



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**Aplicación de bacterias *Bacillus Pseudofirmus* para mejorar las  
propiedades del concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , en San Martín de Porres,  
2020**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Civil**

**AUTORES:**

Palmer Lozada, Miguel Alexander (ORCID: 0000-0002-2723-9009)

Pulido Vargas, Isaac Dalton (ORCID: 0000-0001-5474-5487)

**ASESOR:**

Mg. Ing. Minaya Rosario, Carlos Danilo (0000-0002-0655-523X)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño Sísmico y Estructural

LIMA – PERÚ

2020

### **Dedicatoria**

La tesis la dedico a mis abuelos Miguel y Luzmila, gracias a la determinación de él y la bondad de ella hoy culminó una etapa fundamental de mi existencia. A mi madre y hermanos que han sido el combustible del día a día para lograr subir cada escalón en todo este proceso que ha sido difícil y sin ellos imposible. A mis tíos, tías y primos que han sido soporte y consejo para mantenerme enfocado y llegar al final del arcoíris. A mí primo Walter que me brindó las herramientas para poder materializar este sueño que hoy puedo palpar. (Palmer, Miguel)

Dedico este trabajo a Dios que me fortaleció en todo momento, a mi familia, docentes, amistades, todas las personas que a lo largo de mi paso universitario fueron mi guía para lograr mi objetivo. Por lo que estaré infinitamente agradecido y dedicare todo mi esfuerzo para honrar sus dedicaciones. (Pulido, Isaac)

### **Agradecimiento**

Gracias a mi alma mater, la Universidad César Vallejo por impulsarnos y forjar una institución de la que me siento orgulloso y siempre llevaré en el corazón, gracias a todos los docentes que han inculcado cada materia y han sabido despertar el interés por esta hermosa carrera mucho más de lo que yo hubiera logrado estando solo, gracias a la naturaleza por servir de inspiración para dar respuesta a los problemas que afrontamos ayer, hoy y siempre. Gracias al Ing. Carlos Minaya por impulsarnos en esta última etapa, que hoy, al culminarla nos hace saborear la gloria. (Palmer, Miguel)

A Dios por la vida y la salud, a mis familiares por su incondicional apoyo, como también a mi alma mater, la universidad Cesar Vallejo por tener todos los recursos técnicos y prácticos, la dedicación al Mg. Ing. Carlos Minaya por su constante inspiración. (Pulido, Isaac)

## Índice de Contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de Contenidos.....	iv
Índice de Tablas .....	v
Índice de Gráficos y Figuras.....	vi
Resumen .....	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	4
III. METODOLOGÍA .....	14
3.1. Tipo y Diseño de investigación .....	14
3.2. Variable y Operacionalización.....	14
3.3. Población, Muestra y muestreo.....	15
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad .....	17
3.5. Procedimientos .....	17
3.6. Método de Análisis de datos .....	17
3.7. Aspectos éticos.....	18
IV. RESULTADOS.....	19
V. DISCUSIÓN .....	33
VI. CONCLUSIONES .....	37
VII. RECOMENDACIONES.....	39
REFERENCIAS.....	41
ANEXOS .....	45

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1:</b> Muestra de la investigación.....	16
<b>Tabla 2:</b> <i>Detalle de las muestras de ensayo a la compresión del mortero.....</i>	20
<b>Tabla 3:</b> <i>Efecto de bacterias en la resistencia a la compresión a los 7 y 28 días.</i>	21
<b>Tabla 4:</b> <i>Datos seleccionados para interpolar los resultados de resistencia a la compresión a los 7 y 28 días.....</i>	21
<b>Tabla 5:</b> <i>Interpolación lineal de la resistencia a la compresión a los 7 y 28 días.</i> .....	22
<b>Tabla 6:</b> <i>Interpolación lineal para <math>5 \times 10^5</math> cel. /ml (7 días).</i>	22
<b>Tabla 7:</b> <i>Interpolación lineal para <math>5 \times 10^6</math> cel. /ml (7 días).</i>	22
<b>Tabla 8:</b> <i>Interpolación lineal para <math>5 \times 10^7</math> cel. /ml (7 días).</i>	22
<b>Tabla 9:</b> <i>Interpolación lineal para <math>5 \times 10^8</math> cel. /ml (7 días).</i>	22
<b>Tabla 10:</b> <i>Resultado de interpolación de resistencia a la compresión a los 7 días según concentraciones.</i>	23
<b>Tabla 11:</b> <i>Interpolación lineal para <math>5 \times 10^5</math> cel. /ml (28 días).</i>	23
<b>Tabla 12:</b> <i>Interpolación lineal para <math>5 \times 10^6</math> cel. /ml (28 días).</i>	23
<b>Tabla 13:</b> <i>Interpolación lineal para <math>5 \times 10^7</math> cel. /ml (28 días).</i>	24
<b>Tabla 14:</b> <i>Interpolación lineal para <math>5 \times 10^5</math> cel. /ml (28 días).</i>	24
<b>Tabla 15:</b> <i>Resultados de interpolación de ensayos de resistencia a la compresión a los 28 días según concentraciones.</i>	24
<b>Tabla 16:</b> <i>Resultados de ensayos de resistencia a la compresión a los 7 y 28 días según concentraciones de bacterias bacillus sphaericus.....</i>	25
<b>Tabla 17:</b> <i>Propiedades del cemento utilizado</i>	26
<b>Tabla 18:</b> <i>Efecto de la bacteria sobre la resistencia a la flexión a los 28 días.</i>	26
<b>Tabla 19:</b> <i>Datos seleccionados a interpolar para encontrar la resistencia a la flexión a los 28 días.....</i>	26
<b>Tabla 20:</b> <i>Modelo para ejecutar la interpolación lineal de la resistencia a la flexión a los 28 días.....</i>	27
<b>Tabla 21:</b> <i>Interpolación lineal para <math>3 \times 10^4</math> cel. /ml (28 días).</i>	27
<b>Tabla 22:</b> <i>Interpolación lineal para <math>6 \times 10^4</math> cel. /ml (28 días).</i>	27
<b>Tabla 23:</b> <i>Interpolación lineal para <math>3 \times 10^6</math> cel. /ml (28 días).</i>	27
<b>Tabla 24:</b> <i>Interpolación lineal para <math>6 \times 10^6</math> cel. /ml (28 días).</i>	27

<b>Tabla 25:</b> <i>Resultado de la interpolación de ensayos de resistencia a la flexión a los 28 días según concentración de bacterias.</i> .....	28
<b>Tabla 26:</b> <i>Detalles y propiedades de los agregados.</i> .....	29
<b>Tabla 27:</b> <i>Calificaciones de permeabilidad de cloruro.</i> .....	29
<b>Tabla 28:</b> <i>Efecto de las bacterias en la prueba de permeabilidad de cloruro a los 28 días.</i> .....	29
<b>Tabla 29:</b> <i>Datos seleccionados a interpolar para encontrar la resistencia a la flexión a los 28 días.</i> .....	30
<b>Tabla 30:</b> <i>Modelo para ejecutar la interpolación lineal de permeabilidad de cloruro a los 28 días.</i> .....	30
<b>Tabla 31:</b> <i>Interpolación lineal para <math>4.6 \times 10^6</math> cel. /ml (28 días).</i> .....	30
<b>Tabla 32:</b> <i>Interpolación lineal para <math>5.7 \times 10^6</math> cel. /ml (28 días).</i> .....	30
<b>Tabla 33:</b> <i>Interpolación lineal para <math>8 \times 10^6</math> cel. /ml (28 días).</i> .....	31
<b>Tabla 34:</b> <i>Interpolación lineal para <math>1.1 \times 10^6</math> cel. /ml (28 días).</i> .....	31
<b>Tabla 35:</b> <i>Resultado de ensayos de permeabilidad de cloruro a los 28 días según concentración de bacterias.</i> .....	31

### Índice de Gráficos y Figuras

<b>Figura 1:</b> <i>Variación de la resistencia del concreto a los 7 y 28 días respecto a las diferentes dosificaciones de bacterias bacillus sphaericus.</i> .....	25
<b>Figura 2:</b> <i>Variación de la resistencia a la flexión del concreto a los 28 días respecto a las diferentes dosificaciones de bacterias bacillus sphaericus.</i> .....	28
<b>Figura 3:</b> <i>Variación de la permeabilidad de cloruro en el concreto a los 28 días respecto a las diferentes dosificaciones de bacterias bacillus subtilis.</i> .....	32

## Resumen

El desarrollo de la tesis fue presentada mediante el método de análisis documental, puesto que, a inicios del año 2020, hubo una crisis de salud mundial, conocida popularmente como covid-19. No obstante, esta tesis corresponde a la línea de investigación de Diseño Sísmico y Estructural, con el título “Aplicación de bacterias *Bacillus Pseudofirmus* para mejorar las propiedades del concreto  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ , en San Martín de Porres, 2020”, cuyo objetivo del estudio es el mejoramiento en las siguientes propiedades del concreto como: Resistencia, flexión e impermeabilidad. El concreto a nivel mundial presenta diversas fallas (grietas, fisuras, etc), tanto en su preparación como en su uso estructural. Por ello, esta investigación promueve el uso de recursos naturales para minimizar costos de mantenimiento. Ya que actualmente se usa aditivos químicos como solución inmediata, pero con poco desarrollo sostenible. La metodología utilizada fue por medio de interpolación de datos de los ensayos de tesis, artículos, revistas, etc. Y así lograr tener una trascendencia en las investigaciones, teniendo en cuenta y respetando los resultados de ensayos de los investigadores. Los resultados fueron positivos, haciendo uso de las bacterias *Bacillus sphaericus* y *Bacillus subtilis* en diferentes dosificaciones, que son de la misma familia que los *Bacillus pseudofirmus*, este parentesco encaminan con los mismos objetivos de la presente tesis, obteniendo resultados mediante ensayos de probetas entre 7 y 28 días. En conclusión, al aplicar bacterias de la familia *Bacillus sphaericus* en el concreto, aumenta la resistencia compresión a los 28 días en un 20.94 %, con una dosificación  $5 \times 10^6$  cel. /ml; la resistencia a la flexión incremento en un 32.42 % con una dosificación de  $3 \times 10^6$  cel. /ml y al aplicar *Bacillus subtilis* en una dosificación de  $4.6 \times 10^6$  cel. /ml, la resistencia a la permeabilidad de cloruros aumentó en un 13.64 %.

**Palabras clave:** Bacteria, Bacillus, resistencia.

## **Abstract**

The development of the thesis was presented through the method of documentary analysis, since, at the beginning of 2020, there was a global health crisis, popularly known as covid-19. However, this thesis corresponds to the research line of Seismic and Structural Design, with the title "Application of Bacillus Pseudofirmus bacteria to improve the properties of concrete  $f'c = 210 \text{ Kg / cm}^2$ , in San Martin de Porres, 2020", whose objective of the study is the improvement in the following properties of concrete such as: Strength, bending and impermeability. Concrete worldwide has various flaws (cracks, fissures, etc.), both in its preparation and in its structural use. Therefore, this research promotes the use of natural resources to minimize maintenance costs. Since chemical additives are currently used as an immediate solution, but with little sustainable development. The methodology used was through interpolation of data from thesis essays, articles, journals, etc. And thus achieve a transcendence in research, taking into account and respecting the results of researchers' trials. The results were positive, using the bacteria Bacillus sphaericus and Bacillus subtilis in different dosages, which are from the same family as Bacillus pseudofirmus, this relationship leads to the same objectives of the present thesis, obtaining results through test tubes between 7 and 28 days. In conclusion, when applying bacteria from the bacillus sphaericus family to concrete, the compressive strength increases at 28 days by 20.94 %, with a dosage of  $5 \times 10^6$  cells / ml; the flexural strength increased by 32.42 % with a dosage of  $3 \times 10^6$  cells / ml and when applying bacillus subtilis at a dosage of  $4.6 \times 10^6$  cells / ml, the resistance to chloride permeability increased by 13.64 %.

**Keywords:** Bacteria, Bacillus, resistance



## I. INTRODUCCIÓN

Alrededor del mundo, las estructuras que emplean concreto tienen un problema en común, el agrietamiento, permitiendo la contaminación de la estructura por agua, oxígeno, cloruros o algún componente agresivo que puede penetrar a través de una grieta. El científico holandés Henk Jonkers, en el año 2015 luego de 9 años de investigación y desarrollo presentó el bio-concreto, material con las características de auto-repararse, utilizando un organismo vivo de la familia Bacillus, cuyo nombre es pseudofirmus, con este nuevo material en Ecuador se combatió este problema implementado en canales de irrigación con resultados favorables. En India se utilizó la especie de bacteria Bacillus sphaericus, con resultados positivos, pero para concreto preparado a temperaturas adecuadas.

En el Perú las estructuras de concreto no son ajenas a este problema de agrietamiento, en el departamento Apurímac en el 2019 se buscó prevenir el agrietamiento del concreto, en el proyecto de pavimentación en la provincia de Grau en determinadas partes del proyecto se utilizó fibra de acero como reforzamiento del concreto, obteniendo resultados positivos disminuyendo el porcentaje de grietas. En el departamento de La Libertad en Trujillo se buscó reforzar las propiedades del concreto aplicando aditivo Chema 1 Líquido con resultados optimistas, en 2016, en Cusco existen antecedentes sobre el análisis del concreto aplicando la bacteria bacillus subtilis más biopolímeros como bio-reparadores a nivel de investigación obteniendo resultados eficientes a temperaturas favorables.

En el distrito de San Martín de Porres en Lima, muchas viviendas sin discriminar son afectadas por este problema. Los aditivos para contrarrestar el agrietamiento del concreto como el EUCOCOMP-100 es caro y no reparan una grieta solo la previenen. La Universidad de Ciencias y Humanidades (UCH) han presentado, lo que ellos llaman biomateriales que pueden ser utilizados en la construcción. Lograron cultivar y utilizar la bacteria Bacillus, presentada en líquido y polvo para poder ser utilizado en la elaboración concreto, cemento y ladrillo. En la presente investigación se utilizó este biomaterial, para el mejoramiento de las propiedades del concreto utilizado en edificaciones, teniendo en cuenta la temperatura del ambiente que hay en el distrito de San Martín de Porres.

## **Formulación del problema**

En el distrito de San Martín de Porres, las estructuras de concreto sufren de agrietamiento en el concreto, la contracción natural de este material, también es causado por la mala elaboración y abastecimiento del mismo, entre otros. Las investigaciones a nivel mundial y nacional han encontrado la familia de Bacillus, tiene la propiedad en conjunto con el concreto de regenerar a este último, sumado a ello estas bacterias tienen la promesa de mejorar las propiedades del concreto a un costo competitivo a los aditivos que vienen comercializándose y que también buscan solucionar este problema.

## **Problema general**

¿Cuánto influye la aplicación de bacterias Bacillus en el mejoramiento de las propiedades del concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , en el distrito de San Martín de Porres, 2020?

## **Problemas específicos**

- ¿Cuánto influye la aplicación de bacterias Bacillus en la resistencia a la compresión del concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , en el distrito de San Martín de Porres, 2020?
- ¿Cuánto influye la aplicación de bacterias Bacillus en la resistencia a la flexión del concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , en el distrito de San Martín de Porres, 2020?
- ¿Cuánto influye la aplicación de bacterias Bacillus en la permeabilidad del concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , en el distrito de San Martín de Porres, 2020?

## **Justificación la investigación**

La ingeniería civil está íntimamente relacionada a este problema, debe ser motor y combustible en la búsqueda de soluciones que lleven a encontrar un concreto que este realmente a la altura de la época en que vivimos. Se busca medir la mejora en las propiedades del concreto de  $f'c 210 \text{ kg/cm}^2$  en muchos aspectos como durabilidad, impermeabilidad y resistencia. Llegar a tener un concreto de calidad es

muy costoso, con la aplicación de estas bacterias se busca una alternativa sostenible y de costo asequible a través del tiempo.

### **Hipótesis general**

La aplicación de bacterias Bacillus mejora las propiedades del concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>, en el distrito de San Martín de Porres, 2020.

### **Hipótesis específicas**

- La aplicación de bacterias Bacillus incrementa la resistencia a la compresión del concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>, en el distrito de San Martín de Porres, 2020.
- La aplicación de bacterias Bacillus aumenta la resistencia a la flexión del concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>, en el distrito de San Martín de Porres, 2020.
- La aplicación de bacterias Bacillus disminuye la permeabilidad en el concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>, en el distrito de San Martín de Porres, 2020.

### **Objetivo general**

Evaluar la influencia de la aplicación de bacterias Bacillus como mejoramiento de las propiedades del concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>, en el distrito de San Martín de Porres, 2020.

### **Objetivos específicos**

- Determinar la influencia de la aplicación de bacterias Bacillus en el incremento la resistencia a la compresión del concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>, en el distrito de San Martín de Porres, 2020.
- Determinar la influencia de la aplicación de bacterias Bacillus en el aumento de la resistencia a la flexión del concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>, en el distrito de San Martín de Porres, 2020.
- Determinar la influencia de la aplicación de bacterias Bacillus para mejorar de la impermeabilidad del concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>, en el distrito de San Martín de Porres, 2020.

## II. MARCO TEÓRICO

Mendoza y Sánchez (2017), en su investigación titulada *Análisis de la resistencia del concreto utilizando bacterias del género Bacillus y Biopolímeros como bioreparador, cusco-2016* de la Universidad Andina del Cusco, tuvo como objetivo mejorar la resistencia de las estructuras de concreto, mediante la aplicación de Bacillus Subtilis. Fue un estudio aplicada e experimental, en la cual, como población se realizó en 144 probetas fisuradas de concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , cuya muestra son de tipo de solución bioreparadora y de curado, y como muestreo, a las probetas se realizó los ensayos de resistencia a la compresión axial; los instrumentos empleados a través de Formato Excel, donde se indicará los diversos cálculos con agregados, horno de esterilización, etc. Que consistían en la guías de observación de los laboratorios. Los principales resultados es el tiempo de crecimiento y esporulación de Bacillus subtilis, en el cual, obtuvo un ambiente de cultivo con temperatura de  $35^\circ\text{C}$  y con el control de 23h. Se concluyó que al sistema de bioreparación del concreto fisurado, aplicando Bacillus a base de polvo, no mantuvo la resistencia, a cambio, a través de inyección de la bacteria se logró minimizar y sellar las fisuras en el concreto.<sup>1</sup>

Cubas (2019), en su investigación titulada *Mejoramiento del Concreto  $f'c 210 \text{ kg/cm}^2$  y mortero 1:5 adicionando aditivos Chema, distrito de Víctor Larco Herrera, Trujillo, La Libertad* de la universidad Cesar Vallejo, tuvo como objetivo Determinar el nivel de mejora, en las propiedades del concreto  $f'c 210 \text{ kg/cm}^2$  y el mortero 1:5, con los aditivos Chema. Fue un estudio experimental, en la cual, como población de su estudio fue con probetas y testigos de concretos, insertando aditivos de Chema, a base de impermeabilidad para el concreto, cuya muestra se realizó 87 probetas de concreto aplicando con Chemaplast en porcentajes de 0.71%, 0.94% y 2% y con Chema 1 Liquido 4%, 4.45% y 5%; los instrumentos empleados fue mediante técnicas de recolección de datos, tales como: Observación directa, análisis de la documentación y pruebas de laboratorio. Los principales resultados fueron en el análisis de las proporciones e presentaciones del aditivo Chema en el concreto, hacia la resistencia a la compresión del concreto. Se concluyó que los aditivos Chema en el concreto  $f'c 210 \text{ kg/cm}^2$  y del mortero 1:5, mejoran la impermeabilidad y la resistencia a la compresión.<sup>2</sup>

Armas (2016), en su investigación titulada *Efectos de la adición de fibra de polipropileno en las propiedades plásticas y mecánicas del concreto hidráulico* de la Universidad Señor de Sipán, tuvo como objetivo determinar los efectos de la aplicación de la fibra de polipropileno en el concreto y observar mejora en sus propiedades mecánicas y plásticas. Fue un estudio experimental, en la cual, como población es el concreto a base a las resistencias a la compresión  $f'c$  175, 210 y 280 kg/cm<sup>2</sup>, adicionando la fibra en dosis de 0, 200, 300 y 400 gr/m<sup>3</sup>, cuya muestra son 144 probetas en compresión, 36 vigas en flexión y 12 losas en fisuración por contracción plástica, y como muestreo, la ejecución de la Norma NTP y ASTM, para los detalles técnicos en la veracidad de la investigación; los instrumentos fueron mediante el método analítico, la observación y el análisis con el data obtenido de los laboratorios. Los principales resultados indican que, al aplicar fibra de polipropileno en el concreto, presenta una disminución en el asentamiento del material. Se concluyó que la variación de los resultados, dependía del volumen de la fibra añadida en el concreto, en la cual para incrementar la resistencia a la tracción y flexión del concreto, sería aplicando un 0.5% de dosis de fibras.<sup>3</sup>

Parraguez (2018), en su investigación titulada *Estudio sobre el rendimiento de bacterias como agente de auto-reparación en el hormigón bajo diferentes condiciones de temperatura y tipo de cemento* de la Universidad Técnica Federico Santa María, tuvo como objetivo analizar la consecuencia de la temperatura y el tipo de cemento empleado al concreto en la capacidad de la bacteria bacillus pseudofirmus de precipitar carbonato de calcio para la auto-reparación de fisuras. El estudio planteado fue descriptivo y experimental. Se limita al concreto fabricado con cemento portland y puzolánico, en la cual, haciendo un total de 36 muestras sometidas a dos tipos de ensayo, porcentaje de autorreparación y resistencia a la compresión; los instrumentos utilizados fueron el microscopio electrónico de barrido para graficar los niveles de sellado de 850X y 1500X y una prensa hidráulica para ensayos de tracción por flexión normal chilena NCh1038. El resultado fue la auto-reparación del concreto de las probetas con bacterias 23°C, teniendo el mejor promedio. Se concluyó que los componentes de este concreto autorreparable, requirieren de temperaturas adecuadas para su correcto funcionamiento.<sup>4</sup>

Giraldo (2017), en su investigación titulada *Autorreparación de fisuras en concreto rígido para pavimentos mediante la adición de bacterias bioprecipitadoras de carbonato de calcio – Estado de arte y diseño experimental*, de la Universidad Nacional de Colombia, tuvo como objetivo evaluar la autorreparación de fisuras en concreto rígido para pavimentos mediante la adición de bacterias bioprecipitadoras de carbonato de calcio de esta forma mejorar las propiedades del concreto. Fue un estudio de tipo experimental de tipo descriptivo; la población de estudio consta de 162 muestras. Los instrumentos son los ensayos de absorción de agua y permeabilidad, resistencia a la compresión y resistencia a la flexión. Los resultados de la aproximación al estado del arte realizados por Bang, Kwadha, Chahal, Achal, El-Enein, Jing. Concluyó que la bacteria *Bacillus sporosarcina* en conglomeraciones que están entre  $0$ ,  $10^5$ ,  $10^6$ ,  $10^7$ ,  $10^8$  y  $10^9$  células/ml, consiguieron los resultados más favorables en pruebas mecánicas-físico y en el desarrollo de precipitación de cristales de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ).<sup>5</sup>

Aliko (2014) en su tesis doctoral titulada *Modelo mecano-químico-difusivo fenomenológico de autorreparación: implementación numérica y simulación con aplicación a materiales*, Universidad de Sevilla, tuvo como objetivo la modelar matemáticamente a nivel de medio continuo del fenómeno de la autorreparación del concreto. Fue un estudio de tipo aplicada y experimental, como población se tiene a todos los tipos de materiales estructurales de autorreparación cuya muestra son los métodos de concreto autorreparable mediante precipitación de calcita. El instrumento es la aplicación del modelo tipo Drucker-Prager para ver la evolución del daño en materiales estructurales. Como resultado para un espécimen prismático y una viga sumergida tipo T, en ambos casos las condiciones iniciales en una concentración nula de carbonato  $[\text{CaCO}_3] (t = 0) = 0$  y concentración uniforme de calcio  $[\text{Ca}^{2+}] (t = 0) = 0,3$  en el interior del dominio de los especímenes. Se concluyó como propuesta un nuevo modelo de autorreparación bajo el fenómeno físico-químico que activa esta característica en el concreto, basado en la precipitación de  $\text{CaCO}_3$ .<sup>6</sup>

Hussein (2016), en su investigación científica titulada *Effectiveness of Self-Healing in Repair of Strategic Concrete Structures "A Simplified Model*, American University in Cairo, their goal was to develop a prototype that predicts the crack diffusion rate of self-healing concrete, compared to conventional concrete. It was an applied and experimental type study; had as a population the conventional concrete cracked structures during the first 5 years, whose sample was 12 different initial crack areas of concrete with capsules to make a self-healing concrete. The instruments used were a scanning electron microscope to observe the development of self-healing concrete and statistical techniques of average maintenance costs of cracked concrete. Los resultados demostraron que las áreas de grietas pronosticadas del concreto autocurativo fueron menores con respecto al concreto convencional. Se concluyó con la recomendación de expandir la utilización del concreto autocurativo teniendo en cuenta los promedios de curación y los factores que no lo afectan. <sup>7</sup>

Sathyan (2015), en su investigación titulada *Study on mechanical properties of cement mortar by the addition of ureolytic bacteria* del National institute of technology, tuvo como objetivo principal mejorar las propiedades de resistencia normal del concreto utilizando una sola especie de bacteria. Fue un estudio de tipo aplicada y experimental, como población se tiene a las probetas con resistencia normal en donde se obtuvo una muestra de 54 probetas. Los instrumentos utilizados consisten en la aplicación de bacterias en diferentes proporciones para ser ensayadas a diferentes edades. Como resultado tenemos que para resistencia a la compresión de 7 días y 28 días respectivamente. La concentración celular aumenta la resistencia a la compresión tanto en 7 días como en 28 días aumenta inicialmente y luego disminuye. La fuerza máxima se produce a una concentración celular de aproximadamente  $10^{77}$  células/ml. Se concluyó que, para mejorar las propiedades del mortero de cemento u hormigón, las bacterias apropiadas deben seleccionarse juiciosamente. Por ejemplo, *Bacillus cereus* no pudo sobrevivir en el ambiente dado mientras que otra especie de *Bacillus sphaericus* sobrevivió.<sup>8</sup>

Wiktor (2015), en su investigación científica titulada *Field performance of bacteria-based repair system: Pilot study in a parking garage* de la University of Technology, The Netherlands, tuvo como objetivo analizar el rendimiento de campo del sistema basado en bacterias desarrollado en el laboratorio. Fue un estudio de tipo aplicada y experimental, en la cual, como población son los sistemas de reparación tradicional con métodos concretos y de base biológica, cuya muestra la solución B, de nitrato de calcio y como muestreo es combinar con el sistema de reparación y método basados en el desarrollo sostenible; los instrumentos empleados consistía en la aplicación de solución A de silicato de sodio y la solución B de nitrato de calcio en los sistemas de reparación tradicionales y biológicos. Los principales resultados fueron la presentación de grietas que no habían sido reparadas con las bacterias, ya que se observaba grandes fugaz y la resistencia a la congelación/descongelación del concreto, fue diagnosticado con el sistema de reparación biológicamente, en el cual, es mayor que el concreto no tratado. En conclusión, el sistema implementado optimiza el aumento, en el sellado en el concreto en grietas y la resistencia a la formación de escamas de sal helada.<sup>9</sup>

Espitia, Castaño, Corredor, Ordoñez, Pérez y Rodríguez (2019), en su investigación científica titulada *Mechanisms of encapsulation of bacteria in self-healing concrete: review*, de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, tuvo como objetivo evaluar las técnicas de autorreparación en el concreto, con bacterias encapsuladas. Fue un estudio de tipo experimental, en la cual, como población son los tipos de métodos de encapsulamiento de bacterias, cuya muestra es el Bacillus Subtilis y como muestreo, dicha bacteria se puede insertar directamente en la matriz del concreto; los instrumentos empleados consistían en la aplicación de bacterias Bacillus sphaericus, Sporosarcinapasteurii y Subtilis en el concreto. Los principales resultados fueron la reacción de cada una de ellas en el concreto, para la disminución de grietas y mejoramiento de la resistencia. Se concluyó que solamente la bacteria Bacillus subtilis debe ser usado en el concreto, ya que reparo una fisura de 0.52 mm y logro mejorar la resistencia en un 12% del concreto.<sup>10</sup>



Maheswaran, Dasuru and Chandra (2014), in his research titled *Strength improvement studies using new type wild strain Bacillus cereus on cement mortar from Structural Engineering Research Centre and National Environmental Engineering Research Institute*, The objective of this work is to study the application of Biomimetics in improving strength and durability in concrete involving *Bacillus cereus* in different concentrations. The proposed study was descriptive and experimental, whose population is all concrete with a resistance of 35 MPa, with 132 samples subjected to different tests; the instruments used were the scanning electron microscope, thermogravimetric analyzer and hydraulic presses for flexural tensile and compressive strength tests. Los resultados de los ensayos de permeabilidad mostraron la reducción de penetración del cloruro en comparación con la muestra control para concentraciones de bacterias cereus de 105, 106, 107 cel/ml. Concluyeron que el logro de un 38% de mejora de la fuerza mediante el uso *B. cereus* en el mortero de cemento y su capacidad para prevenir la penetración de cloruros en la estructura de hormigón es un parámetro crítico, especialmente en los ambientes marinos.<sup>11</sup>

Ruben, Sri y Venkatesh (2019), en su investigación científica titulada *Mechanical Parameters of Bacterial Concrete* de la Universidad de Vignan, tuvo como objetivo evaluar las propiedades mecánicas del hormigón autocurativo a base de bacterias. Se seleccionaron dos bacterias como bioagentes en el hormigón, a saber, *Bacillus subtilis* y *Bacillus halodurans*. La concentración de los bioagentes se fijó en 105-107 células / ml en agua. Luego, las dos bacterias se aplicaron al concreto agrietado para curar las grietas. Después de curar durante varios días, el hormigón autocurativo a base de bacterias se sometió a pruebas de compresión y flexión para estimar sus parámetros mecánicos. Los resultados se detalla que las probetas de concreto autorreparables curados en las edades de 14 y 28 días, obtenían una resistencia a la compresión de 7% y 18%, mayor que el concreto convencional, y por la resistencia a la flexión tenían 11% y 28% mayor que el concreto convencional. En conclusión, las bacterias *Bacillus* curan con eficacia las grietas y ser impermeable en la superficie del concreto.<sup>12</sup>

## **Definiciones conceptuales de las variables, indicadores e instrumentos**

### **Concreto:**

El concreto es un término de mezcla, compuesto por el cemento Portland, agua, agregados gruesos e finos y aire. Nos obstante, “El concreto es un producto artificial compuesto, que consiste de un medio ligante (pegamento) denominado pasta (mezcla del agua con el cemento), dentro del cual se encuentran embebidas partículas (agregados) de diferentes tamaños.” [13]

### **Tipos de Concreto:**

**Concreto Simple:** La conformación de este concreto es básico en sus componentes, no posee ningún tipo de material de refuerzo o elementos para una mejora, todo previamente prefabricados en las dosis. “Es una mezcla de cemento portland, agregado fino, agregado grueso, y agua. En la mezcla el agregado grueso deberá estar totalmente envuelto por la pasta del cemento, el agregado fino deberá rellenar los espacios entre agregado grueso y a la vez estar recubierto por la misma pasta.” [14]

**Concreto Armado:** Dentro de este concreto, se usa en la armadura, que está compuesta por vigas, columnas y losas (techos) de la estructura. “Se denomina así al concreto simple cuando este lleva armaduras de acero como refuerzo y que está diseñado bajo la hipótesis de que los dos materiales trabajan conjuntamente, actuando la armadura para soportar los refuerzos de tracción o incrementar la resistencia a la compresión del concreto.” [14]

### **Propiedades del concreto endurecido**

**Resistencia a la compresión:** Es una característica considerable dentro del diseño, su valor depende en gran porcentaje de las variaciones de las cantidades de los agregados del concreto y de la calidad de los mismos. Se mide a través de instrumentos, estos ensayos pueden ser destructivos y no destructivos, cada uno empleado en diferentes casos. El ensayo bajo la norma ASTM C31 incita

procedimientos para las muestras de curado en campo, es la forma más económica de medir la resistencia y la más adecuada.<sup>15</sup>

**Resistencia a la flexión:** Las múltiples estructuras hechas de concreto están sometidas a fuerzas. El concreto en vigas ofrece resistencia a la flexión, cabe resaltar que esta resistencia se presenta con valores más bajos a comparación que la resistencia a la compresión por ello los elementos estructurales que están sometidos a estas fuerzas son reforzados bajo ciertos criterios de diseño contrarrestando la falta de resistencia y llegando a valores óptimos según RNE. Esta resistencia se manifiesta como Módulo de Rotura (MR) en libras por pulgada cuadrada (MPa) y se define bajo los métodos de ensayo normados ASTM C78 o ASTM C293 <sup>16</sup>

**Impermeabilidad:** Esta característica es factor importante y es directamente proporcional a la durabilidad de un material. El concreto debe soportar por sí mismo la inclusión de fluidos como el agua, soluciones acuosas, fluidos gaseoso como el aire y otros gases; esta cualidad se puede ver beneficiada sí, tenemos una baja relación de cemento/agua en el concreto además hay muchos aditivos que refuerzan esta propiedad, acompañado con un curado de calidad. <sup>17</sup>

### **Prueba rápida de permeabilidad de cloruros**

Con este ensayo se puede medir el nivel de impermeabilidad del concreto, basándose en pruebas controladas estrictamente, los resultados son una confesión del panorama del material que estamos utilizando, en este caso el concreto. Haciendo uso de una carga eléctrica a través de una probeta bajo las características establecidas de la norma ASTM C1202 se determinará la facilidad de penetración de cloruros dentro del concreto saturado.<sup>18</sup>

### **Fisuras**

Presentes en la mayoría de concretos sin importar la estructura, una fisura es aquella abertura longitudinal que no involucra la integridad de la estructura. Una fisura no trabaja estructuralmente, solo se presenta superficialmente y pueden ser reparadas y no vuelven aparecer, tiene muchos causantes que pueden ser exceso

de agua en la mezcla, un mal vaciado, un pésimo curado del concreto, mal vibrado, cuantía insuficiente, entre otros. Las fisuras son uno de los síntomas patológicos más importantes del comportamiento en servicio de las estructuras de concreto.<sup>19</sup>

### **Grietas**

Estos elementos se presentan en una estructura y son sinónimo de un déficit estructural. Si se permite, las grietas vendrían hacer una fisura considerable en tamaño y además involucra la integridad de la estructura, estas no son tan fáciles de reparar, para ello hay que eliminar la causa que las produjo con ciertos trabajos especiales. Para comprender lo que sufre la estructura y obtener un diagnóstico sobre el origen del problema, se resuelve a base del análisis morfológico de las grietas. Es ahí donde se ejecuta una medida de prevención para evitar daños futuros en la estructura.<sup>20</sup>

### **Lactato de Calcio**

Esta sal es de forma natural, ya sea de forma industrial o natural, pero con un foco a lo sostenible para su uso. Se diferencia de otras sales con la recuperación del efluente de la desmineralización, y por ello es frecuentemente utilizada en las industrias como fortificante y aditivo, tanto constructivo y farmacéutico. Esta sal, tiene una solubilidad en agua de 3.4 g por 100g t 20 de agua a 20°C, en la cual es directamente proporcional su aumento con la temperatura ambiente.<sup>21</sup>

### **Familia Bacillus**

Esta familia es considerada del género bacterias, ya que posee como estructura de gram positiva. Su formación es adaptable a una extrema resistencia hacia las temperaturas altas y desinfectantes industriales. En la cual su variedad de su especie es múltiple, tanto son de uso doméstico, como ahora el uso industrial. Entre las familias resalta su resistencia en diversos ambientes. Son en su mayoría 266 especies, pero reconocidas unos 43 de ellas y utilizadas unas 13. Esta familia fue expuesta a diferentes ensayos tanto de cultivo y congelación, en la cual se determinó su extrema resistencia de vida y obtener un largo periodo de tiempo congelado.<sup>22</sup>

**Bacillus Subtilis:** Es una bacteria gram positiva, en la cual posee una resistencia ambiental extrema. No obstante causa un efecto negativo hacia el ser humano. Pero industrialmente controlado para su uso doméstico como constructivo. Posee una recuperación en un tiempo de adaptación donde crece, y se divide para su crecimiento celular.<sup>23</sup>

**Bacillus Sphaericus:** Es una bacteria gram positiva, en la cual posee una importancia en su uso comercial, debido que su cultivo de cepas, minimiza la malaria y paludismo, que afecta a la salud mundial, en la cual numerosos laboratorios es usado para la medicina, no obstante, se propuso a industrializarlo y así poder explorar más sus funciones reparadoras.<sup>24</sup>

**Bacteria Bacillus Pseudofirmus:** Es una especie alcalinofílica, soporta un pH alto en un ambiente que esta mantenida con un pH citoplásmico, llegando a niveles más altos que la mayoría de las bacterias. Sobrevive a ambientes adversos y puede mantenerse inactiva en la naturaleza alrededor de los 200 años. En conjunto con el lactato de calcio (cápsulas) se crea un componente biológico que forma parte de la mezcla para hacer un concreto autorreparable, cuando hay alguna agrieta las bacterias entran en juego y se reactivan por medio del agua y/o humedad para empezar el proceso de regeneración del concreto por medio de la precipitación del lactato de calcio. Al agrietarse produce un contacto directo con el ambiente (aire y humedad), y es ahí donde se creará el lactato de calcio, siendo ello el alimento de la bacteria, para así producir calcita, y por consiguiente el sellado de la estructura y preservando el medio ambiente.<sup>25</sup>

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y Diseño de investigación**

La investigación presentada, se desarrolla de tipo aplicada, ya que el uso de bacterias *Bacillus Pseudofirmus* al concreto, es de forma natural, y desarrollada por la recolección de datos. El nivel que se ha considerado es retrospectivo y se aplicara la interpolación con otras investigaciones en la mejora de propiedades del concreto en su resistencia e impermeabilidad. Es decir, “[...] investigación científica se caracteriza por buscar un conocimiento cada vez más general, amplio y profundo de la realidad aplicando el llamado método científico” [26].

#### **Diseño de investigación:**

El tipo de diseño cuasi experimental, debe considerar unas restricciones al realizar un diseño experimental, en la cual la meta es lograr la interacción con una variable independiente (VI: Bacteria de *Bacillus Pseudofirmus*), con el fin de comprobar un efecto y relación con uno o más variable dependientes (VD: Propiedades del Concreto); una de las diferencias del experimental es el retraso en la confiabilidad. Por lo tanto, nuestro proyecto es considerado un cuasi experimental, ya que, la manipulación es intencionalmente en las cantidades de las bacterias *Bacillus Pseudofirmus* ( $10^2$ ,  $10^4$ ,  $10^6$  células/ml), con el objetivo de analizar de cómo influye en el mejoramiento de las propiedades del concreto, limitado por el pre definido de  $F'c= 210 \text{ kg/cm}^2$  por los investigadores. En la cual, se realizó 4 tipos de diseños (1 concreto patrón y 3 con dosis de bacterias ( $10^2$ ,  $10^4$ ,  $10^6$  células/ml); dosificaciones seleccionadas a base de diversos tipos de estudios, ya sea de la misma carrera como aportes científicos profesionales, que hayan realizado con la bacteria *Bacillus Pseudofirmus*.

#### **3.2. Variable y Operacionalización.**

“La función de la operacionalización es presentar al lector la manera en la que se han conceptualizado y operativizado las variables, [...]. Una variante de la operacionalización de las variables es la denominada matriz de consistencia, que es un esquema traducido a tabla, donde se explicitan de manera resumida todas las partes del proyecto de investigación.” [27].

**Variable Independiente (VI):** bacteria *Bacillus Pseudofirmus*.

Bacillus pseudofirmus es una bacteria anaerobia (capaz de vivir sin oxígeno) facultativa (que puede desarrollarse o no), gram positiva (teñidas de azul oscuro o violeta), alcalitolerante, endospora (que no se reproducen), precipitadora alcalina.

**Definición operacional:** La inclusión de la bacteria Bacillus Pseudofirmus se aplicó con una dosificación de  $10^2$ ,  $10^4$ ,  $10^6$  células/ml, respecto del concreto, se emplearán para los 03 diseños de mezclas siguientes, con el objetivo aumentar la resistencia (compresión y flexión) y disminuir la cantidad de agua en el concreto, posteriormente se procederá a elaborar 48 probetas cilíndricas y 12 vigas prismáticas.

**Variable Dependiente (VD):** Propiedades del Concreto.

El concreto tiene propiedades importantes durante su proceso de elaboración como también después de su endurecimiento como la resistencia a la compresión, flexión, permeabilidad entre otros que hacen del concreto un material idóneo para la construcción.

**Definición operacional:** Para medir propiedades del concreto, se realizará con los ensayos a la resistencia, en base de compresión y flexión, también la permeabilidad del concreto.

Variable independiente (Vi)       $\longrightarrow$       V1: Bacteria Bacillus Pseudofirmus

Variable dependiente (Vd)       $\longrightarrow$       V2: Propiedades del Concreto

### 3.3. Población, Muestra y muestreo

#### Población

Es un total de observaciones posibles, o como también conocido universo. Es decir, "Población. Es el conjunto de personas u objetos de los que se desea conocer algo en una investigación" [28].

La población está conformada por todas las probetas de dimensiones 15 cm x 30 cm del distrito de San Martín de Porres, resultantes de todas las pruebas de resistencia a la compresión, flexión e impermeabilidad, como también la aplicación en los 3 diseños adicionales.

## Muestra

La muestra de investigación se justifica en el Reglamento Nacional de Edificaciones, norma E.060 en el capítulo 3, artículo 4.5.1.a, donde menciona los requisitos de la cantidad de ensayos que se implementará en este informe. Dicha Norma menciona, la cantidad mínima de ensayos serán 3 para cada edad, como también con el ASTM C78 y para el ensayo de la impermeabilidad, se determinó con el ASTM C642, donde menciona: “4.1 Siempre que sea posible, la muestra consistirá en varias porciones individuales de concreto, cada una de las cuales se analizará por separado. Las porciones individuales pueden ser piezas de cilindros, núcleos o vigas de cualquier forma o tamaño deseado, excepto que el volumen de cada porción no debe ser inferior a 350 cm<sup>3</sup>” [29]. La adición de la bacteria se añadirá en una concentración de 10<sup>2</sup>, 10<sup>4</sup>, 10<sup>6</sup> células/ml.

Las cantidades para la dosificación de la bacteria *Bacillus Pseudofirmus* son en base a la investigación de Giraldo (2017), donde planteó utilizar 10<sup>0</sup>, 10<sup>3</sup>, 10<sup>5</sup>, 10<sup>7</sup> células/ml.

Por consiguiente, se elaboró una tabla, donde se detalla las cantidades de dosificación de la bacteria. En la cual resulto 60 probetas en los tiempos de 7, 14 y 28 días, que fueron ensayadas, con el objetivo de tener la estadística óptima, por tal motivo dicho diseño coincide con nuestro estudio.

**Tabla 1:** *Muestra de la investigación*

DESCRIPCIÓN	COMPRESIÓN	FLEXIÓN	PERMEABILIDAD
Sin adición	9	3	3
Con adición de bacterias 10 <sup>2</sup> células/ml	9	3	3
Con adición de bacterias 10 <sup>4</sup> células/ml	9	3	3
Con adición de bacterias 10 <sup>6</sup> células/ml	9	3	3
<b>TOTAL</b>	<b>36</b>	<b>12</b>	<b>12</b>

Fuente: Elaboración propia

## Muestreo

El muestreo es no probabilístico, ya que son elegidos al azar de la población, y posee un procedimiento estadístico, ya sea mediante las características de la norma E-060 o de los investigadores. Es decir, “Los muestreos no probabilísticos



son válidos si un determinado diseño de investigación así lo requiere, sin embargo, si bien los resultados son generalizables a la muestra en sí o a muestras similares, no son generalizables a una población” [30].

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad**

Retrospectivo, ya que dicha investigación realiza una comparación de dos investigaciones, en la cual como la variable independiente son las bacterias y el concreto  $f'c=350$  kg/cm<sup>2</sup> como variable dependiente, así mismo, con otra investigación son comparados, pero no realizados (análisis documental), con el detalle que solo son similar en sus antecedentes.

Método del análisis documental, de forma que, los datos obtenidos por otros ensayos realizados en otras tesis, tienen similitud en los antecedentes con el nuestro, de modo que, se buscará en las bibliotecas virtuales o repositorios de universidades con la línea de la investigación de la ingeniería civil a nivel nacional e internacional, como también los artículos científicos anexados, en la cual respaldan ética sus investigaciones y revistas on-line.

### **3.5. Procedimientos**

Se aplicó en la búsqueda de tesis a nivel nacional e internacional, relacionado con nuestra investigación, por la técnica documental, basado a mis variables, y las condiciones como el tipo de concreto, aditivos naturales, ensayos, etc., Para proceder a la interpolación de todos los aportes, siempre respetando los derechos del autor, con ello realizar nuestros propios estudios de análisis para los resultados, y será reflejado mediante gráficos y tablas.

### **3.6. Método de Análisis de datos**

Los datos serán seleccionados de la comparación de dos grupos de investigación: Ambas investigaciones serán de condiciones similares y con la particularidad y característica de haber sido hecho bajo un comportamiento causa y efecto. Estos datos no podrán ser producto de un ensayo, pero si comparados (análisis documental); oportunamente se tomaran sus resultados para proceder a interpolarlos, semejándolos a una posible solución sabiendo previamente que sus antecedentes son similares por ende igual condición experimental

### **3.7. Aspectos éticos**

Como estudiantes de la carrera profesional de Ingeniería Civil, en proyección al futuro, es brindar innovación constructiva, un desarrollo sostenible y servicio a la sociedad, por ello, esta investigación se concretó a base de los valores puntuales de la honestidad, respeto y primordial la confianza del no al plagio de tesis de otros autores, manteniendo el respeto a sus aportaciones, y con toda transparencia en el uso de los instrumentos proyectados en la recolección de datos para este trabajo de investigación científica y brindar nuevas ideas constructivas para las futuras generaciones. Es decir, “[...] La deliberación ética es el proceso de razonamiento consciente sobre lo que es bien y mal y dando razones defendibles para detener las acciones que van mucho más allá de la intuición moral inicial [...]” [31].

## **IV. RESULTADOS**

A inicios del año 2020, el 16 marzo, las autoridades peruanas decretaron estado de emergencia a nivel nacional y aislamiento social obligatorio. La causa de esta paralización nacional y mundial fue el virus llamado SARS-CoV-2 causando la enfermedad del covid-19, esto causó muchas más repercusiones, dando paso a una emergencia sanitaria desencadenando en una pandemia. El transporte público, buses interprovinciales, transporte aéreo, entre otros medios de transportes estuvieron clausurados, también cerraron instituciones académicas, universidades y laboratorios de concreto y suelos.

Por todo este conjunto de factores se decidió darle otro rumbo a la investigación, empleando herramientas para mitigar las carencias generadas por la coyuntura en la que se estuvo en ese momento, dando paso a la recolección de datos para la elaboración del desarrollo del proyecto de investigación que se realizó mediante la técnica de análisis documental.

Método donde se dio la oportunidad para la recolección de obtención de datos de otros trabajos de investigación presentes bajo la tutela de universidades y centros de investigación de ingeniería civil con renombre y prestigio a nivel nacional y mundial, de la misma manera se recolecto información en artículos publicados en el internet.

### **Trabajo de laboratorio**

Las tablas y figuras bases de los ensayos que se apreciara a continuación fueron obtenidas por medio de análisis documental a los ensayos practicados y presentes en las tesis, utilizando la interpolación lineal.

### **Interpolación lineal**

La interpolación lineal es un procedimiento muy utilizado para estimar los valores que toma una función en un intervalo en el cual conocemos sus valores en los extremos  $(X_0, Y_0)$ ,  $(X_1, Y_1)$ . Para estimar este valor utilizamos la aproximación de la función  $f(x)$  por medio de una recta.

Podríamos decir que entre todos los métodos de interpolación, la interpolación lineal es el método más sencillo, pero no es muy preciso. En este método tenemos

como datos dos puntos  $(X_1, Y_1)$  y  $(X_2, Y_2)$  de la función  $f$  y nuestro objetivo es averiguar el valor de 'y' cuando se proporciona un valor de la abscisa tal que  $X_1 < X < X_2$ , como la función interpolante para este método es una recta usaremos la ecuación de la recta para averiguar dicho valor (y):

$$\frac{y - y_0}{x - x_0} = \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0}$$

### Resultados comparativos de laboratorio encontrados de los respectivos trabajos de investigación:

Para los análisis documentarios, se buscó resultados de ensayos de resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y permeabilidad de cloruro con inclusión de bacterias de la familia bacillus respectivamente.

#### Ensayo de resistencia a la compresión

- Título: "Estudio sobre las propiedades mecánicas del mortero de cemento con la adición de bacterias aerolíticas"
- Autor: Aparna K. Sathyan Roll (2015)
- Bacteria: Bacillus Sphaericus
- Proporción de la mezcla de mortero: C/Arena = 1/6 y A/C = 0.55

**Tabla 2:** Detalle de las muestras de ensayo a la compresión del mortero.

ID del cubo de mortero	Concentración de bacterias (células por ml)	Proporción de mezcla		
		Cemento (kg)	Arena (kg)	Agua (ml)
Control	0	0.13	0.77	72*
B1	$10^5$	0.13	0.77	72*
B2	$10^6$	0.13	0.77	72*
B3	$10^7$	0.13	0.77	72*
B4	$10^8$	0.13	0.77	72*
B5	$10^9$	0.13	0.77	72*

\* Indica que el volumen de agua incluye bacterias.

Fuente: Aparna K. Sathyan Roll.

**Tabla 3:** Efecto de bacterias en la resistencia a la compresión a los 7 y 28 días.

Concentración celular (células/ml)	Resistencia promedio a la compresión a los 7 días (MPa)	Incremento porcentual	Resistencia promedio a la compresión a los 28 días (MPa)	Incremento porcentual
0 (control)	3.44	-	5.90	-
10 <sup>5</sup>	4.46	29.65	5.98	18.30 %
10 <sup>6</sup>	5.34	55.23	7.02	18.98 %
10 <sup>7</sup>	5.44	58.23	7.28	23.38 %
10 <sup>8</sup>	4.91	42.73	6.19	4.90 %
10 <sup>9</sup>	4.71	36.90	6.10	3.38 %

Fuente: Aparna K. Sathyan Roll.

### Interpolación – Resistencia a la compresión.

**Tabla 4:** Datos seleccionados para interpolar los resultados de resistencia a la compresión a los 7 y 28 días.

Concentración celular (células/ml)	Resistencia promedio a la compresión a los 7 días (MPa)	Resistencia promedio a la compresión a los 28 días (MPa)
10 <sup>5</sup>	4.46	5.98
<b>5 × 10<sup>5</sup></b>	<b>¿?</b>	<b>¿?</b>
10 <sup>6</sup>	5.34	7.02
<b>5 × 10<sup>6</sup></b>	<b>¿?</b>	<b>¿?</b>
10 <sup>7</sup>	5.44	7.28
<b>5 × 10<sup>7</sup></b>	<b>¿?</b>	<b>¿?</b>
10 <sup>8</sup>	4.91	6.19
<b>5 × 10<sup>8</sup></b>	<b>¿?</b>	<b>¿?</b>
10 <sup>9</sup>	4.71	6.10

Fuente: Elaboración propia.

Para realizar la interpolación hacemos uso de los datos de la tabla modelo N°5 con los datos de cada una de las concentraciones de bacterias y sus resultados en los ensayos aplicando la siguiente fórmula de interpolación:

$$Y_1 = d + \frac{b - a}{c - a}(e - d)$$

**Tabla 5:** *Interpolación lineal de la resistencia a la compresión a los 7 y 28 días.*

<b>Concentración de bacterias (cel./ml)</b>	<b>Resistencia a la compresión (MPa)</b>
<i>a</i>	<i>d</i>
<i>b</i>	$Y_1$
<i>c</i>	<i>e</i>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 6:** *Interpolación lineal para  $5 \times 10^5$  cel. /ml (7 días).*

<b>Concentración de bacterias (cel./ml)</b>	<b>Resistencia a la compresión (MPa)</b>
$10^5$	4.46
<b><math>5 \times 10^5</math></b>	<b>4.85</b>
$10^6$	5.34

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 7:** *Interpolación lineal para  $5 \times 10^6$  cel. /ml (7 días).*

<b>Concentración de bacterias (cel./ml)</b>	<b>Resistencia a la compresión (MPa)</b>
$10^6$	5.34
<b><math>5 \times 10^6</math></b>	<b>5.38</b>
$10^7$	5.44

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 8:** *Interpolación lineal para  $5 \times 10^7$  cel. /ml (7 días).*

<b>Concentración de bacterias (cel./ml)</b>	<b>Resistencia a la compresión (MPa)</b>
$10^7$	5.44
<b><math>5 \times 10^7</math></b>	<b>5.20</b>
$10^8$	4.91

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 9:** *Interpolación lineal para  $5 \times 10^8$  cel. /ml (7 días).*

<b>Concentración de bacterias (cel./ml)</b>	<b>Resistencia a la compresión (MPa)</b>
$10^8$	4.91
<b><math>5 \times 10^8</math></b>	<b>4.82</b>
$10^9$	4.71

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 10:** Resultado de interpolación de resistencia a la compresión a los 7 días según concentraciones.

Concentración de bacterias (células/ml)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
0	3.44	35.08
$5 \times 10^5$	4.85	49.47
$5 \times 10^6$	5.38	54.91
$5 \times 10^7$	5.20	53.07
$5 \times 10^8$	4.82	49.16

Fuente: Elaboración propia.

**Interpretación.** En el gráfico podemos observar: Los resultados del concreto control sin adición de bacterias fue de 35.08 kg/cm<sup>2</sup>, adicionando una dosificación de  $5 \times 10^5$  cel./ml la mezcla tuvo una resistencia de 49.47 kg/cm<sup>2</sup> con un aumento de 41.02 % de su resistencia, al aumentar la concentración de bacterias a  $5 \times 10^6$  cel./ml la resistencia incrementó en 56.52 % teniendo como resultado 54.91 kg/cm<sup>2</sup>, al ampliar la dosificación a  $5 \times 10^7$  células/ml se obtuvo una resistencia de 53.07 kg/cm<sup>2</sup> con un incremento porcentual de 51.29 % y aumentando el conglomerado de bacterias a  $5 \times 10^8$  la resistencia cayó a 49.16 kg/cm<sup>2</sup> dando como incremento de porcentaje 40.15 % respecto el ensayo control. La interpolación de estos resultados fueron logrados a partir de un concreto con inclusión de bacterias hecho en un laboratorio.

**Tabla 11:** Interpolación lineal para  $5 \times 10^5$  cel. /ml (28 días).

Concentración de bacterias (cel./ml)	Resistencia a la compresión (MPa)
$10^5$	5.98
$5 \times 10^5$	<b>6.44</b>
$10^6$	7.02

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 12:** Interpolación lineal para  $5 \times 10^6$  cel. /ml (28 días).

Concentración de bacterias (cel./ml)	Resistencia a la compresión (MPa)
$10^6$	7.02
$5 \times 10^6$	<b>7.14</b>
$10^7$	7.28

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 13:** Interpolación lineal para  $5 \times 10^7$  cel. /ml (28 días).

Concentración de bacterias (cel./ml)	Resistencia a la compresión (MPa)
$10^7$	7.28
<b><math>5 \times 10^7</math></b>	<b>6.80</b>
$10^7$	6.19

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 14:** Interpolación lineal para  $5 \times 10^5$  cel. /ml (28 días).

Concentración de bacterias (cel./ml)	Resistencia a la compresión (MPa)
$10^8$	6.19
<b><math>5 \times 10^8</math></b>	<b>6.15</b>
$10^9$	6.10

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 15:** Resultados de interpolación de ensayos de resistencia a la compresión a los 28 días según concentraciones.

Concentración de bacterias (células/ml)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
0	5.90	60.16
$5 \times 10^5$	6.44	65.69
$5 \times 10^6$	7.14	72.76
$5 \times 10^7$	6.80	69.30
$5 \times 10^8$	6.15	62.71

Fuente: Elaboración propia.

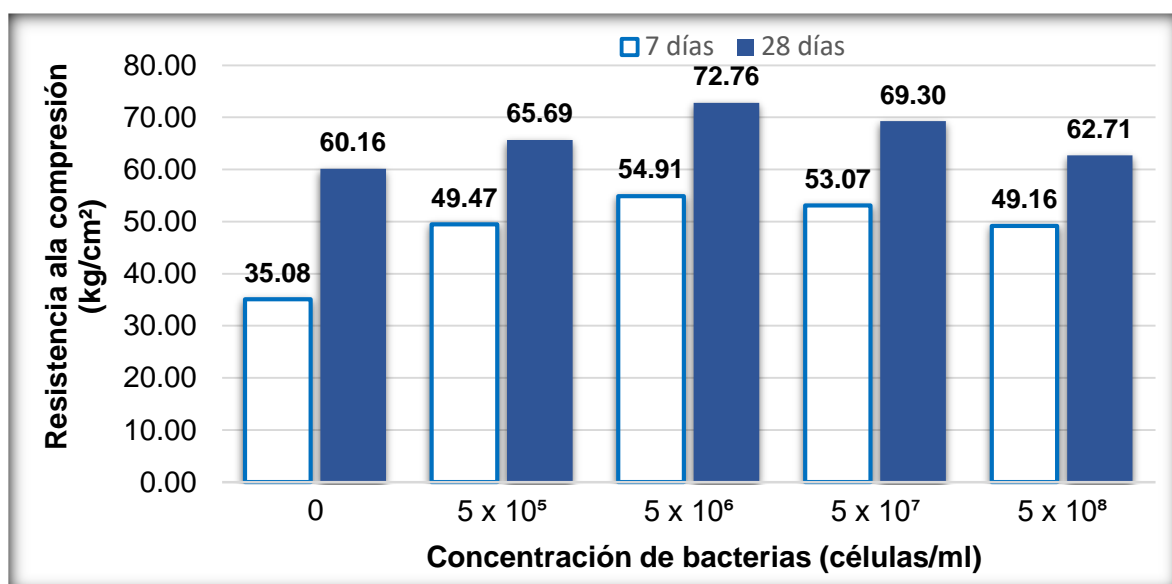
**Interpretación.** En el gráfico podemos observar: Los resultados del concreto control sin adición de bacterias fue de 60.16 kg/cm<sup>2</sup>, adicionando una dosificación de  $5 \times 10^5$  cel./ml la mezcla tuvo una resistencia de 65.69 kg/cm<sup>2</sup> con un aumento de 9.19% de su resistencia, al aumentar la concentración de bacterias a  $5 \times 10^6$  cel./ml la resistencia incrementó en 20.94% teniendo como resultado 72.76 kg/cm<sup>2</sup>, al ampliar la dosificación a  $5 \times 10^7$  cel./ml se obtuvo una resistencia de 69.30 kg/cm<sup>2</sup> con un incremento porcentual de 15.18% y aumentando el conglomerado de bacterias a  $5 \times 10^8$  cel./ml la resistencia cayó a 62.71 kg/cm<sup>2</sup> dando como de incremento de porcentaje 4.24 % respecto el ensayo control. La interpolación de estos resultados fueron logrados a partir de ensayos de un concreto con inclusión de bacterias hecho en un laboratorio.



**Tabla 16:** Resultados de ensayos de resistencia a la compresión a los 7 y 28 días según concentraciones de bacterias bacillus sphaericus.

Concentración celular (células/ml)	Resistencia a la compresión a los 7 días (kg/cm <sup>2</sup> )	Incremento porcentual	Resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )	Incremento porcentual
0 (control)	35.08	-	60.16	-
5 × 10 <sup>5</sup>	49.47	41.02 %	65.69	9.19 %
5 × 10 <sup>6</sup>	54.91	56.52 %	72.76	20.94 %
5 × 10 <sup>7</sup>	53.07	51.29 %	69.30	15.18 %
5 × 10 <sup>8</sup>	49.16	40.15 %	62.71	4.24 %

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 1:** Variación de la resistencia del concreto a los 7 y 28 días respecto a las diferentes dosificaciones de bacterias bacillus sphaericus.

Fuente: Elaboración propia.

### Ensayo de resistencia a la flexión

- Título: Un estudio experimental sobre el efecto de la bacteria Bacillus sphaericus en el relleno de grietas y la mejora de la resistencia del hormigón.
- Autor: B. Madhu Sudana Reddy (2019).
- Diseño de resistencia:  $f'c = 204 \text{ kg/cm}^2$ .
- Bacteria: Bacillus Sphaericus.
- Proporción de la mezcla de mortero: C/Arena/Piedra = 1/2.03/3.74 y A/C = 0.52.

**Tabla 17:** *Propiedades del cemento utilizado*

N°	Propiedades	RESULTADOS
1	Finuras	3%
2	Gravedad específica	3.12
3	Consistencia normal	33%
4	TIF	125 min.
	TFF	345 min.

Fuente: B. Madhu Sudana Reddy.

**Tabla 18:** *Efecto de la bacteria sobre la resistencia a la flexión a los 28 días.*

Concentración celular (cel./ml)	Resistencia a la flexión a los 28 días (MPa)	Incremento porcentual
0 (control)	3.80	-
10 <sup>3</sup>	3.92	3.16 %
10 <sup>5</sup>	5.19	36.58 %
10 <sup>7</sup>	4.65	22.37 %

Fuente: B. Madhu Sudana Reddy.

### Interpolación – Resistencia a la flexión.

**Tabla 19:** *Datos seleccionados a interpolar para encontrar la resistencia a la flexión a los 28 días.*

Concentración celular (células/ml)	Resistencia promedio a la flexión a los 28 días (MPa)
10 <sup>3</sup>	3.92
3 × 10 <sup>4</sup>	¿?
6 × 10 <sup>4</sup>	¿?
10 <sup>5</sup>	5.19
3 × 10 <sup>6</sup>	¿?
6 × 10 <sup>6</sup>	¿?
10 <sup>7</sup>	4.65

Fuente: Elaboración propia.

Para realizar la interpolación hacemos uso de los datos de la tabla modelo N°19 con los datos de cada una de las concentraciones de bacterias y sus resultados en los ensayos aplicando la siguiente fórmula de interpolación:

$$Y_1 = d + \frac{b - a}{c - a} (e - d)$$

**Tabla 20:** Modelo para ejecutar la interpolación lineal de la resistencia a la flexión a los 28 días.

Concentración de bacterias (cel./ml)	Resistencia a la compresión (MPa)
<i>a</i>	<i>d</i>
<i>b</i>	$Y_1$
<i>c</i>	<i>e</i>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 21:** Interpolación lineal para  $3 \times 10^4$  cel. /ml (28 días).

Concentración de bacterias (cel./ml)	Resistencia a la flexión (MPa)
$10^3$	3.92
<b><math>3 \times 10^4</math></b>	<b>4.29</b>
$10^5$	5.19

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 22:** Interpolación lineal para  $6 \times 10^4$  cel. /ml (28 días).

Concentración de bacterias (cel./ml)	Resistencia a la flexión (MPa)
$10^3$	3.92
<b><math>6 \times 10^4</math></b>	<b>4.68</b>
$10^5$	5.19

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 23:** Interpolación lineal para  $3 \times 10^6$  cel. /ml (28 días).

Concentración de bacterias (cel./ml)	Resistencia a la flexión (MPa)
$10^5$	5.19
<b><math>3 \times 10^6</math></b>	<b>5.03</b>
$10^7$	4.65

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 24:** Interpolación lineal para  $6 \times 10^6$  cel. /ml (28 días).

Concentración de bacterias (cel./ml)	Resistencia a la flexión (MPa)
$10^5$	5.19
<b><math>6 \times 10^6</math></b>	<b>4.87</b>
$10^7$	4.65

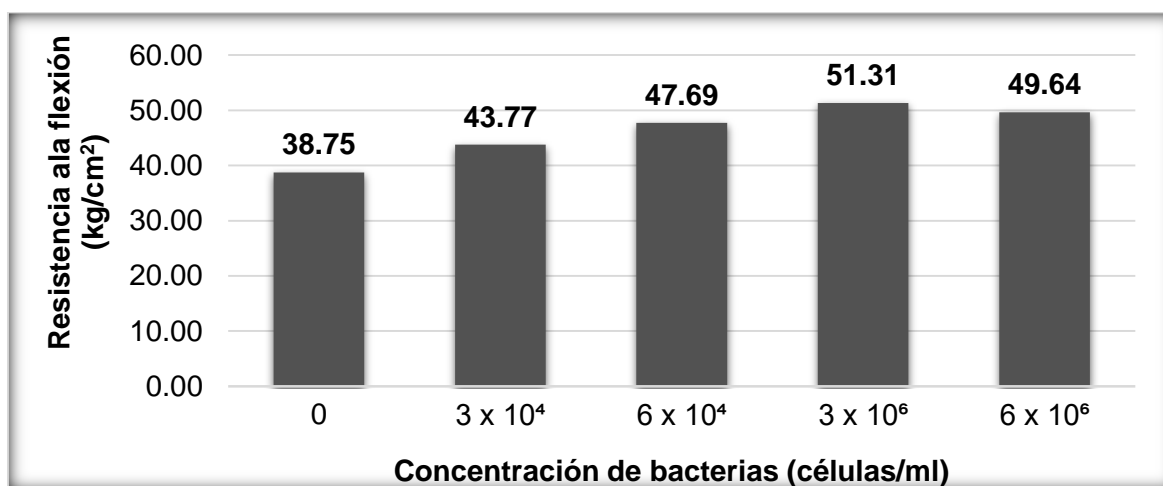
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 25:** Resultado de la interpolación de ensayos de resistencia a la flexión a los 28 días según concentración de bacterias.

Concentración de bacterias (células/ml)	Resistencia a la flexión (MPa)	Resistencia a la flexión (kg/cm <sup>2</sup> )	Incremento porcentual
0 (control)	3.80	38.75	-
$3 \times 10^4$	4.29	43.77	12.95 %
$6 \times 10^4$	4.68	47.69	23.08 %
$3 \times 10^6$	5.03	51.31	32.42 %
$6 \times 10^6$	4.87	49.64	28.11 %

Fuente: Elaboración propia.

**Interpretación.** Los resultados del concreto control sin adición de bacterias fue de 38.75 kg/cm<sup>2</sup>, adicionando una dosificación de  $3 \times 10^4$  células/ml la mezcla tuvo una resistencia de 43.77 kg/cm<sup>2</sup> con un aumento de 12.95 % de su resistencia, al aumentar la concentración de bacterias a  $6 \times 10^4$  células/ml la resistencia incrementó en 23.08 % teniendo como resultado 47.69 kg/cm<sup>2</sup>, al ampliar la dosificación a  $3 \times 10^6$  células/ml se obtuvo una resistencia de 51.31 kg/cm<sup>2</sup> con un incremento porcentual de 32.42 % y aumentando el conglomerado de bacterias a  $6 \times 10^6$  la resistencia cayó a 49.64 kg/cm<sup>2</sup> incrementando un porcentaje 28.11 % respecto el ensayo control. La interpolación de estos resultados fueron logrados a partir de ensayos de un concreto con inclusión de bacterias hecho en un laboratorio.



**Figura 2:** Variación de la resistencia a la flexión del concreto a los 28 días respecto a las diferentes dosificaciones de bacterias bacillus sphaericus.

Fuente: Elaboración propia.

### Ensayo de permeabilidad de cloruro

- Título: Mejora de la durabilidad del hormigón en un entorno de sulfato utilizando bacterias.
- Diseño de resistencia: 255 kg/cm<sup>2</sup>.
- Autor: Farzaneh Nosouhian, Davood Mostofinejad y Hasti Hasheminejad (2014).
- Bacteria: Bacillus Subtilis
- Proporción de la mezcla de concreto para 1 m<sup>3</sup>: a/c→0.56, cemento→374 kg, agregado fino→1036 kg, agregado grueso→666 kg, agua→209 l

**Tabla 26:** *Detalles y propiedades de los agregados.*

Agregado fino		Agregado grueso	
Módulo de finura	Gravedad específica	Densidad seca	Gravedad específica
2.88	2.55	1460 kg/m <sup>3</sup>	2.71

Fuente: Nosouhian, Mostofinejad y Hasheminejad.

**Tabla 27:** *Calificaciones de permeabilidad de cloruro.*

Carga pasada (C)	Permeabilidad ion cloruro
> 4000	Alto
2000 – 4000	Moderado
1000 – 2000	Bajo
100 – 1000	Muy baja
< 100	Despreciable

Fuente: Chahal.

**Tabla 28:** *Efecto de las bacterias en la prueba de permeabilidad de cloruro a los 28 días.*

Concentración celular (células/ml)	Resultados de ensayos de permeabilidad de cloruro (C = Coulomb)
0 (control)	5390.00
$4 \times 10^6$	4640.00
$1.3 \times 10^7$	4860.00

Fuente: Nosouhian, Mostofinejad y Hasheminejad.

## Interpolación – Permeabilidad de cloruro

**Tabla 29:** Datos seleccionados a interpolar para encontrar la resistencia a la flexión a los 28 días.

Concentración celular (células/ml)	Permeabilidad de cloruro (C = Coulombs)
$4 \times 10^6$	4640.00
<b><math>4.6 \times 10^6</math></b>	¿?
<b><math>5.7 \times 10^6</math></b>	¿?
<b><math>8 \times 10^6</math></b>	¿?
<b><math>1.1 \times 10^7</math></b>	¿?
$1.3 \times 10^7$	4860.00

Fuente: Elaboración propia.

Para realizar la interpolación hacemos uso de los datos de la tabla modelo N°29 con los datos de cada una de las concentraciones de bacterias y sus resultados en los ensayos aplicando la siguiente fórmula de interpolación:

$$Y_1 = d + \frac{b - a}{c - a} (e - d)$$

**Tabla 30:** Modelo para ejecutar la interpolación lineal de permeabilidad de cloruro a los 28 días.

Concentración de bacterias (cel./ml)	Permeabilidad de cloruro (MPa)
<i>a</i>	<i>d</i>
<i>b</i>	<i>Y<sub>1</sub></i>
<i>c</i>	<i>e</i>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 31:** Interpolación lineal para  $4.6 \times 10^6$  cel. /ml (28 días).

Concentración de bacterias (cel./ml)	Permeabilidad de cloruro (MPa)
$4 \times 10^6$	4640
<b><math>4.6 \times 10^6</math></b>	<b>4655</b>
$1.3 \times 10^7$	4860

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 32:** Interpolación lineal para  $5.7 \times 10^6$  cel. /ml (28 días).

Concentración de bacterias (cel./ml)	Permeabilidad de cloruro (MPa)
$4 \times 10^6$	4640
<b><math>5.7 \times 10^6</math></b>	<b>4682</b>
$1.3 \times 10^7$	4860

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 33:** *Interpolación lineal para  $8 \times 10^6$  cel. /ml (28 días).*

Concentración de bacterias (cel./ml)	Permeabilidad de cloruro (MPa)
$4 \times 10^6$	4640
<b><math>8 \times 10^6</math></b>	<b>4738</b>
$1.3 \times 10^7$	4860

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 34:** *Interpolación lineal para  $1.1 \times 10^6$  cel. /ml (28 días).*

Concentración de bacterias (cel./ml)	Permeabilidad de cloruro (MPa)
$4 \times 10^6$	4640
<b><math>1.1 \times 10^6</math></b>	<b>4811</b>
$1.3 \times 10^7$	4860

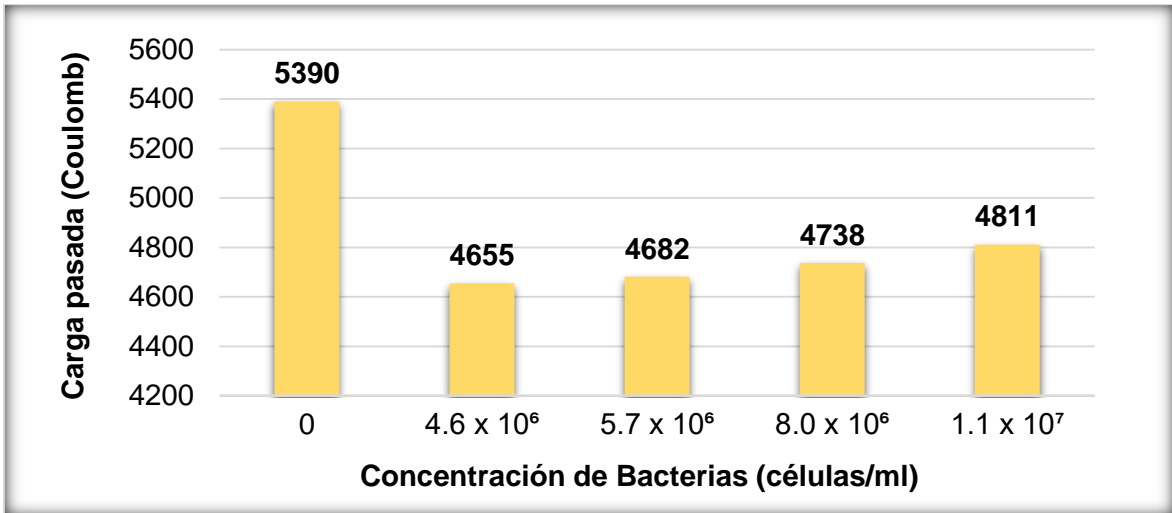
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 35:** *Resultado de ensayos de permeabilidad de cloruro a los 28 días según concentración de bacterias.*

Concentración de bacterias (células/ml)	Permeabilidad de cloruro (C)	Disminución porcentual
0	5390	-
$4.6 \times 10^6$	4655	13.64 %
$5.7 \times 10^6$	4682	13.14 %
$8 \times 10^6$	4738	12.10 %
$1.1 \times 10^7$	4811	10.74 %

Fuente: Elaboración propia.

**Interpretación.** En el gráfico podemos observar: Los resultados del concreto control sin adición de bacterias fue de 5390 C, adicionando una dosificación de  $4.6 \times 10^6$  cel./ml la probeta tuvo una permeabilidad de cloruro de 4655 C bajando en un 13.64 %, al aumentar la concentración de bacterias a  $5.7 \times 10^6$  cel./ml la permeabilidad de cloruro disminuyó a 4682 C con una disminución de 13.14 %, al ampliar la dosificación a  $8 \times 10^6$  cel./ml la permeabilidad de cloruro se midió en 4738 C teniendo un aumento mínimo subiendo a 12.10 %, finalmente aumentando el conglomerado de bacterias a  $1.1 \times 10^7$  cel./ml el ensayo nos arrojó una permeabilidad de cloruro de 4811 C notándose otro aumento llegando a 1.74 % sin embargo se mantiene la clasificación de alta permeabilidad del ion cloruro. La interpolación de estos resultados fueron logrados a partir de ensayos de un concreto con inclusión de bacterias hecho en un laboratorio.



*Figura 3:* Variación de la permeabilidad de cloruro en el concreto a los 28 días respecto a las diferentes dosificaciones de bacterias bacillus subtilis.  
Fuente: Elaboración propia.



## V. DISCUSIÓN

### 1.1. Influencia de la aplicación de bacterias Bacillus en el incremento la resistencia a la compresión del concreto, en el distrito de San Martín de Porres, 2020

**Resultado.** Al incorporar la bacteria Bacillus Sphaericus en dosificaciones de  $5 \times 10^5$ ,  $5 \times 10^6$ ,  $5 \times 10^7$  y  $5 \times 10^8$  células/ml aumentó la resistencia a la compresión a los 7 y 28 días.

**Antecedente.** Parraguez (2018) en su investigación titulada “*Estudio sobre el rendimiento de bacterias como agente de auto-reparación en el hormigón bajo diferentes condiciones de temperatura y tipo de cemento*”, sus resultados fueron positivos, obteniendo lecturas por encima del ensayo de control para una concentración de  $3.20 \times 10^6$  cel. /ml de bacterias Bacillus Pseudofirmus con roturas a los 3, 7 y 28 días. En promedio la resistencia a la compresión del concreto aumento con la inclusión de bacterias en su composición.

**Hipótesis.** La aplicación de bacterias Bacillus incrementa la resistencia a la compresión del concreto, en el distrito de San Martín de Porres, 2020. A partir de los resultados a la compresión de acuerdo a ASTM C39 obtenido en el capítulo IV se confirmó el incremento del mismo gracias a la incorporación de la bacteria Bacillus Sphaericus en diferentes cantidades.

**Pregunta.** ¿Cuánto influye la aplicación de bacterias Bacillus en la resistencia a la compresión del concreto, en el distrito de San Martín de Porres, 2020? En base a los resultados obtenido y la resistencia a la compresión de la probeta control que dio como resultado  $35.08 \text{ kg/cm}^2$  y  $60.16 \text{ kg/cm}^2$  a los 7 y 28 días respectivamente, luego bajo los mismos parámetros de diseño de mezcla se incluyó la bacteria bacillus sphaericus, dando a conocer una influencia positiva en el concreto para una concentración de bacterias de  $5 \times 10^6$  cel./ml, llegando a la resistencia de  $54.91 \text{ kg/cm}^2$  y  $72.76 \text{ kg/cm}^2$  para 7 y 28 días, con un notable aumento de 56.52 % y 20.94 % de resistencia a la compresión en mortero.

**Consideraciones.** Bajo el estudio realizado por medio de análisis documental, no se logró encontrar la influencia de diferentes concentraciones de bacteria bacillus pseudofirmus en la resistencia a compresión de un concreto de 210 kg/cm<sup>2</sup>, en su reemplazo se hizo el estudio con la bacteria bacillus sphaericus que pertenece a la misma familia bacillus, de esta manera los resultados dieron un alcance similar.

## **1.2. Influencia de la aplicación de bacterias Bacillus en el aumento de la resistencia a la flexión del concreto, en el distrito de San Martín de Porres, 2020.**

**Resultado.** Al incorporar la bacteria Bacillus Sphaericus en dosificaciones de  $3 \times 10^4$ ,  $6 \times 10^4$ ,  $3 \times 10^6$  y  $6 \times 10^6$  cel. /ml aumentó la resistencia a la flexión del concreto a 28 días de curado.

**Antecedente.** Sri, Ruben, Rama y Venkatesh (2019) en su investigación titulada “Evaluación de parámetros mecánicos del hormigón bacteriano”, sus resultados fueron positivos, obteniendo lecturas por encima del ensayo de control en un concreto de 408 kg/cm<sup>2</sup> incluyendo bacterias bacillus subtilis en concentraciones de  $10^5$ ,  $10^6$ ,  $10^7$  cel/ml con roturas a los 28 días. En promedio la resistencia a la compresión del concreto aumento con la inclusión de bacterias en su composición, llegando a su mejor resultado de resistencia a la flexión de 57.30 kg/ cm<sup>2</sup> con una concentración de bacterias de  $10^5$  cel. /ml aumentando en 11 % la resistencia respecto al ensayo control.

**Hipótesis.** La aplicación de bacterias Bacillus incrementa la resistencia a la flexión del concreto, en el distrito de San Martín de Porres, 2020. A partir del ensayo a la flexión de acuerdo a ASTM C293 y la interpolación, se confirmó el incremento de la resistencia a la flexión del concreto gracias a la incorporación de la bacteria Bacillus Sphaericus en diferentes concentraciones.

**Pregunta.** ¿Cuánto influye la aplicación de bacterias Bacillus en la resistencia a la compresión del concreto, en el distrito de San Martín de Porres, 2020? En base a los resultados de la investigación de resistencia a flexión del concreto y la probeta control que dio como resultado 38.75 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de curado, luego, bajo

los mismos parámetros de diseño de mezcla se incluyó la bacteria bacillus sphaericus, rescatando una influencia positiva en el concreto para una concentración de bacterias de  $3 \times 10^6$  cel./ml, llegando a la resistencia de 51.31 kg/cm<sup>2</sup>, con un notable aumento de 32.42 % de resistencia a la compresión en el concreto de diseño a 204 kg/cm<sup>2</sup>.

**Consideraciones.** Bajo el estudio realizado por medio de análisis documentario, no se logró encontrar la influencia de diferentes concentraciones de bacteria bacillus pseudofirmus en la resistencia a la flexión de un concreto de diseño de 210 kg/cm<sup>2</sup>, en su reemplazo se hizo el estudio con la bacteria bacillus sphaericus que pertenece a la misma familia bacillus, de esta manera los resultados estuvieron orientados en una misma dirección.

### **1.3. Influencia de la aplicación de bacterias Bacillus para mejorar de la impermeabilidad del concreto, en el distrito de San Martin de Porres, 2020.**

**Resultado.** Al incorporar la bacteria Bacillus subtilis en dosificaciones de  $4.6 \times 10^6$ ,  $5.7 \times 10^6$ ,  $8 \times 10^6$  y  $1.1 \times 10^7$  cel. /ml disminuyó la permeabilidad de cloruro en el concreto a 28 días de curado.

**Antecedente.** Maheswaran, Dasuru y Chandra (2014) en su investigación titulada “*Estudios de mejora de la fuerza utilizando un nuevo tipo de cepa salvaje Bacillus cereus sobre mortero de cemento*”, sus resultados fueron positivos, obteniendo lecturas por debajo del ensayo de control incluyendo bacterias bacillus cereus en concentraciones de  $10^5$ ,  $10^6$ ,  $10^7$  cel. /ml a 28 días de curada las probetas. En promedio la permeabilidad de cloruro del concreto disminuyó con la inclusión de bacterias en su composición, llegando a su mejor resultado de 2974 C con una concentración de bacterias de  $10^6$  cel. /ml disminuyendo en 14.74 % la permeabilidad de cloruro respecto al ensayo control.

**Hipótesis.** La aplicación de bacterias Bacillus disminuye la permeabilidad del concreto, en el distrito de San Martin de Porres, 2020. Tomando en cuenta los ensayos de permeabilidad de cloruro en el concreto sometidos bajo la norma ASTM C1202 y la interpolación, se confirmó el incremento de la resistencia a la

permeabilidad de cloruro del concreto gracias a la incorporación de la bacteria *Bacillus subtilis* en diferentes concentraciones.

**Pregunta.** ¿Cuánto influye la aplicación de bacterias *Bacillus* en la permeabilidad del concreto, en el distrito de San Martín de Porres, 2020? En base a los resultados de la investigación de la resistencia a la permeabilidad de cloruro y de la probeta de concreto control que dio como resultado 5390 C a los 28 días de curado, luego, bajo los mismos parámetros de diseño de mezcla se incluyó la bacteria *Bacillus subtilis*, rescatando una influencia positiva en la disminución de la permeabilidad para una concentración de bacterias de  $4.6 \times 10^6$  cel./ml, llegando a 4655 C, con una notable descenso de 13.64 % de resistencia a la permeabilidad del ion cloruro en el concreto.

**Consideraciones.** Bajo el estudio realizado por medio de análisis documentario, no se logró encontrar la influencia de diferentes concentraciones de bacteria *Bacillus pseudofirmus* en la resistencia a la permeabilidad del concreto con un diseño de 210 kg/cm<sup>2</sup>, en su reemplazo se hizo el estudio con la bacteria *Bacillus subtilis* que pertenece a la misma familia *Bacillus*, de esta manera se buscó orientar la investigación lo más cercana posible a sus orígenes.

## VI. CONCLUSIONES

**Objetivo General.** Evaluar la influencia de la aplicación de bacterias Bacillus como mejoramiento de las propiedades del concreto, en el distrito de San Martín de Porres, 2020.

Se evaluó la influencia de las bacterias de la familia bacillus, mejorando las propiedades físicas y mecánicas del concreto al aumentar la resistencia a la compresión, mejorar la resistencia a la flexión y disminuir la permeabilidad de cloruro en el concreto.

### **Resistencia a la compresión.**

- **7 días de curado – bacillus sphaericus.** - Cel. /ml = kg/cm<sup>2</sup> (%)

0 = 35.08 (0 %),  $5 \times 10^5 = 49.47$  (41.02 %),  $5 \times 10^6 = 54.91$  (56.52 %),  $5 \times 10^7 = 53.0$  (51.29 %),  $5 \times 10^8 = 49.16$  (49.16 %).

- **28 días de curado – bacillus sphaericus.** - Cel. /ml = kg/cm<sup>2</sup> (%)

0 = 60.16 (0 %),  $5 \times 10^5 = 65.69$  (9.19 %),  $5 \times 10^6 = 72.76$  (20.94 %),  $5 \times 10^7 = 69.30$  (15.18 %),  $5 \times 10^8 = 62.71$  (4.24 %).

Se estableció la dependencia de la bacteria bacillus sphaericus en los ensayos normados ASTM C39 e interpolación, ya que influyó en el aumento de resistencia a la compresión del concreto en 54.91 % con respecto al ensayo control al emplearse  $5 \times 10^6$  cel. /ml de bacteria sphaericus para muestras curadas 7 días; así mismo la resistencia a la compresión subió 20.94 % respecto al ensayo patrón en una concentración de  $5 \times 10^6$  cel. /ml de bacteria sphaericus para muestras curadas a 28 días. La influencia de la bacteria se relaciona directamente proporcional con el aumento de concentración solo hasta  $5 \times 10^6$  cel. /ml.

### **Resistencia a la flexión.**

- **28 días de curado - bacillus sphaericus.** - Cel. /ml = kg/cm<sup>2</sup> (%)

0 = 38.75 (0 %),  $3 \times 10^4 = 43.77$  (12.95 %),  $6 \times 10^4 = 47.69$  (23.08 %),  $3 \times 10^6 = 51.31$  (32.42 %),  $6 \times 10^6 = 49.64$  (28.11 %).

Se estableció la dependencia de la bacteria bacillus sphaericus en los ensayos normados ASTM C293 e interpolación, ya que influyó en el aumento del módulo de

rotura del concreto en 32.42 % con respecto al ensayo control al emplearse  $3 \times 10^6$  cel. /ml de bacteria sphaericus para muestras curadas a 28 días. La influencia de la bacteria se relaciona directamente proporcional con el aumento del módulo de rotura solo hasta la concentración de  $3 \times 10^6$  cel. /ml.

#### **Permeabilidad del ion cloruro.**

- **28 días de curado - bacillus subtilis.** - Cel. /ml = C (%)

0 = 5390 (0 %),  $4.6 \times 10^6 = 4655$  (13.64 %),  $5.7 \times 10^6 = 4682$  (13.14 %),  $8 \times 10^6 = 4738$  (12.10 %),  $1.1 \times 10^7 = 4811$  (10.74 %).

Se estableció la importancia de la bacteria bacillus subtilis en los ensayos normados ASTM C1202 e interpolación, ya que influyó en la disminución de la permeabilidad del ion cloruro en un 13.64 % por debajo, con respecto al ensayo control al emplearse  $4.6 \times 10^6$  cel. /ml de bacteria bacillus subtilis para muestras curadas a 28 días. La influencia de la bacteria se relaciona indirectamente proporcional con la disminución de la carga pasada del ion cloruro solo hasta la concentración de  $4.6 \times 10^6$  cel. /ml.

## VII. RECOMENDACIONES

### Resistencia a la compresión.

- **7 días de curado – bacillus sphaericus.** - Cel. /ml = kg/cm<sup>2</sup> (%)

0 = 35.08 (0 %), 5 x 10<sup>5</sup> = 49.47 (41.02 %), 5 x 10<sup>6</sup> = 54.91 (56.52 %), 5 x 10<sup>7</sup> = 53.0 (51.29 %), 5 x 10<sup>8</sup> = 49.16 (49.16 %).

- **28 días de curado – bacillus sphaericus.** - Cel. /ml = kg/cm<sup>2</sup> (%)

0 = 60.16 (0 %), 5 x 10<sup>5</sup> = 65.69 (9.19 %), 5 x 10<sup>6</sup> = 72.76 (20.94 %), 5 x 10<sup>7</sup> = 69.30 (15.18 %), 5 x 10<sup>8</sup> = 62.71 (4.24 %).

En la presente investigación, al elegir las concentraciones de bacterias bacillus sphaericus en los resultados, se vio un incremento de la resistencia a la compresión progresivo desde 41.02 % y 9.19 % en ensayos de 7 y 28 días de curado, aumentando a 56.2 % y 20.94 % a los 7 y 28 días respectivamente, siendo estos últimos porcentajes los más altos de todos los ensayos para una concentración de 5 x 10<sup>6</sup> cel./ml, luego los porcentajes empezaron a disminuir sin embargo aún seguían estando por encima del ensayo control. Se recomienda enfocarse en los porcentajes más altos y a partir de estos buscar una concentración óptima de bacterias para llegar a la más alta resistencia alcanzada a partir de la inclusión de bacterias bacillus sphaericus.

### Resistencia a la flexión.

- **28 días de curado - bacillus sphaericus.** - Cel. /ml = kg/cm<sup>2</sup> (%)

0 = 38.75 (0 %), 3 x 10<sup>4</sup> = 43.77 (12.95 %), 6 x 10<sup>4</sup> = 47.69 (23.08 %), 3 x 10<sup>6</sup> = 51.31 (32.42 %), 6 x 10<sup>6</sup> = 49.64 (28.11 %).

Durante los resultados de esta investigación se encontró una relación directa entre el aumento de la resistencia a la compresión y la dosificación de bacterias, el incremento de porcentaje del módulo de rotura pasó por 12.95 %, 23.08 % y 32.42 % siendo este último el porcentaje más alto de los ensayos, pasando luego a 28.11 %. Se llegó al porcentaje más alto con una concentración de 3 x 10<sup>6</sup> cel. /ml, se recomienda emplear cantidades similares de bacterias para tener resultados favorables y eficientes en la mejora del módulo de rotura del concreto a partir de la inclusión de bacterias bacillus sphaericus.

### **Permeabilidad del ion cloruro.**

- **28 días de curado - bacillus subtilis.** - Cel. /ml = C (%)

0 = 5390 (0 %),  $4.6 \times 10^6 = 4655$  (13.64 %),  $5.7 \times 10^6 = 4682$  (13.14 %),  $8 \times 10^6 = 4738$  (12.10 %),  $1.1 \times 10^7 = 4811$  (10.74 %).

En la presente investigación, al elegir las concentraciones de bacterias de bacillus subtilis en los resultados, se vio un incremento en la resistencia a la permeabilidad de cloruros en el concreto con porcentajes que fueron desde 13.64 %, 13.14 %, 12.10 % y 10.74 % a los 28 días de curado, siendo el primer porcentaje el más bajo con una carga de 4655 C con una concentración de bacterias de  $4.6 \times 10^6$  cel./ml, al aumentar la concentración de bacterias los resultados siguieron siendo positivos pero la permeabilidad aumentaba progresivamente, se recomienda utilizar concentraciones de que estén muy cerca de  $4.6 \times 10^6$  cel./ml de bacterias bacillus subtilis para obtener los resultados más favorables posibles.



## REFERENCIAS

1. MENDOZA, R. y SÁNCHEZ, J. *Análisis de la resistencia del concreto utilizando bacterias del género Bacillus y Biopolímeros como bioreparador, cusco-2016 experimental* [en línea]. Tesis Titulación. Universidad Andina del Cusco, 2017. [Consultando 13 mayo 2020]. Disponible en: <http://repositorio.uandina.edu.pe/handle/UAC/1163>
2. CUBAS, J. *Mejoramiento del Concreto f'c 210 kg/cm<sup>2</sup> y mortero 1:5 adicionando aditivos Chema, distrito de Víctor Larco Herrera, Trujillo, La Libertad* [en línea]. Tesis Titulación. Universidad Cesar Vallejo 2019. [Consultando 13 mayo 2020]. Disponible en: <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/38588>
3. ARMAS, C. *Efectos de la adición de fibra de polipropileno en las propiedades plásticas y mecánicas del concreto hidráulico* [en línea]. Tesis Titulación. Universidad Señor de Sipán, 2016. [Consultando 13 mayo 2020]. Disponible en: <http://servicios.uss.edu.pe/handle/uss/2712>.
4. PARRAGUEZ MACAYA, A. *Estudio sobre el rendimiento de bacterias como agente de auto-reparación en el hormigón bajo diferentes condiciones de temperatura y tipo de cemento* [en línea]. Tesis de titulación. Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaiso-Chile, 2018. [Consultando 13 mayo 2020]. Disponible en: <https://repositorio.usm.cl/handle/11673/43497>
5. GIRALDO, N. *Autorreparación de fisuras en concreto rígido para pavimentos mediante la adición de bacterias bioprecipitadoras de carbonato de calcio – Estado de arte y diseño experimental* [en línea]. Tesis Maestría. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2017. [Consultando 13 mayo 2020]. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/58369/1/1019037797.2017.pdf>
6. ALIKO BENITEZ, Abraham. *Modelo mecano-químico-difusivo fenomenológico de autorreparación: implementación numérica y simulación con aplicación a materiales*, Universidad de Sevilla. España 2017
7. HUSSEIN FAWZY, Mohamed. *Effectiveness of Self-Healing in Repair of Strategic Concrete Structures “A Simplified Model*. Universidad Americana en el Cairo. Egipto 2016.
8. SATHYAN, K. Aparna. *Study on mechanical properties of cement mortar by the addition of ureolytic bacteria*. Instituto Nacional de Tecnología de Reurkela. India 2015.

9. WIKTOR, V. Field performance of bacteria-based repair system: Pilot study in a parking garage. *Case Studies in Construction Materials* [en línea]. 2015, enero, 2. 11-17 [fecha de consulta 14 mayo 2020]. ISSN 2214-5095. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509514000333>
10. ESPITIA, CASTAÑO, CORREDOR, ORDOÑEZ, PÉREZ y RODRÍGUEZ. Mechanisms of encapsulation of bacteria in self-healing concrete: review. *DYNA*. [en línea]. 2019, Julio-Septiembre, 86 (210). 17-22 [fecha de consulta 14 mayo 2020]. ISSN 0012-7353. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/336063912\\_Mechanisms\\_of\\_encapsulation\\_of\\_bacteria\\_in\\_self-healing\\_concrete\\_review](https://www.researchgate.net/publication/336063912_Mechanisms_of_encapsulation_of_bacteria_in_self-healing_concrete_review)
11. DASURU, S., MURTHY, A. y SRINIVASAN. Strength improvement studies using new type wild strain Bacillus cereus on cement mortar [en línea]. 2014, Enero, 106. 50-57 [fecha de consulta 15 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/24099862?seq=1>
12. RUBEN, N., SRI, C. y VENKATESH, C. Evaluation of Mechanical Parameters of Bacterial Concrete [en línea]. 2019, Julio-Octubre, 43. 395-399 [fecha de consulta 15 noviembre 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.18280/acsm.430606>
13. ORÉ, J. Gerencia de Formación Profesional. Manual de Preparación, Colocación y cuidados del Concreto [en línea]. 2014, Octubre, 9, [fecha de consulta 18 Mayo 2020]. Disponible en: <http://www.sencico.gob.pe>
14. ABANTO, Flavio. Tecnología del concreto. Lima: Editorial San Marcos, 1997. ISBN 9786123020606.
15. CESPEDES, M. *Resistencia a la Comprensión del Concreto a partir de la Velocidad de Pulsos de Ultrasonido* [en línea]. Tesis Titulación. Universidad de Piura. Pag. 12 [Consultando 18 mayo 2020]. Disponible en: [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1338/ICI\\_100.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1338/ICI_100.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
16. National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA). CIP 16- Resistencia a Flexión del concreto [en línea] [fecha de consulta: 21 mayo 2020]. Disponible en: <https://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP16es.pdf>
17. ACOSTA, A. Durabilidad de la Infraestructura de Concreto Reforzado Expuesta a Diferentes Ambientes Urbanos de México. *Secretaría de Comunicaciones y Transportes* [en línea]. 2006, (257). 23-24 [fecha de consulta 21

mayo 2020]. ISSN 0188-7297. Disponible en:  
<https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt292.pdf>

18. CARMONA, R. Y MONTAÑA, C. *Impacto de las adiciones para concreto en la reducción de la permeabilidad al ión cloruro vs la relación agua cemento* [en línea]. Universidad Católica de Colombia. 2015. [fecha de consulta 15 noviembre 2020]. Disponible en:  
<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2503/1/Impacto-adiciones-concreto-i%C3%B3n-cloruro-reducci%C3%B3n-permeabilidad.pdf>

19. VIDAUD, E. *Construcción y Tecnología en concreto. Fisuras en el concreto ¿Síntomas o enfermedad?* [en línea]. 2013, Vol. 2, 20-23 [fecha de consulta 21 mayo 2020]. Disponible en:  
<http://www.imcyc.com/revistacyt/febrero2013/pdfs/ingenieria.pdf>

20. OTEO, RODRÍGUEZ Y SERRA. *Curso Aplicado de Cimentaciones* [en línea]. 4<sup>ta</sup> Edición. Madrid: Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, noviembre 1989. [Fecha de consulta 21 mayo 2020]. Disponible en:  
<https://es.scribd.com/doc/23504656/Curso-Aplicado-de-Cimentaciones-Colegio-Arquitectos-Madrid>

21. AYALA, N. *Producción de lactato de calcio durante la desmineralización de exoesqueleto de Jaiba y su efecto sobre la quitina aislada* [en línea]. Tesis de maestría. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. Hermosillo, Sonora. [Fecha de consulta 15 noviembre 2020]. Disponible en:  
<https://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1006/270/1/AYALA-MENDIVIL-NA12.pdf>

22. ARÉVALO, Z., CORRALES, L., SÁNCHEZ, L. y MORENO, V. *Bacillus: género bacteriano que demuestra ser un importante solubilizador de fosfato* [en línea]. 2014, 1. 165-177 [fecha de consulta 15 noviembre 2020]. Disponible en:  
<http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v12n22/v12n22a06.pdf>

23. CALVO, P. y ZUÑIGA, D. *Caracterización Fisiológica de Cepas de Bacillus spp. Aisladas de la Rizósfera de papa (Solanum tuberosum)* [en línea]. 2010, Enero-Abril, 1. 31-39 [fecha de consulta 15 noviembre 2020]. ISSN 1726-2216. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v9n1/a04v9n1>

24. BLANCO, S. *Introducción del Bacillus sphaericus cepa-2362 (GRISELESF) para el control biológico de vectores maláricos en Guatemala* [en línea]. 2000,

- Enero-Abril, 52. [fecha de consulta 15 noviembre 2020]. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0375-07602000000100007](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0375-07602000000100007)
25. HUAMANI, PONCE DE LEÓN y SÁNCHEZ. Los beneficios del uso de bacterias en el concreto autorregenerante. *Revista Civilízate* [en línea]. 2015, (60). 36-38 [fecha de consulta 21 mayo 2020]. Disponible en: <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/civilizate/article/view/16153/16575>
26. CAZAU. Introducción a la investigación en Ciencias Sociales [en línea]. 2006, Marzo. P. 9 y 27. Disponible en: <http://alcazaba.unex.es/asg/400758/MATERIALES/INTRODUCCI%C3%93N%20A%20LA%20INVESTIGACI%C3%93N%20EN%20CC.SS..pdf>
27. PARIONA y VILLAVICENCIO. Operacionalización de variables. *Revista OACTIVA UC Cuenca* [en línea]. 2019, 10-11 [fecha de consulta 21 mayo 2020]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/332032600\\_OPERACIONALIZACION\\_DE\\_VARIABLES](https://www.researchgate.net/publication/332032600_OPERACIONALIZACION_DE_VARIABLES)
28. LÓPEZ, P. Población Muestra y Muestreo. *Punto Cero* [en línea]. 2004, n.08. 1-2 [fecha de consulta 14 mayo 2020]. ISSN 1815-0276. Disponible en: [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-02762004000100012](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-02762004000100012)
29. ASTM INTERNATIONAL. Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete. P. 1-2. Disponible en: <https://www.astm.org/Standards/C642>
30. LÓPEZ, P. Población Muestra y Muestreo. *Punto Cero* [en línea]. 2004, n.08. 1-2 [fecha de consulta 14 mayo 2020]. ISSN 1815-0276. Disponible en: [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-02762004000100012](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-02762004000100012)
31. WICKS, A. An introduction to Ethics. [en línea]. 2009, Junio. 2-3 [fecha de consulta 14 mayo 2020]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/228180125\\_An\\_Introduction\\_to\\_Ethics](https://www.researchgate.net/publication/228180125_An_Introduction_to_Ethics)

## ANEXOS

### ANEXO 1: Matriz de Operacionalización de Variables

Título:		Aplicación de bacterias Bacillus Pseudofirmus para mejorar las propiedades del concreto f'c = 210 kg/cm <sup>2</sup> , en San Martin de Porres, 2020				
Autor 1:		MIGUEL ALEXANDER PALMER LOZADA				
Autor 2:		ISAAC DALTON PULIDO VARGAS				
VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	VARIABLES, DIMENSIONES, INDICADORES E INSTRUMENTO			TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN METODOLOGÍA
PROPIEDADES DEL CONCRETO	El concreto tiene propiedades importantes durante su proceso de elaboración como también después de su endurecimiento como la resistencia a la compresión, flexión, permeabilidad, entre otros, que hacen del concreto un material idóneo para la construcción.	Para medir propiedades del concreto, se realizará con los ensayos a la resistencia, en base de compresión y flexión, también la permeabilidad del concreto.	V. DEPENDIENTE: PROPIEDADES DEL CONCRETO			Método: (Científico) Tipo: (Aplicada) Diseño: (Cuasi experimental) Enfoque: (Cuantitativo) Población: Todas las probetas que resulten de los ensayos de concreto F'c=210 Km/cm <sup>2</sup> , del distrito de San Martin de Porres. Muestra: Son 60 probetas. Muestreo: No probabilístico. Técnica: Análisis documental. Instrumentos: Formatos de los ensayos realizados.
			<u>DIMENSIONES</u>	<u>INDICADORES</u>	<u>INSTRUMENTOS</u>	
			D1: Resistencia a la compresión	I1: Resistencia a los 7,14 y 28 días	Ensayos de Resistencia a la compresión	
			D2: Resistencia a la flexión	I2: Modulo de Rotura	Ensayo de Resistencia a la flexión	
D3: Impermeabilidad	I3: Permeabilidad de Cloruro	Ensayo de permeabilidad				
BACTERIA BACILLUS PSEUDOFIRMUS	Bacillus Pseudofirmus, es una bacteria anaerobia (capaz de vivir sin oxígeno) facultativa (que puede desarrollarse o no gram positiva (teñidas de azul oscuro o violeta), alcalitolerante, endospora (que no se reproducen), precipitadora alcalina.	Para medir la mezcla de las bacterias, se tendrá en cuenta, la forma de adición de Bacillus Pseudofirmus, como ejemplar de dosificación de 10 <sup>2</sup> células/ml, dosificación de 10 <sup>4</sup> células/ml y dosificación de 10 <sup>6</sup> células/ml, en el concreto, en forma de observación en probetas.	V. INDEPENDIENTE: BACTERIA BACILLUS PSEUDOFIRMUS			
			<u>DIMENSIONES</u>	<u>INDICADORES</u>	<u>INSTRUMENTOS</u>	
			D4: Dosificación de la bacteria Bacillus	I4: Aplicación de la bacteria con dosificación de 5x10 <sup>5</sup> células/ml	Experimento aplicando el porcentaje de bacterias al volumen del concreto f'c= 210 Kg/cm <sup>2</sup>	
				I5: Aplicación de la bacteria con dosificación de 5x10 <sup>6</sup> células/ml		
I6: Aplicación de la bacteria con dosificación de 5x10 <sup>7</sup> células/ml						
I7: Aplicación de la bacteria con dosificación de 5x10 <sup>8</sup> células/ml						

Fuente: Elaboración propia.

## ANEXO 2: Matriz de Consistencia

Título:	Aplicación de bacterias Bacillus Pseudofirmus para mejorar las propiedades del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , en San Martin de Porres, 2020							
Autor 1:	MIGUEL ALEXANDER PALMER LOZADA							
Autor 2:	ISAAC DALTON PULIDO VARGAS							
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES, DIMENSIONES, INDICADORES E INSTRUMENTO		TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN METODOLOGÍA			
<u>PROBLEMA GENERAL</u>	<u>OBJETIVO GENERAL</u>	<u>HIPÓTESIS GENERAL</u>	V. DEPENDIENTE: PROPIEDADES DEL CONCRETO			Método: (Científico) Tipo: (Aplicada) Diseño: (Cuasi experimental) Enfoque: (Cuantitativo) Población: Todas las probetas que resulten de los ensayos de concreto $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ , del distrito de San Martin de Porres. Muestra: Son 60 probetas. Muestreo: No probabilístico. Técnica: Análisis documental. Instrumentos: Formatos de los ensayos realizados.		
¿Cuánto influye la aplicación de bacterias Bacillus influye en el mejoramiento de las propiedades del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , en el distrito de San Martin de Porres, 2020?	Evaluar la influencia de la aplicación de bacterias Bacillus como mejoramiento de las propiedades del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , en el distrito de San Martin de Porres, 2020.	La aplicación de bacterias Bacillus mejora las propiedades del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , en el distrito de San Martin de Porres, 2020.	<u>DIMENSIONES</u>	<u>INDICADORES</u>	<u>INSTRUMENTOS</u>			
			D1: Resistencia a la compresión	I1: Resistencia a los 7,14 y 28 días	Ensayos de Resistencia a la compresión			
			D2: Resistencia a la flexión	I2: Modulo de Rotura	Ensayo de Resistencia a la flexión			
			D3: Impermeabilidad	I3: Permeabilidad de Cloruro	Ensayo de permeabilidad			
<u>PROBLEMA ESPECÍFICOS</u>	<u>OBJETIVO ESPECÍFICOS</u>	<u>HIPÓTESIS ESPECÍFICOS</u>	V. INDEPENDIENTE: BACTERIA BACILLUS PSEUDOFIRMUS					
¿Cuánto influye la aplicación de bacterias Bacillus influye en la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , en el distrito de San Martin de Porres, 2020?	Determinar la influencia de la aplicación de bacterias Bacillus para mejorar la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , en el distrito de San Martin de Porres, 2020.	La aplicación de bacterias Bacillus aumenta la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , en el distrito de San Martin de Porres, 2020.	<u>DIMENSIONES</u>	<u>INDICADORES</u>	<u>INSTRUMENTOS</u>			
						D4: Dosificación de la bacteria Bacillus	I4: Dosificación de bacteria $5 \times 10^5$ células/ml	Experimento aplicando el porcentaje de bacterias al volumen del concreto $f'c= 210 \text{ Kg/cm}^2$
							I5: Dosificación de bacteria $5 \times 10^6$ células/ml	
¿Cuánto influye la aplicación de bacterias Bacillus influye en la resistencia a la flexión del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , en el distrito de San Martin de Porres, 2020?	Determinar la influencia de la aplicación de bacterias Bacillus para mejorar de la resistencia a la flexión del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , en el distrito de San Martin de Porres, 2020.	La aplicación de bacterias Bacillus aumenta la resistencia a la flexión del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , en el distrito de San Martin de Porres, 2020.		I6: Dosificación de bacteria $5 \times 10^7$ células/ml				
¿Cuánto influye la aplicación de bacterias Bacillus influye en la impermeabilidad del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , en el distrito de San Martin de Porres, 2020?	Determinar la influencia de la aplicación de bacterias Bacillus para mejorar de la impermeabilidad del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , en el distrito de San Martin de Porres, 2020.	La aplicación de bacterias Bacillus disminuye la permeabilidad del concreto $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ , en el distrito de San Martin de Porres, 2020.		I7: Dosificación de bacteria $5 \times 10^8$ células/ml				

Fuente: Elaboración propia.

**ANEXO 3:** Imágenes microscópicas de luz (aumento de 40 veces) antes (izquierda) y después (derecha) de la cicatrización de las muestras de (A) control pre-agrietado (B) bacteriana.



Fuente: Jonkers, H. M. (2011). p. 8.