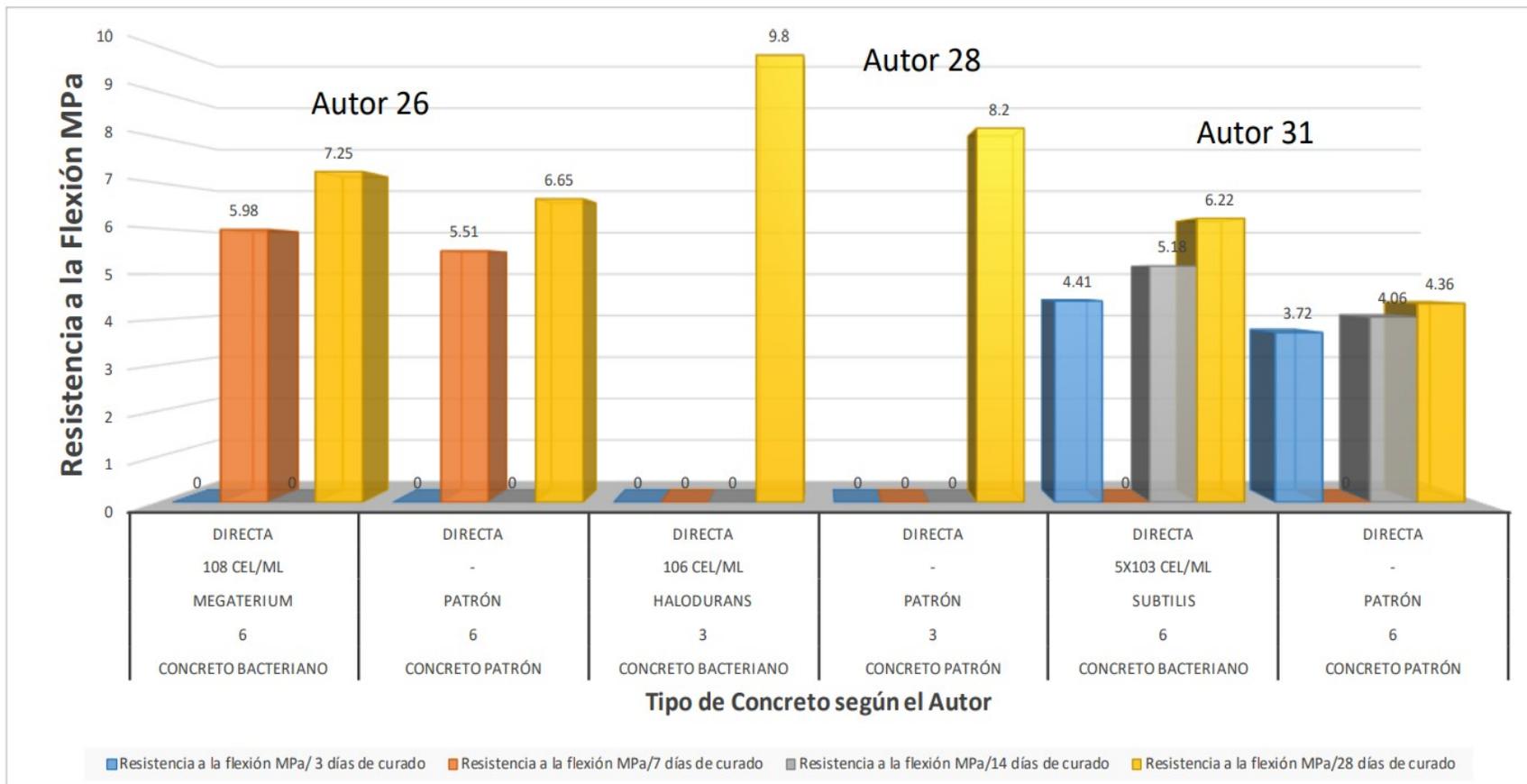


Figura N 33: Comparación de resistencia a flexión con bacteria del género Bacillus en el concreto

Fuente: Elaboración Propia

- **Observación:**

De acuerdo con la **figura 33** según los autores, el máximo incremento en la resistencia a la flexión del hormigón bacteriano va depender de su concentración y el tipo de bacteria del género *Bacillus* se utilice. Para los autores del artículo 26 la bacteria *Bacillus Megaterium* de concentración de 10^8 cel./ml, generó en el concreto una resistencia a la flexión máxima de 7.25 MPa a los 28 días de curado, siendo 1.27 MPa mayor que el concreto patrón y esto gracias a la solución líquida bacteriana que se agregó a la mezcla del concreto con caldo nutritivo, con respecto a los autores de artículo 28, se utilizó la bacteria *Bacillus Halodurans* con una concentración de 10^6 cel./ml alcanzando una resistencia a la flexión máxima de 10 MPa a los 28 días de curado, siendo 1.5 MPa mayor que el concreto patrón, por último los autores del artículo 31 utilizaron como un agregado la bacteria *Bacillus Subtilis* con una concentración de 5×10^3 cel./ml, alcanzando una resistencia a la flexión máxima de 6.22 MPa a los 28 días de curado, siendo 1.86 MPa superior al concreto patrón, debido a la solución bacteriana que se le agregó al concreto usando caldo nutritivo esterilizado en autoclave (Himedia, India) de composición estándar. Se puede observar en los 3 casos el aumento de la resistencia a la flexión a los 28 días.

Por tal motivo se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1) ya que al determinar la dosificación de la concentración bacteriana del género *Bacillus*, si aumenta la resistencia a la flexión del hormigón en distintos porcentajes y según la bacteria y su dosificación que se utilice. De acuerdo a los resultados analizados del autor del artículo 26, con la dosificación de 10^8 células/ml la resistencia a la flexión del hormigón bacteriano incremento hasta un 9% con respecto al espécimen de control a los 28 días de curado con la bacteria *B. Megaterium*, el autor del artículo 28 con el empleo de 10^5 células/ml, presentó un incremento de la resistencia a la flexión del 17.65% con respecto a la muestra patrón y finalmente el autor del artículo 31, con el empleo de 5×10^3 células/ml y solución bacteriana en la muestra *B. Subtilis*, presentó un incremento de sus resistencia a la flexión del 42.7% con respecto a la muestra patrón.

5.2.3 Contrastación de la tercera hipótesis

HIPÓTESIS 3: Al determinar la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus se reducen las fisuras del hormigón.

Para analizar la comparación de la resistencia a flexión entre el concreto bacteriano y el concreto tradicional, se requieren los resultados de ensayos experimentales de otros investigadores.

- Hipótesis Auxiliar

H0: Al determinar la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus no se reducen las fisuras del hormigón.

H1: Al determinar la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus si se reducen las fisuras del hormigón.

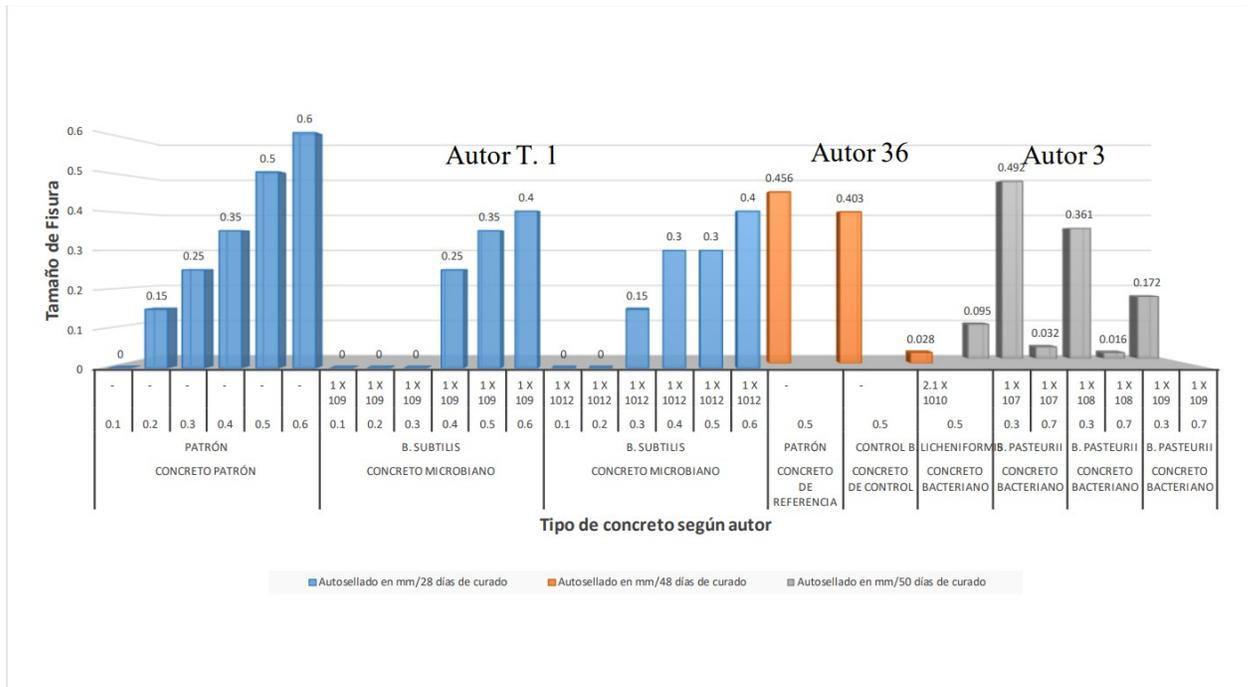


Figura N 34 : Gráfica de comparación del autosellado del Concreto patrón y el Bioconcreto Bacillus entre autores.

Fuente: “Elaboración propia”

- **Observación:**

De acuerdo a la **figura 34**, los autores emplearon distintas concentraciones para obtener los mejores resultados en el ensayo de sellado de fisuras del hormigón. Para los autores de la tesis 1, con una concentración de 10^9 cel./ml, se puede ver que para grietas pequeñas de hasta 0.3 mm el sellado es total, mientras que para grietas mayores de hasta 0.6 mm el sellado máximo es de 0.2 mm, y con una concentración de 10^{12} cel./ml se logra un sellado total para fisuras de 0.2 mm, mientras que para grietas de 0.6 mm el sellado máximo es de 0.2 mm, en comparación con el concreto patrón que solo logra sellarse 0.05 mm en grietas de 0.4 mm y en grietas mayores de hasta 0.6 mm no existe curación, con respecto a los autores del artículo 36, con una concentración de 2.1×10^{10} cel./ml usando la bacteria *Bacillus Licheniformis*, el sellado máximo es 0.472 mm, siendo 0.428 mm y 0.375 mm mayor que el concreto patrón y control, respectivamente; para fisuras de 0.5 mm, los autores del artículo 3 hicieron una comparación entre concentraciones de bacterias las cuales fueron 10^7 , 10^8 y 10^9 cel./ml, la concentración más óptima fue 10^9 cel./ml, alcanzando un sellado máximo de 0.528 mm para fisuras de 0.7 mm, siendo 0.32 y 0.189 mm mayor que las concentraciones de 10^7 y 10^8 cel./ml, respectivamente.

Se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1) ya que al determinar la dosificación de la concentración bacteriana del género *Bacillus*, si se reducen las fisuras en el hormigón en distintos porcentajes y según la bacteria y su dosificación que se utilice. De acuerdo a los resultados analizados del autor de la tesis 1, con la dosificación de 10^9 células/ml las fisuras en el hormigón bacteriano reducen hasta un 100% en grietas de 0.1 y 0.3 mm; y hasta un 33.3% en grietas de 0.4 y 0.6 mm con respecto al espécimen de control, el autor del artículo 36 con el empleo de 2.1×10^{10} células/ml, presentó una reducción de fisura de aproximadamente 94.4% en grietas de 0.5 mm de espesor con respecto a la muestra patrón y finalmente el autor del artículo 3, realizó una comparación entre distintas dosificaciones para permitir obtener una concentración óptima de bacterias para un óptimo sellado de fisuras con la bacteria *B. Pasteurii*,

obteniendo un sellado máximo en el concreto de 94.7% para fisuras de 0.3 mm y un sellado de 75.4% en grietas de 0.7 mm de espesor, con una dosificación de 10^9 cel./mm, siendo esta la más óptima.

5.2.4 Contrastación de la Cuarta hipótesis

HIPÓTESIS 4: Al determinar la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus se reduce la absorción del hormigón.

Para determinar la influencia de la bacteria del género bacillus en la absorción de agua del hormigón, se requiere realizar un análisis de los resultados de los ensayos de las investigaciones plasmadas en las **tablas 35 y 36**.

- Hipótesis auxiliar

H0: Al determinar la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus si se reduce la absorción del hormigón.

H1: Al determinar la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus no se reduce la absorción del hormigón.

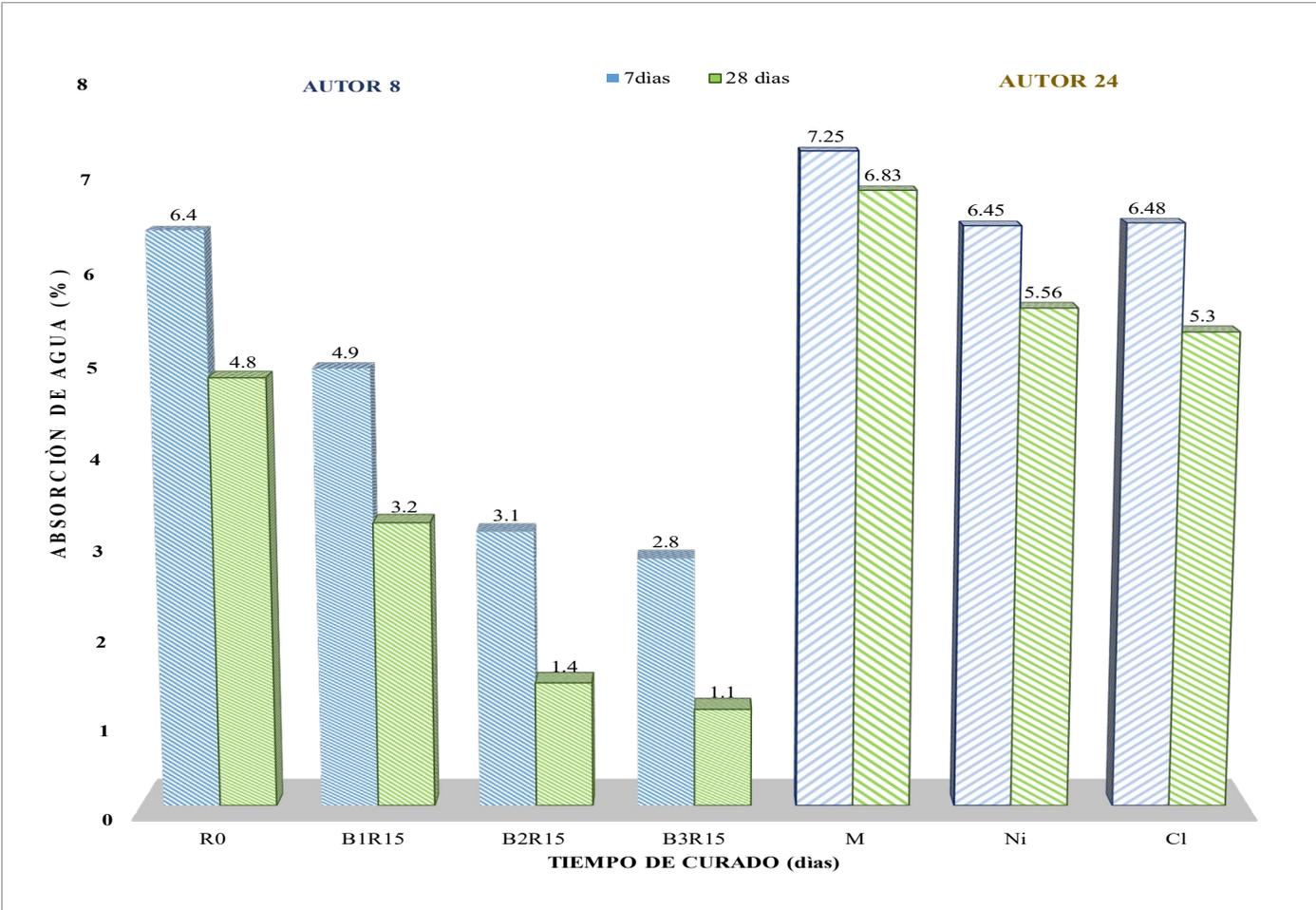


Figura N 35: Gráfico de comparación de % de absorción de agua del hormigón bacteriano y el hormigón de control a los 7 y 28 días

Fuente: Elaboración propia

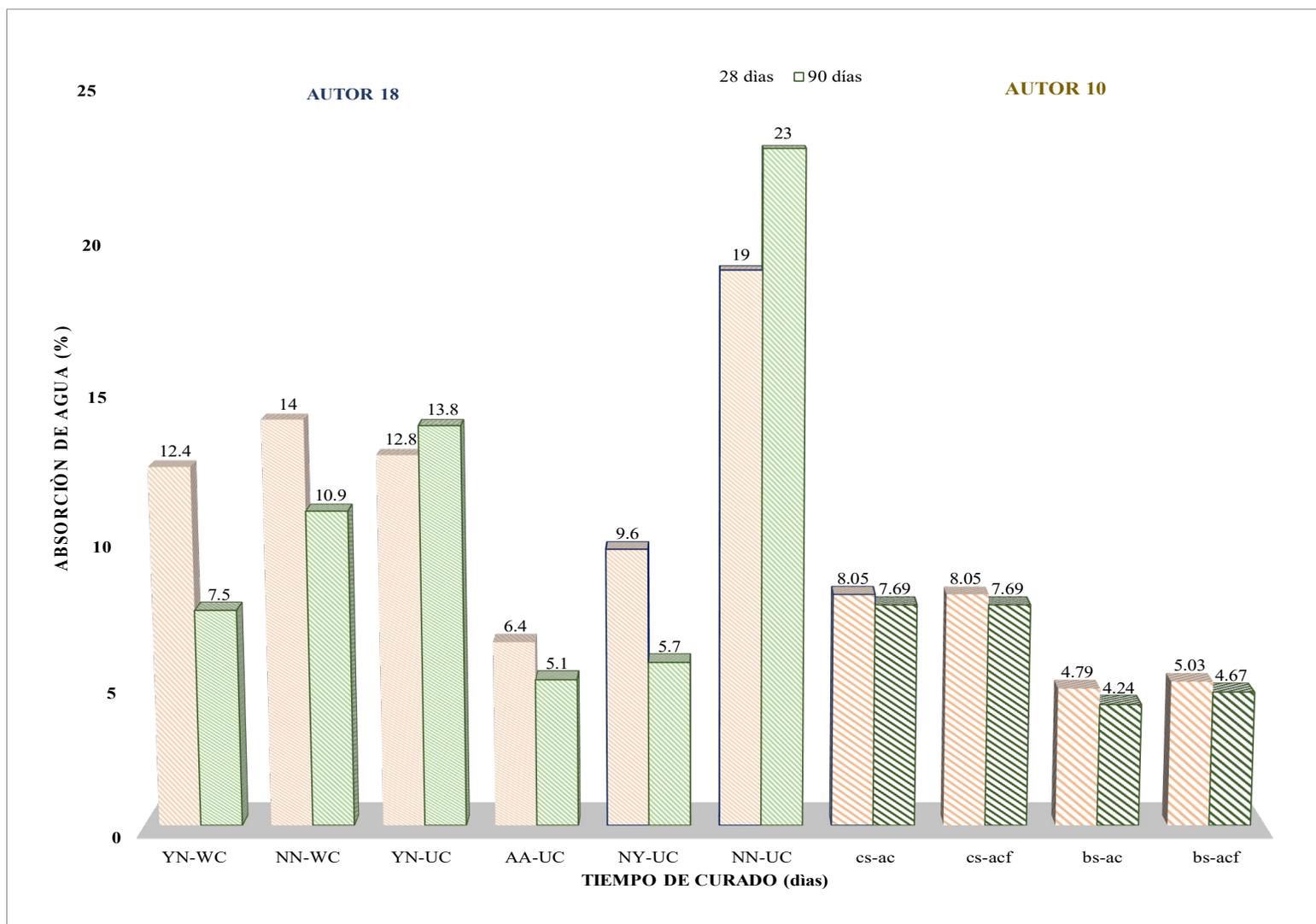


Figura N 36: Gráfico de comparación de % de absorción de agua del hormigón bacteriano y el hormigón de control a los 28 y 90 días

Fuente: Elaboración propia

• **Observación:**

De acuerdo **figura 35** , muestras bacterianas curadas en agua ,los resultado los autores Ameri, Farshad; Shoaiei, Parham; Bahrami, Nasrollah; Vaezi, Mohammadsadegh & Ozbakkaloglu, Togay del artículo 8, emplearon tres concentraciones bacterianas y la concentración óptima fue de 10^7 células/ml, con 15% de RHA, la muestra B3R15 alcanzó el mínimo porcentaje de absorción de agua llegando hasta 2.85 % y 1.1% a los 7 y 28 días de curado, el cual representa una ganancia de la resistencia a la penetración de agua del 56.3% y 77.08% a los 7 y 28 con respecto a la muestra patrón. Los autores Mohammad Mirshahmohammad, Hamid Rahmani; Mahdi Maleki-Kakelar & Abbas Bahari del artículo 24, con el empleo de una concentración bacteriana de 10^7 células/ml, la muestra Ni alcanzó los % el mínimo de absorción de agua a los 7 y 28 días de 6.48 % y 5.30%, el cual representa una ganancia a la penetración de agua de 10.65 % y 22.04%. Se observa que con el empleo de una concentración bacteriana de 10^7 células/ml, el % de absorción agua disminuye significativamente a los 7 y 28 días de curado.

De acuerdo a la **figura 36** , muestras bacterianas curadas en Urea- CaCl_2 ,los resultados de los autores Hosseini Balam, Nafise; Mostofinejad, Davood & Eftekhar, Mohamadreza del artículo 18 , emplearon 10^6 células/ml, elaboraron muestras bacterianas con agregados pretratados en solución bacteriana y adicionaron bacterias en la mezcla junto al agua de diseño, se observó que la muestra YY-UC es la que presenta mayor resistencia a la penetración de agua ,con una disminución significativa del 66.32% y 77.83% de absorción de agua a los 28 y 90 días de curado con respecto a la muestra patrón NN-UC .

Los resultados de los autores Salmasi, Farnaz & Mostofinejad, Davood del artículo 10, elaboraron muestras con y sin fibras de acero y superplastificante con una concentración bacteriana de 10^7 células/ml. Las muestras bs-ac y bs-acf presentaron una disminución del 40.5% y 37.52% de absorción de agua con respecto a la muestra patrón a los 28 días. El hormigón bacteriano sin fibra de acero bs-aw curada en Urea- CaCl_2 es la que presenta mayor resistencia a la

penetración del agua. por lo tanto: Se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1).

DISCUSIÓN

1. De acuerdo a los resultados observados de la **figura 32**, los autores Venkata Siva Rama Prasad, C. & Vara Lakshmi, TVS del artículo 1, obtuvieron los mejores resultados de resistencia a la compresión con una concentración de 10^5 células/ml y 10% de solución bacteriana, que superó en 14.86 MPa a la resistencia de diseño a los 28 días de curado, sin embargo los autores Hosseini Balam, Nafise; Mostofinejad, Davood & Eftekhar, Mohamadreza, también emplearon solución bacteriana (13g por 1000ml de agua), lo cual pudo no ser suficiente como fuente de alimento para las bacterias incrustadas en la mezcla, resultó en un incremento del 17.45% de resistencia a la compresión de la muestra control. Los autores Jonkers y Col (2010) investigaron la influencia de un agente curativo en las propiedades del hormigón y la capacidad de llenado de grietas. La precipitación de carbonato de calcio debido a la activación del compuesto microbiano dio como resultado un aumento en la resistencia a la compresión. Los autores Sierra & Jonkers, 2015 abordaron el estudio de un hormigón bacteriano con una concentración de 1.7×10^5 esporas/gr con la necesidad de remediar la problemática presente en un canal de regadío de 2.4 Km cuya composición estructural presentada fisuras y grietas, el estudio dio como resultado un aumento en la resistencia a la compresión del hormigón, que posteriormente fue aplicada en el canal de regadío en forma de revestimiento.
2. Con respecto a los resultados que se obtiene en la **figura 33** los ensayos de resistencia a la flexión para todos los autores con hormigón bacteriano vs hormigón patrón, la dosificación óptima para obtener mayor resistencia a la flexión a la edad de 28 días es de 5×10^3 célula/ml con el tipo de bacteria Bacillus Subtilis, obteniendo 6.22 MPa en comparación con la resistencia a flexión del concreto patrón de 4.36 MPa, siendo 42.7% mayor esto debido a que las bacterias precipitan continuamente la calcita que evita la presencia de moléculas de aire en el hormigón, así mismo la adición del caldo nutritivo a la mezcla junto al agua de diseño actúa como alimento para las bacterias posterior al fraguado permitiendo que las bacterias generen de forma eficiente los materiales cementantes.

3. Luego de obtener los resultados de distintos autores y compararlos, se obtuvo la **figura 34** donde se observa que la adición de la bacteria del género bacillus en el hormigón con la dosificación adecuada ayuda a reducir el grosor de las fisuras o el autosellado del concreto. según la información de la **figura 34** la dosificación óptima para lograr un mejor sellado de fisuras es 2.1×10^{10} célula/ml con la adición de la bacteria Bacillus Licheniformis para una fisura de 0.5 mm reduciendo hasta un grosor de 0.028 mm, representando así un 94.4% de sellado de fisura en el concreto. Por el contrario, para la dosificación de 10^9 y 10^{12} cel/ml con la bacteria Bacillus Subtilis, el grosor de fisura reduce de 0.6 mm hasta 0.4 mm representando el 33.3% de autosellado en el concreto, siendo el menor porcentaje de sellado de fisuras. Con respecto a la bacteria Bacillus Pasteurii la dosificación que obtiene mayor sellado de fisuras es de 10^9 cel/ml cerrando fisuras de 0.3 mm hasta 0.016 mm y de 0.7 mm hasta 0.172 mm, que representa 94.7% y 75.4% respectivamente. Así mismo Sierra & Jonkers, 2015 abordaron la necesidad de remediar una problemática presente en un canal de regadío de 2.4 Km, en el elaboraron muestras de hormigón bacteriano a los 28 días, la muestra de control obtuvo una resistencia promedio de 26 MPa y las muestras con bacterias una resistencia promedio de 30 MPa. Aplicaron en la sección media del canal, con dimensiones de 3m de longitud y un ancho de unidad de metro. En seis meses de la aplicación no observaron ningún tipo de falla en el revestimiento.

4. De acuerdo a los resultados del % de absorción de agua del hormigón bacteriano curadas en agua de los autores Ameri, Farshad; Shoaie, Parham; Bahrami, Nasrollah; Vaezi, Mohammadsadegh & Ozbakkaloglu, Togay, obtuvieron el mínimo % de absorción de agua con la adición de 10^7 células/ml en la mezcla del hormigón y 15% de RHA y 10% de microsílíce, lograron reducir la absorción de agua del hormigón hasta en un 77.08% y 88.37% a los 28 y 91 días de curado en agua. Esto a causa de la precipitación de calcita inducida microbiológicamente (PCIM) en la matriz del hormigón que permite la formación de minerales de carbonato de calcio (CaCO_3) disminuyendo los poros y llenando vacíos, el cual genera un incremento de la densidad de la matriz, esta acción fue complementada con la adición de polvos muy finos como son el RHA y el microsílíce, que ayudan a la morfología superficial del hormigón. De acuerdo a los resultados del % de absorción de agua del hormigón bacteriano curadas en

Urea-CaCl₂ los autores Ameri, Farshad; Shoaie, Parham; Bahrami, Nasrollah; Vaezi, Mohammadsadegh & Ozbakkaloglu, Togay, obtuvieron los valores mínimos de absorción de agua con el empleo de 10⁶ células/ml. Los especímenes YY-UC cuyos agregados se dejaron en remojo en una solución de urea-CaCl₂ contenida por bacterias durante 6 días exhibieron una mayor resistencia contra la penetración de agua con una disminución significativa del 66.32% y 77.83% de absorción de agua a los 28 y 90 días de curado con respecto a la muestra patrón. Esto debido a que los especímenes contienen depósitos de calcita de carbonato en sus agregados y en la matriz del hormigón.

CONCLUSIONES

1. En conclusión, general Las bacterias del género bacillus aumentan la resistencia a la compresión hasta en 14,86 MPa con una concentración de 10^5 células/ml, la resistencia a la flexión alcanza un valor máximo de 6,22 MPa a los 28 días, superior en un 42,7% a la muestra control con una concentración de 5×10^3 , así mismo se reduce las fisuras hasta 0,3 mm al 100% con una concentración de 10^9 células/ml con bacillus Subtilis, asimismo, las bacterias reducen la absorción de agua en muestras bacterianas curadas en agua hasta en un 77,83% a los 28 días con una concentración de 10^7 células/ml y hasta 66.32% a los 28 días de curado en urea- CaCl_2 con una concentración de 10^6 células/ml .
2. La adición de bacterias del género bacillus en el hormigón incrementa la resistencia a la compresión independiente de la concentración bacteriana que se adicione a la mezcla como muestran los autores 18,1 y 7 en sus respectivas investigaciones con la adición de 10^6 células/ml, 10^5 células/ml y 10^8 células/ml la resistencia a la compresión se ve incrementado hasta en un 17.45%, 37.15% y 14.36% con respecto a la muestra patrón a los 28 días de curado. Las bacterias del género bacillus son una herramienta biológica efectiva que funciona como aditivo mejorador de la resistencia a la compresión. Al añadirla a la mezcla junto al agua de diseño, proporciona una mejora significativa de resistencia hasta en un 37,15% a los 28 días de edad. Así mismo, la precipitación de calcita se ve incrementada por la solución bacteriana en la mezcla que actúa como fuente de alimento para las bacterias, haciendo que se forme un todo dentro de la estructura interna del hormigón endurecido a causa de la biomineralización, disminuyendo la porosidad y aumentando su capacidad impermeable.
3. Al añadir bacterias de género Bacillus al hormigón se puede lograr una mejora en la resistencia a la flexión, logrando hasta un aumento de 42.7% frente al concreto patrón a

los 28 días de curado, dependiendo de una óptima dosificación de bacterias, medida en cel/ml. Según la información de distintos autores, un aumento excesivo en la dosificación no permitirá obtener resultados positivos en la resistencia a la flexión, por el contrario, ocasionará que el aumento en la resistencia a la flexión sea mínimo. En este caso el valor de la dosificación óptima de bacterias del género *Bacillus Subtilis* es de 5×10^3 células/ml obteniendo un mayor porcentaje de aumento en la resistencia a la flexión, y la dosificación de bacterias de *Bacillus Megaterium*, que genera un menor aumento en la resistencia es de 10^8 células/ml, ya que solo aumenta un 9% en la resistencia a la flexión.

4. La adición de bacterias del género *Bacillus* al hormigón, logra sellar las fisuras del hormigón bacteriano, esta acción es otro método adoptado por el uso de calcita activada microbiológicamente. Esta capacidad de curación autónoma aumenta el tiempo de vida útil de las estructuras y evita el ingreso de sustancias químicas nocivas en la matriz del hormigón acción. En esta investigación se determinó el valor de la dosificación óptima de bacterias del género *Bacillus*, para alcanzar un mayor porcentaje en el sellado de las fisuras del hormigón. Al utilizar la bacteria *B. Licheniformis* con una dosificación de 2.1×10^{10} células/ml, se obtiene 94.4% en el sellado de una fisura de 0.5 mm reduciéndola hasta un 0.028 mm. Para la dosificación de 10^8 y 10^{12} células/ml con la bacteria *B. Subtilis* el sellado de las fisuras en el hormigón fue menor, ya que se obtuvo solo un 33.3% para una fisura de 0.6 mm reduciendo hasta 0.4 mm. Cabe mencionar que para grietas de un pequeño grosor, entre 0.1 hasta 0.3 mm, el sellado con bacterias del género *Bacillus* es prácticamente al 100% y mientras las grietas sean de un mayor grosor, el sellado de la fisura será de un menor porcentaje.
5. La resistencia contra la penetración del agua del hormigón bacteriano se ve incrementando por la influencia de la adición de bacterias del género de *Bacillus* en el hormigón que funciona como aditivo reductor de absorción de agua del hormigón. La dosificación óptima de muestras curadas en agua fue de 10^7 células/ml, lograron reducir la absorción de agua hasta en un 77.08% y 88.37% a los 28 y 91 días de curado. Así mismo la dosificación óptima de muestras curadas en urea- CaCl_2 fue de 10^6 células/ml,

lograron reducir la absorción de agua hasta en un 66.32% y 77.83% a los 28 y 90 días de curado con respecto a la muestra patrón. Finalmente, de acuerdo a los resultados de ensayos no destructivos para determinar la absorción del hormigón bacteriano presenta una matriz más densa en comparación a la muestra de control. Agregar células bacterianas a la mezcla reduce aún más los poros y vacíos dentro de la muestra a través de la precipitación de calcita.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el uso de bacterias del género bacillus para mejorar la propiedad mecánica de resistencia a la compresión del hormigón a concentraciones de 10^6 células/ml, 10^5 células/ml. Este método puede prolongar la vida útil del hormigón volviéndolo más resistente ante acciones de cargas vivas, muertas, de viendo entre otros. Como lo muestran los autores en los resultados obtenidos, las bacterias cumplen un papel positivo en la mejora de la resistencia a la compresión del hormigón debido al llenado de vacíos por la precipitación de calcita en la muestra de concreto. (Nain, Surabhi, Yathish, Krishnamurthy, & Deepa, 2019, pág. 5) los autores recomiendan la adición de bacterias como una alternativa de tecnología limpia debido a que el carbonato de calcio producido actúa como un catalizador para la hidratación del cemento y mejora la hidrolización a un ritmo más rápido y, por lo tanto, aumenta la resistencia a la compresión del hormigón.
2. Para poder obtener mejores resultados en el ensayo a flexión, se recomienda usar el método de aplicación Directa para la dosificación de las bacterias en el hormigón, ya que de esa manera las bacterias del género bacillus podrán actuar con mayor libertad y aportar las propiedades generales en todo el hormigón, a comparación de la aplicación por Encapsulación, con este método el hormigón no aprovecha todas las propiedades de la bacteria del género Bacillus. Ruiz, A. y Valverde, E. obtuvo en sus diseños una menor resistencia a la flexión con la aplicación de la bacteria del género Bacillus. Según Ruiz, A. y Valverde, E la causal más importante de esta reducción se debe al uso de la arcilla expandida como sistema de encapsulación y protección de la bacteria, debido a que es un agregado ligero y por consecuencia un material que tiene menor

soporte. Es por esta razón que los diseños con suspensiones bacterianas de 1×10^9 células/ml y 1×10^{12} células/ml disminuyeron en un 14%. Con respecto a la aplicación directa se recomienda utilizar la dosificación óptima que se obtuvo como resultados mediante los ensayos de distintos autores, siendo 5×10^3 cel/ml, con el tipo de batería de género Bacillus, pues a una mayor dosificación exagerada la resistencia a la flexión tiende a disminuir.

3. Está claro que las bacterias del género Bacillus en el hormigón genera beneficios en sus propiedades mecánicas y físicas, y obtener los mejores resultados dependerá de la dosificación que se le agregue al hormigón, en esta investigación las dosificaciones utilizadas fueron de un rango de 10^7 y 10^{12} cel/ml, siendo el más recomendado la dosificación de 2.1×10^{10} cel/ml con la bacteria Bacillus Licheniformis, ya que se logró un sellado de hasta 94.4% de sellado de un fisura de 0.5 mm en el hormigón. Se recomienda realizar diferentes ensayos con distintas dosificaciones para cada tipo de bacteria del género Bacillus que se desea utilizar, y lograr obtener el mayor porcentaje de sellado posible con una óptima dosificación según los resultados.
4. Las bacterias del género bacillus muestran un papel útil para la disminución significativa de la absorción de agua del hormigón con una concentración de 10^7 células/ml y polvos finos de RHA del 15% y microsílíce del 10% reduce hasta en un 77.08% y 88.37% la absorción de agua a los 28 y 91 días de curado en agua. Los resultados de los ensayos a los que fueron sometidas las muestras permitieron averiguar la cualidad de la acción capilar del agua, la cual se vio influenciada de forma positiva por la incrustación de bacterias en la mezcla junto al agua de diseño, por lo que se recomienda su uso como reductora de absorción de agua.
5. El presente estudio puede expandirse más allá que estos resultados. Los sectores sugestivos en esta trayectoria son la evaluación de las propiedades del hormigón en estado fresco como la trabajabilidad y consistencia, la cohesión, la relación a/c, la cohesión y sangrado, la densidad y el contenido de aire. Para definir el funcionamiento del hormigón fresco durante la mezcla, manipulación y colocación, en futuras

aplicaciones del hormigón bacteriano en obras civiles será necesario mantener un control regular del hormigón fresco de manera en que se pueda obtener una calidad determinada del hormigón de forma consistente.

REFERENCIAS

- Agustín, V. J. (2019). Síntesis de carbonato de glicerol a partir de glicerol a partir de la glicerólisis r de la glicerólisis r de la glicerólisis de urea empleando de urea empleando . Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas (CINDECA), Facultad de Ciencias Exactas, UNLP –CONICET-CIC. Laboratorio del Depto. , 6, 2. Recuperado el 27 de Setiembre de 2022, de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/94909>
- Ameri, F., Shoaie, P., Bahrami, N., & Vaezi, M. &. (20 de Octubre de 2019). Optimum rice husk ash content and bacterial concentration in self-compacting concrete. Elseiver, 222, 18. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.190>
- Arana, M. C. (2016). El concreto, material fundamental para la infraestructura. CiTEC, 2. Recuperado el 20/08/2021 de Agosto de 2021, de <http://www.revistacyt.com.mx/pdf/agosto2016/experto.pdf>
- Ascate, C., & Miranda, M. (2019). “Diseño de bioconcreto con Bacillus Subtilis para mejorar la resistencia en un concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ ”. Tarapoto, Perú: Universidad César Vallejo .
- Ascate, M. M.-T. (2019). Diseño de concreto con bacterias bacillus subtilis para mejorar la resistencia del concreto. Tarapoto: Universidad César Vallejo. Obtenido de <https://360enconcreto.com/blog/detalle/bioconcreto-solucion-para-construccion-de-infraestructura/>
- ASOCEM. (2016). Panorama Mundial de la Industria del Cemento. ASOCEM, 10. Recuperado el 20 de 08 de 2021, de <http://www.asocem.org.pe/archivo/files/Vision%20General%20de%20la%20Industria%20del%20Cemento%20y%20sus%20Principales%20Actores.pdf>

- ASOCEM. (2019). Indicadores Internacionales de Cemento. Lima. Recuperado el 20 de 08 de 2021, de <http://www.asocem.org.pe/archivo/files/Reporte%20ASOCEM%20-%20Estad%20C3%ADsticas%20Internacionales%202019.pdf>
- Berto Tejera Hernández, M. M.-P. (Septiembre de 2011). Potencialidades del género *Bacillus* en la promoción del crecimiento vegetal y el control biológico de hongos fitopatógenos. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 22, 9. Recuperado el 18 de Septiembre de 2022
- Carrió, J. M. (2001). Patología y técnicas de intervención en estructuras arquitectónicas. Recuperado el 21 de 08 de 2021, de http://oa.upm.es/45423/1/2001_patologia_MC_opt.pdf
- Castillo, F. A. (s.f.). Tecnología del concreto. Lima, Perú: San Marcos. Recuperado el 30 de 07 de 2022, de <http://hebmerma.com/wp-content/uploads/2020/11/TECNOLOGIA-DEL-CONCRETO-Ing.-Flavio-Abanto-Castillo-1.pdf>
- Daza, O., & Guarnizo, F. (2020). Revisión bibliográfica entre el concreto auto reparable y el concreto convencional. Colombia: . Universidad Católica de Colombia. Obtenido de T.G Revision bibliografica entre el concreto autorreparable y concreto convencional 2.pdf (ucatolica.edu.co)
- EUCLID, G. (2019). Guía de especificación para el tratamiento de fisuras del concreto. EUCLID GROUP-TOXEMENT, Barranquilla, Barranquilla. Recuperado el 21 de 08 de 2021, de [file:///C:/Users/USER/Documents/AVANCE%20DE%20TESIS-2021/CAP%20I-PROBLEMA%20%81TICA-TESIS/spec_fisuras-comprimido%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/USER/Documents/AVANCE%20DE%20TESIS-2021/CAP%20I-PROBLEMA%20%81TICA-TESIS/spec_fisuras-comprimido%20(1).pdf)
- González, A., Parraguez, A., Corvalán, L., Correa, N., & Stukrath, E. (2018). Hormigón autorreparable con bacterias para la infraestructura vial. Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/328135440_Titulo_HORMIGON_AUTO_RREPARABLE_CON_BACTERIAS_PARA_LA_INFRAESTRUCTURA_VIAL_Autores

- Harrinson, T. E. (2002). *Diseño de estructuras de concreto armado* (1 ed., Vol. 1). Lima, Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú. Recuperado el 30 de 07 de 2022, de <https://stehven.files.wordpress.com/2015/06/disenodeestructurasdeconcreto-harmsen.pdf>
- Hosseini Balam, N., & Mostofinejad, D. (7 de Abril de 2017). Effects of bacterial remediation on compressive strength, water absorption, and chloride permeability of lightweight aggregate concrete. *Elseiver*, 145, 107-116. Recuperado el 9 de Agosto de 2022, de <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.003>
- Ing. HTL Jürg Schlumpf, B. B. (2020). *Manual del Hormigón Sika*. Sika Services AG . Madrid, España: Sika Services AG . Recuperado el 27 de Setiembre de 2022, de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwig4IraubX6AhVAmlQIHZ75C0gQFnoECBUQAQ&url=https%3A%2F%2Fesp.sika.com%2Fcontent%2Fdam%2Fdms%2Fes01%2F1%2FManual-del-hormigon-Sika_2021_V-03.pdf&usg=AOvVaw2UxwwAS4LhDGaq
- Kummar, A., & Gupta, A. (30 de Marzo de 2021). Experimental study of the effect of bacillus megaterium bacteria on cement concrete. *Elseiver*, 202, 3. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.059>
- Mendoza, R., & Sánchez, J. (2017). “Análisis de la resistencia del concreto utilizando bacterias del género bacillus y biopolímeros como bioreparador”. Cuzco: Universidad Andina del Cuzco. Obtenido de <https://www.bing.com/ck/a?!&&p=a621a1d0302e6cc6228c58972c820aafef4a226b72394d2cb1d44aa4c8711d17JmltdHM9MTY1NjI5NjA4MiZpZ3VpZD00ZTZjZDAyMy00ODgwLTQxZjgtOGYzMS01NmE4OWQ0OTNjNWImaW5zaWQ9NTEyOA&ptn=3&fclid=e7a34b70-f5be-11ec-9a88-1d6ea84d28ea&u=a1aHR0cHM6Ly8x>
- Mohammad Mirshahmohammad, H. R., & Bahari, M. M.-K. (2022). Effect of sustained service loads on the self-healing and corrosion of bacterial concretes. *Elseiver*, 332, 8. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126423>.

- Nain, N., Surabhi, R., Yathish, N., Krishnamurthy, V., & Deepa, T. &. (30 de Marzo de 2019). Enhancement in strength parameters of concrete by application of Bacillus bacteria. Elsevier, 202, 5. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.059>
- Ormache, C. (2020). "Influencia de la bacteria Sporosarcina Pasteurii en la resistencia mecánica del concreto f'c 210 kg/cm²". Lima, Perú: Universidad César Vallejo.
- Osterrieth, M., Frayssinet, L., Cresta, J., Donna, R., Frayssinet, C., Borrelli, N., & Altamirano, E. (12-14 de Junio de 2019). Biomineralizaciones de calcio y bioerosion, su rol en la biogeoquímica de suelos y sedimentos del sudeste. V Reunión Argentina de Geoquímica de la Superficie, 4. Recuperado el 27 de Setiembre de 2022, de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/77850>
- Parraguez, A. (2018). "Hormigón autorreparable con bacterias para la infraestructura vial". Valparaíso, Chile: Universidad Técnica Federico Santa María. . Obtenido de <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/43497/3560900257477UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Revistacyt. (2017). Construcción y tecnología en concreto. REVISTACYT, 60. Recuperado el 21 de 08 de 2021, de <http://www.imcyc.com/revistacyt/MARZO%202017/MARZO17.pdf>
- Rodríguez, S. (2021). "Diseño de Hormigón Autosellante, con la Inclusión de Bacterias, para tratar las Patologías del Fisuramiento". Ecuador: Universidad Central de Ecuador. Obtenido de <https://www.bing.com/ck/a?!&&p=dc6edd0a0bacf444695e238ccb179221659777bdbe0984ceeeabeb5e2541800cJmltdHM9MTY1NjI5NTg4OSZpZ3VpZD0yYzh1ZmExOC11YTc2LTQ2ODEtYmMwZi1kZGQyMWMYODM0MjMmaW5zaWQ9NTEzMw&ptn=3&fclid=74c9af2b-f5be-11ec-834a-196b5c8ef019&u=a1aHR0cHM6Ly9l>
- Rodriguez-Navarro, C. R.-G.-M. (2003). Conservación de piedra ornamental por biomineralización de carbonato inducido por Myxococcus xanthus. España. doi:10.1128/AEM.69.4.2182-2193.2003

- Ruiz, A., & Valverde, E. (2020). "Incorporación de bacterias Bacillus Subtilis para mejorar la capacidad autorreparable del concreto $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Lima, Perú: Universidad César Vallejo.
- Salmasi, F. (2020). Investigating the effects of bacterial activity on compressive strength and durability of natural lightweight aggregate concrete reinforced with steel fibers. Elsevier, 251, 13. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119032>
- Sarmast, M., Farpoor, M. H., Sarcheshmehpoor, M., & Eghbal, M. K. (2014). Efectos micromorfológicos y de biocalcificación de Sporosarcina pasteurii y Sporosarcina ureae en columnas arenosas. Irán. doi:<https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000335980300018?SID=USW2EC0F828sotnneYaiwyfEJduFo>
- Sierra, M., & Jonkers, H. (2015). Hormigón autoReparable con bacterias y reforzado con fibras naturales: Principios y aplicaciones en Ecuador. Tungurahua: Universidad Católica de Guayaquil. doi:DOI: <https://doi.org/10.23878/alternativas.v17i3.229>
- Silva, A. F. (2018). Patologías en estructuras de hormigón. Patología y Rehabilitación e edificaciones, (pág. 10). San Agustino-Brazil. Recuperado el 21 de 08 de 2021, de <file:///C:/Users/USER/Documents/AVANCE%20DE%20TESIS-2021/CAP%20I-PROBLEMA%20TICA-TESIS/Problemas%20en%20el%20concreto-2021-patolog%C3%ADas.pt.es.pdf>
- Venkata Siva Rama Prasad, C. (2020). Experimental investigation on bacterial concrete strength with Bacillus subtilis and crushed stone dust aggregate based on ultrasonic pulse velocity. Elsevier, 27, 7. Recuperado el 07 de 08 de 2022, de <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.01.478>

ANEXOS

Anexo 1 : Matriz de consistencia:” Bacterias del género bacillus para mejorar las propiedades mecánicas y el sellado de fisuras del hormigón”

Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variable	Indicadores	Instrumento	Diseño de método
¿En qué medida el diseño de mezcla de hormigón con bacterias del género bacillus mejora las propiedades mecánicas y el sellado de las fisuras del hormigón?	Determinar el diseño de mezcla de hormigón con bacterias del género bacillus para mejorar las propiedades mecánicas y el sellado de las fisuras del hormigón	Al determinar el diseño de mezcla de hormigón con bacterias del género bacillus mejora las propiedades mecánicas y el sellado de las fisuras del hormigón.	VI. Diseño de mezcla de hormigón con bacterias del género bacillus	Dosificación de la concentración bacteriana	Investigaciones relacionadas al tema de estudio: Tesis, artículos científicos, revistas, libros.	El tipo de investigación para el desarrollo del presente estudio será de tipo descriptivo explicativo correlacional.
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Variable			
a. ¿En qué medida la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus mejora la resistencia a la compresión del hormigón?	a. Determinar la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus para aumentar la resistencia a la flexión del hormigón.	a. Al determinar la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus aumenta la resistencia a la compresión del hormigón		Resistencia a la compresión	NTP 339.034	Nivel de la investigación será de tipo descriptivo.
b. ¿En qué medida la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus mejora la resistencia a la flexión del hormigón?	b. Determinar la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus para aumentar la resistencia a la compresión del hormigón.	b. Al determinar la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus aumenta la resistencia a la flexión del hormigón		Resistencia a la flexión	NTP 339 078	
c. ¿En qué medida la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus influye en las fisuras del hormigón?	c. Determinar la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus para reducir las fisuras del hormigón.	c. Al determinar la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus se reducen las fisuras del hormigón.	VD. Propiedades mecánicas y sellado de las fisuras del hormigón	Absorción	ASTM C 642-97	El método de investigación será deductivo.
d. ¿En qué medida la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus influye en la absorción del hormigón?	d. Determinar la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus para reducir la absorción del hormigón.	d. Al determinar la dosificación de la concentración bacteriana del género bacillus se reduce la absorción del hormigón.		Fisuras	ASTM C1202	El diseño de la investigación será del tipo prospectivo.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2 : Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Índices	Unidad de medida	Herramienta
V.i. Diseño de mezclas de hormigón con bacterias del género bacillus	El concreto es una mezcla de cemento, agregado grueso o piedra, agregado fino o arena y agua. El cemento, el agua y la arena constituyen el mortero cuya función es unir las diversas partículas de agregado grueso llenando los vacíos entre ellas. En teoría, el volumen de mortero sólo debería llenar el volumen entre partículas. En la práctica, este volumen es mayor por el uso de una mayor cantidad de mortero para asegurar que no se formen vacíos. (Harrinson, 2002, pág. 11)	Un bioconcreto se elabora a partir de la mezcla del concreto convencional, agregando un cierto porcentaje de algún tipo de bacteria. La bacteria modificará las propiedades mecánicas del material, aumentando o disminuyendo en cierto porcentaje; esta variación dependerá del tipo de bacteria empleada y la concentración de la misma en la mezcla. (Ascate M. M.-T., 2019, pág. 3)	Concreto + %de bacteria del género bascillus	Porcentaje de bacteria del género bascillus	Células/ml	Células/ml	Investigaciones nacionales e internacionales relacionadas al tema de estudio
Vd. Resistencia a la compresión y sellado de las fisuras del hormigón	La resistencia a la compresión del concreto es la carga máxima para una unidad de área soportada por una muestra antes de fallar por agrietamiento o rotura. (Castillo, pág. 91)	La resistencia a la compresión (f'c) se define como el promedio de la resistencia de, como mínimo, dos probetas tomadas de la misma muestra probadas a los 28 días. El procedimiento se describe en detalle en las normas ASTM-C-192M-95 y C-39-96. (Harrinson, 2002, pág. 21)	Fresco	Asentamiento	Manejabilidad colocarse Trabajabilidad	A/c tiempo slump	NTP 339.036 y ASTM C172. NTP 339.035 y ASTM C143. NTP 339.046 y ASTM C138-NTP 339.184 y ASTM C1064 ASTM C 231
			Endurecido	Propiedades Mecánicas	Compresión-flexión	Kg/cm ²	NPT 339.034 Y ASTM C39

Fuente: Elaboración propia

Ane
xo 3
:

Nº	Autor	AÑO	Título	TIPO DE INVESTIGACIÓN
1	Rodríguez-Navarro, C. R.-G.-M.	2003	Conservación de piedra ornamental por biomineralización de carbonato inducido por <i>Myxococcus xanthus</i>	Informe
2	Berto Tejera Hernández, M. M.-P.	2011	Potencialidades del género <i>Bacillus</i> en la promoción del crecimiento vegetal y el control biológico de hongos fitopatógeno	Revista
3	Carrió, J. M.	2011	Patología y técnicas de intervención en estructuras arquitectónicas	Informe
4	Sarmast, M., Farpoor, M. H., Sarcheshmehpoor, M., & Eghbal, M. K.	2014	Efectos micromorfológicos y de biocalcificación de <i>Sporosarcina pasteurii</i> y <i>Sporosarcina ureae</i> en columnas arenosas.	Artículo científico
5	Sierra, M., & Jonkers, H.	2015	Hormigón autorreparable con bacterias y reforzado con fibras naturales	Tesis
6	Arana, M. C.	2016	El concreto, material fundamental para la infraestructura	Artículo científico
7	ASOCEM.	2016	Panorama Mundial de la Industria del Cemento	Informe
8	Mendoza, R., & Sánchez, J.	2017	“Análisis de la resistencia del concreto utilizando bacterias del género <i>bacillus</i> y biopolímeros como bioreparador”	Tesis

Cuadro resumen de la bibliografía empleada en orden cronológico

Fuente: Elaboración propia

[Anexo 4: Cuadro resumen de la bibliografía empleada en orden cronológico

Nº	Autor	AÑO	Título	TIPO DE INVESTIGACIÓN
9	Hosseini Balam, Nafise; Mostofinejad, Davood & Eftekhar, Mohamadreza	2017	Effects of bacterial remediation on compressive strength, water absorption, and chloride permeability of lightweight aggregate concrete	Artículo científico
10	Revistacyt.	2017	Construcción y tecnología en concreto.	Artículo científico
11	Silva, A. F.	2018	Patologías en estructuras de hormigón	Informe
12	González, A., Parraguez, A., Corvalán, L., Correa, N., & Stukrath, E. (2018)	2018	Hormigón autorreparable con bacterias para la infraestructura vial	Tesis
13	Parraguez, A.	2018	“Hormigón autorreparable con bacterias para la infraestructura vial”.	Tesis
14	Ascate, C., & Miranda, M.	2019	“Diseño de bioconcreto con Bacillus Subtilis para mejorar la resistencia en un concreto f ^c =210 kg/cm ² ”.	Tesis
15	Ascate, M. M.-T.	2019	Diseño de concreto con bacterias bacillus subtilis para mejorar la resistencia del concreto	Tesis
16	ASOCEM.	2019	Indicadores Internacionales de Cemento	Informe
17	Agustín, V. J.	2019	Síntesis de carbonato de glicerol a partir de glicerol de la glicerólisis de urea empleando de urea empleando	Artículo científico

Fuente: Elaboración propia

Anexo 5: Cuadro resumen de la bibliografía empleada en orden cronológico

Nº	Autor	AÑO	Título	TIPO DE INVESTIGACIÓN
18	EUCLID, G. (2019).	2019	Guía de especificación para el tratamiento de fisuras del concreto	Informe
19	Osterrieth, M., Frayssinet, L., Cresta, J., Donna, R., Frayssinet, C., Borrelli, N., & Altamirano, E.	2019	Biom mineralizaciones de calcio y bioerosion, su rol en la biogeoquímica de suelos y sedimentos del sudeste	Artículo científico
20	Ameri, Farshad; Shoaai, Parham; Bahrami, Nasrollah; Vaezi, Mohammadsadegh & Ozbakkaloglu, Togay	2019	Optimum rice husk ash content and bacterial concentration in self-compacting concrete	Artículo científico
21	Nain, Nidhi; Surabhi, R.; Yathish, N.V.; Krishnamurthy, V.; Deepa, T. & Tharannum, Seema	2019	Enhancement in strength parameters of concrete by application of Bacillus bacteria	Artículo científico
22	Harrinson, T. E.	2020	Diseño de estructuras de concreto armado (1 ed., Vol. 1)	Libro
23	Ing. HTL Jürg Schlumpf, B. B.	2020	Manual del Hormigón Sika	Informe
24	Daza, O., & Guarnizo, F.	2020	Revisión bibliográfica entre el concreto auto reparable y el concreto convencional	Tesis
25	Ruiz, A., & Valverde, E.	2020	“Incorporación de bacterias Bacillus Subtilis para mejorar la capacidad autorreparable del concreto F’c = 210 kg/cm ² .	Tesis

Fuente: Elaboración propia

Anexo 6 : Cuadro resumen de la bibliografía empleada en orden cronológico

Nº	Autor	AÑO	Título	TIPO DE INVESTIGACIÓN
26	Salmasi, F.	2020	Investigating the effects of bacterial activity on compressive strength and durability of natural lightweight aggregate concrete reinforced with steel fibers.	Artículo científico
27	Ormache, C.	2020	“Influencia de la bacteria Sporosarcina Pasteurii en la resistencia mecánica del concreto f’c 210 kg/cm2 “	
28	Ruiz, A. y Valverde, E.	2020	“Incorporación de bacterias Bacillus Subtilis para mejorar la capacidad autorreparable del concreto F’c = 210 kg/cm ² , Lima – 2020”	Tesis
29	Rong, Hui; Wei, Guanqi; Ma, Guowei; Zhang, Ying; Zheng, Xinguo & Zhang, Lei; Xu, Rui	2020	Influence of bacterial concentration on crack self-healing of cement-based materials	Artículo científico
30	Salmasi, Farnaz & Mostofinejad, Davood	2020	Investigating the effects of bacterial activity on compressive strength and durability of natural lightweight aggregate concrete reinforced with steel fibers	Artículo científico
31	Castillo, F. A. (s.f.	2020	Tecnología del concreto. Lima, Perú: San Marcos	Informe
32	Dipika Patnaik, Akshaya K. Verma, Simanchala Panda, Naresh K. Sahoo	2020	Bio Cementation Process in the Concrete using Bacillus Subtilis: A Statistical Modeling Study	Artículo científico
33	Venkata Siva Rama Prasad, C. & Vara Lakshmi, TVS	2020	Experimental investigation on bacterial concrete strength with Bacillus subtilis and crushed stone dust aggregate based on ultrasonic pulse velocity	Artículo científico

Fuente: Elaboración propia

Nº	Autor	AÑO	Título	TIPO DE INVESTIGACIÓN
34	Kummar, A., & Gupta, A.	2021	Experimental study of the effect of bacillus megaterium bacteria on cement concrete	
35	Rodríguez, S.	2021	“Diseño de Hormigón Autosellante, con la Inclusión de Bacterias, para tratar las Patologías del Fisura miento”	Tesis
36	B S Meenaksi, S Kanmani, K Sakthivel, S Varun and R C Srithar	2021	Experimental Investigation of Microbial Precipitation of Concrete with Bacillus Halodurans	Artículo científico
37	Mohammad Mirshahmohammad, Hamid Rahmani; Mahdi Maleki-Kakelar & Abbas Bahari	2022	Effect of sustained service loads on the self-healing and corrosion of bacterial concretes.	Artículo científico
38	Arun Kumar Parashar, Ankur Gupta	2022	Experimental study of the effect of bacillus megaterium bacteria on cement concrete	Artículo científico
39	Reynoso, Reeksting, Heath, Gebhard. y Paine	2022	Evaluation of Cyclic Healing Potential of Bacteria-Based Self-Healing Cementitious Composites	Artículo científico

Anexo 7 : Cuadro resumen de la bibliografía empleada en orden cronológico

Fuente: Elaboración propia

