

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**CONCRETO HIDRÁULICO AUTORREPARABLE CON  
BACTERIAS PARA EL MEJORAMIENTO DE SUS PROPIEDADES  
EN VÍAS URBANAS**

**TESIS**

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

**PRESENTADA POR**

**Bach. ANDIA ÁLVAREZ, GIANCARLO ENRIQUE**

**Bach. BAUTISTA MOLINA, LUIS FERNANDO**

**ASESOR: MSc. Ing. HUAMÁN GUERRERO, NÉSTOR  
WILFREDO**

**LIMA - PERÚ**

**2021**

## **DEDICATORIA**

Dedico la presente tesis a mi familia a mis padres quienes han sido una parte fundamental en mi crecimiento profesional y social, ellos son los que me dieron grandes enseñanzas y los principales protagonistas de este sueño alcanzado.

Giancarlo Andia Alvarez.

Dedico la presente tesis a Dios, a mis padres: Victoria y Hebert, por su esfuerzo y apoyo incondicional, para poder realizarme como persona. A mis abuelos y tíos que en todo momento me apoyaron y estuvieron presentes en este camino para lograr el título profesional.

Luis Bautista Molina.

## **AGRADECIMIENTO**

A dios por permitirnos tener y disfrutar a nuestras familias, a nuestra familia por apoyarnos en cada decisión y proyecto; agradecemos a la universidad por formarnos como profesionales, a los profesores por el apoyo y ayuda para cumplir con el desarrollo de esta tesis.

Giancarlo Andia y Luis Bautista

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	i
ABSTRACT.....	ii
INTRODUCCION.....	iii
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>1</b>
1.1 Descripción y formulación del problema general y específicos.....	1
1.1.1 Problema general.....	1
1.1.2 Problemas específicos .....	2
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo General .....	2
1.2.2 Objetivos Específicos .....	2
1.3 Delimitación de la investigación: temporal, espacial y química .....	2
1.4 Importancia y justificación del estudio.....	3
1.2.3 Importancia.....	3
1.2.4 Justificación.....	3
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
2.1 Antecedentes del estudio de investigación .....	5
2.1.1 Investigaciones Nacionales .....	5
2.1.2 Investigaciones Internacionales.....	7
2.2 Bases teóricas vinculadas a la variable o variables de estudio.....	9
2.2.1 Concreto Hidráulico .....	9
2.2.2 Propiedades del Concreto Hidráulico.....	15
2.2.3 Concreto Hidráulico Autorreparable .....	18
2.2.4 Agente Bioreparador .....	19
2.2.5 Selección de Bacteria .....	25
2.2.6 Agente Nutriente .....	25
2.2.7 Carbonato Calcio.....	26
2.2.8 Pavimentos Hidráulico .....	27
2.2.9 Condición en el Perú. ....	32
2.2.10 Experiencias del uso de concreto autorreparable.....	33
2.3 Definición de términos básicos:.....	34
<b>CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS .....</b>	<b>37</b>
3.1 Hipótesis .....	37

3.1.1 Hipótesis General .....	37
3.1.2 Hipótesis Específicas.....	37
3.2 Variables .....	37
3.2.1 Definición conceptual de las variables .....	37
3.2.2 Operacionalización de las variables .....	38
<b>CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>39</b>
4.1 Tipo y nivel.....	39
4.1.1 Método de investigación .....	39
4.1.2 Orientación de investigación.....	39
4.1.3 Enfoque de investigación .....	39
4.1.4 Fuente de información.....	39
4.1.5 Tipo de investigación .....	39
4.1.6 Nivel de la investigación .....	39
4.2 Diseño de investigación.....	39
4.3 Población y muestra.....	40
4.3.1 Población del estudio .....	40
4.3.2 Diseño Muestral .....	40
4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	40
4.4.1 Tipos de técnicas e instrumentos.....	40
4.4.2 Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos .....	40
4.4.3 Procedimientos para la recolección de datos.....	40
4.5 Técnicas para el procesamiento y análisis de la información.....	41
<b>CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>42</b>
5.1 Obtención de la cepa bacteriana .....	42
5.1.1 Muestreo bacteriano .....	42
5.1.2 Aislamiento de bacteria.....	43
5.1.3 Prueba de ureasa y bioprecipitación de cristales de carbonato de calcio a las bacterias.....	49
5.1.4 Preparación del medio de cultivo.....	52
5.1.5 Siembra de sepa.....	55
5.1.6 Obtención de esporas bacterianas .....	57
5.1.7 Mezcla de autorreparacion .....	58

5.2 Métodos biológicos de autorreparación del concreto.....	59
5.2.1 Método de adición directa.....	59
5.2.2 Método de encapsulamiento.....	60
5.3 Efectividad de autorreparación.....	63
5.4 Análisis de resultados de influencia en las propiedades.....	68
5.5 Presupuesto para los concretos con adición de bacterias.....	81
5.6 Viabilidad del concreto autorreparable.....	85
5.7 Contrastación de hipótesis general y específicas.....	86
<b>CONCLUSIONES</b> .....	91
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	93
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	94
<b>ANEXOS</b> .....	97
Anexo 1: Matriz de consistencia.....	97
Anexo 2: Diseño de concreto.....	98
Anexo 3: Autorización del uso del diseño de mezcla.....	106

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tipos de cemento.....	10
Tabla 2: Granulometría de la arena.....	11
Tabla 3: Límite de sustancias nocivas en el agregado fino.....	11
Tabla 4: Granulometría de la piedra. ....	12
Tabla 5: Limite de sustancias nocivas en el agregado grueso. ....	12
Tabla 6: Preparación del concreto. ....	13
Tabla 7: Operacionalización de variables.....	38
Tabla 8: Muestras de cepas bacterianas encontradas en los puntos I, II Y III.....	43
Tabla 9: Composición del medio de cultivo. ....	55
Tabla 10: Ensayos realizados a probetas sin aditivo bacteriano. ....	69
Tabla 11: Resistencia del concreto patrón a los 7, 14 y 28 días. ....	69
Tabla 12: Ensayos realizados a probetas con aditivo bacteriano <i>Paenibacillus lactis</i> . ...	71
Tabla 13: Resistencia del concreto con <i>Paenibacillus lactis</i> a los 7 , 14 y 28 días.....	71
Tabla 14: Ensayos realizados a probetas con aditivo bacteriano <i>Bacillus firmus</i> . ....	73
Tabla 15: Resistencia del concreto con <i>Bacillus firmus</i> a los 7 , 14 y 28 días. ....	73
Tabla 16: Comparación de los esfuerzos de compresión entre el concreto autorregenerante y el tradicional. ....	80
Tabla 17: Comparación de los esfuerzos de tracción entre el concreto autorregenerante y el tradicional. ....	80
Tabla 18: Costo de la obtención de 1 m <sup>3</sup> de concreto patrón, con rendimiento de 21 m <sup>3</sup> /día (MO. y EQ.). ....	82
Tabla 19: Costo de la obtención de 1 m <sup>3</sup> de bioconcreto con lactato de calcio como agente nutriente, con rendimiento de 21 m <sup>3</sup> /día (MO. y EQ.). ....	83
Tabla 20: Costo de la obtención de 1 m <sup>3</sup> de bioconcreto con nitrato de calcio como agente nutriente, con rendimiento de 21 m <sup>3</sup> /día (MO. y EQ.). ....	84
Tabla 21: Valor de resistencia a compresión en un concreto hidráulico convencional y con bacteria. ....	90
Tabla 22: Matriz de consistencia .....	97

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Ensayo de resistencia a la compresión.....	16
Figura N° 2: Resistencia a la flexión. ....	17
Figura N° 3: Ensayo de resistencia a tracción. ....	18
Figura N° 4: Bacteria Bacillus pasteurii .....	19
Figura N° 5: Bacillus Subtilis .....	20
Figura N° 6: Bacillus megaterium. ....	21
Figura N° 7: Bacillus sphaericus. ....	22
Figura N° 8: Bacillus Cereus. ....	23
Figura N° 9: Pantoea agglomerans. ....	24
Figura N° 10: Bacteria con agente nutriente.....	25
Figura N° 11: Proceso de autorreparacion por carbonato de calcio. ....	27
Figura N° 12: Sección transversal de pavimento hidráulico.....	28
Figura N° 13: Evaluación del daño en pavimento rígido.....	30
Figura N° 14: Estado de red vial del país. ....	33
Figura N° 15: Aplicación de bioconcreto en canales de regadío.....	34
Figura N° 17: Recolección de muestras <i>para obtención de cepas</i> . ....	42
Figura N° 18: Zonas de obtención de cepas. ....	43
Figura N° 19: Frascos estériles hirviendo para eliminar bacterias no resistentes a altas temperaturas.....	44
Figura N° 20: Agar nutritivo utilizado para la preparación de placas de cultivo Petri. ...	45
Figura N° 21: Esterilización del aza circular para el sembrado en placas Petri. ....	46
Figura N° 22: Placas luego la incubación (24 horas), preparadas para la prueba de coloración de endospora. ....	47
Figura N° 23: proceso de adición de verde malaquita, alcohol cetona y safranina. ....	47
Figura N° 24: Flameado de láminas y análisis en microscopio de endosporas. ....	48
Figura N° 25: Esporas de Bacillus Firmus en microscopio(100x). ....	48
Figura N° 26: Esporas de Bacillus Subtillis en microscopio(100x). ....	49
Figura N° 27: Rango de coloración para determinar prueba ureasa. ....	50
Figura N° 28: Resultados de prueba ureasa .....	50
Figura N° 29: Proceso de obtención de cristales de calcita. ....	51
Figura N° 30: Imágenes microscópicas de cristales de carbonato de calcio provenientes de las cepas bacterianas. ....	52



Figura N° 31: Transferencia de los medios de cultivo a placas Petri y tubos de ensayo. .....	53
Figura N° 32: Transferencia de los medios de cultivo a placas Petri y tubos de ensayo. .....	54
Figura N° 33: Esterilización mediante un mechero bunsen en cada momento de trabajo con los medios de cultivo.....	54
Figura N° 34: Medios de cultivo en placas Petri dentro de envases cerrados. ....	55
Figura N° 35: Crecimiento bacteriano en el tiempo .....	56
Figura N° 36: Proceso de estrés bacteriano. ....	57
Figura N° 37: Centrifugación de medio (Esporas + medio de cultivo). ....	58
Figura N° 38: Proceso de disolución (Esporas + agua destilada). ....	58
Figura N° 39: Insumos mezcla autorreparacion. ....	59
Figura N° 40: Adición directa de bacteria al concreto.....	60
Figura N° 41: Partículas de arcilla expandida y se aprecia el concreto fisurado.....	61
Figura N° 42: Encapsulados de bacterias. ....	62
Figura N° 43: Encapsulados químicos y bacterianos.....	63
Figura N° 44: Encapsulado en microcápsulas cilíndricas o esféricas.....	63
Figura N° 45: Autoreparacion de fisuras. ....	64
Figura N° 46: Fisuras con aumentos de 10x, 50x y 100x de zoom. ....	65
Figura N° 47: En el día 1 está grieta midió 1.00 mm de ancho y desde ahí, se monitoreó y se midió dicha grieta cada 28 días. ....	66
Figura N° 48: En el día 28 está grieta midió 0.80 mm de ancho. ....	66
Figura N° 49: En el día 56 está grieta midió 0.50 mm de ancho. ....	66
Figura N° 50: En el día 77 está grieta midió 0.30 mm de ancho. ....	67
Figura N° 51: En el día 98 está grieta midió 0.20 mm de ancho. ....	67
Figura N° 52: En el día 140 está grieta midió 0.03 mm de ancho. ....	67
Figura N° 53: Fisuración en Pavimentos hidráulicos. ....	68
Figura N° 54: Variación de valores de $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> ) a las edades de 7,14 y 28 días. ...	70
Figura N° 55: Variación de la resistencia patrón de 7,14 y 28 días.....	70
Figura N° 56: Variación de valores de $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> ) con Paenibacillus lactis a las edades de 7,14 y 28 días. ....	72
Figura N° 57: Variación de la resistencia (kg/cm <sup>2</sup> ) con Paenibacillus Lactis de 7,14 y 28 días. ....	72

Figura N° 58: Variación de valores de $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> ) con Bacillus firmus a las edades de 7,14 y 28 días. ....	74
Figura N° 59: Variación de la resistencia con Bacillus firmus de 7,14 y 28 días. ....	74
Figura N° 60: Análisis comparativo Global de $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> ) a edades de 7,14 y 28 días de las tres series de probetas. ....	75
Figura N° 61: Comparación de la resistencia a los 28 días. ....	75
Figura N° 62: Resistencia a compresión patrón vs Adición de bacterias en 4 % . ....	76
Figura N° 63: Resistencia a compresión patrón vs Adición de bacterias en 8 % . ....	76
Figura N° 64: Resistencia a compresión patrón vs Adición de bacterias en 12 % . ....	77
Figura N° 65: % de bacterias óptimo a compresión. ....	77
Figura N° 66: Resistencia a flexión patrón vs Adición de bacterias en 4 % . ....	78
Figura N° 67: Resistencia a flexión patrón vs Adición de bacterias en 8 % . ....	78
Figura N° 68: Resistencia a flexión patrón vs Adición de bacterias en 12 % . ....	79
Figura N° 69: % de bacterias óptimo a flexión. ....	79
Figura N° 70: Resistencia a la tracción del concreto convencional y el concreto autorreparable a los 3,7,28 días. ....	81
Figura N° 71: Costo de elaboración 1m <sup>3</sup> de concreto Patrón $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> de costo total: 330.14 soles. ....	85
Figura N° 72: Costo de elaboración 1m <sup>3</sup> de concreto más concentrado de bacteria y lactato de calcio $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> costo total: 1375.04 soles. ....	85
Figura N° 73: Costo de elaboración 1m <sup>3</sup> de concreto más concentrado de bacteria y nitrato de calcio $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> costo total: 1316.44 soles. ....	86

## RESUMEN

En el mundo la sociedad avanza hacia materiales y procesos capaces de superar los límites establecidos hasta ahora, un ejemplo de ello es la obtención de materiales inteligentes como un concreto autorreparable con bacterias, que aumenta la vida útil de las estructuras, disminuyendo así los costos en mantenimiento e impactos asociados a la reparación.

Esta investigación es una revisión teórica y documental de estudios nacionales e internacionales sobre el concreto autorreparable con la aplicación de bacterias, se analizaron los métodos que mejoran la interacción de la bacteria para que influya en la autorreparación, corroborando que el método de encapsulado es el más efectivo pues protege y alarga la vida útil de esta; la efectividad de autorreparación que se logra al adicionar las bacterias es de grietas de hasta 8mm de ancho, no existían límites en longitudes y se tenía este proceso de reparación en poco más de 100 días; la influencia del aditivo bacteriano en las propiedades del concreto hidráulico se vieron favorecidas pues se alcanzan resistencias mayores que las diseñadas y el análisis de costos al comparar un concreto convencional y uno al adicionar las bacterias se logró constatar la variación considerable en costos de elaboración para esta investigación.

**Palabras clave:** Bacterias, Concreto Autorreparable, Bioconcreto, Pavimento Hidráulico.

## **ABSTRACT**

In the world society is moving towards materials and processes capable of exceeding the limits established so far, an example of this is the obtaining of intelligent materials such as a self-repairing concrete with bacteria, which increases the useful life of the structures, thus reducing maintenance costs and impacts associated with repair. This research is a theoretical and documentary review of national and international studies on self-repairing concrete with the application of bacteria, the methods that improve the interaction of the bacterium were analyzed so that it influences self-repair, corroborating that the encapsulation method is the most effective because it protects and extends the useful life of this; the effectiveness of self-repair that is achieved by adding the bacteria is cracks up to 8mm wide, there were no limits in lengths and this repair process was had in just over 100 days; the influence of the bacterial additive on the properties of hydraulic concrete were favored because resistances greater than those designed are achieved and the cost analysis when comparing a conventional concrete and one when adding the bacteria was possible to verify the considerable variation in elaboration costs for this research.

**Keywords:** Bacteria, Self-repairing concrete, Bioconcrete, Hydraulic pavement.

## INTRODUCCION

La situación de los pavimentos en Perú ya sean de concreto hidráulico o asfáltico se encuentran con distintos problemas, presentan deterioros y estos generan fallas, Con los avances tanto en la investigación, como en la obtención de materiales de muy altas cualidades y prestaciones y la mejora en los procesos de fabricación de los productos, la sociedad avanza hacia materiales y procesos capaces de superar los límites establecidos hasta ahora, tanto en términos de vida útil, como en prestaciones. Un ejemplo de ello es la obtención de materiales inteligentes. esta investigación tiene como finalidad: dar a conocer investigaciones acerca de la aplicación de bacterias como aditivos en el concreto (bioconcreto), sus beneficios y limitaciones de este innovador material de construcción, introduciendo de esta manera, un nuevo tipo de concreto que podría ser usado para el pavimentado de vías urbanas.

Esta tecnología aparece en la Universidad Tecnológica de Delf, en los Países Bajos cuando en el año 2015 cuando se trabajó en un cemento experimental que, al mezclarse con una bacteria, una simbiosis, ayuda a la reparación de las fisuras propias del concreto. Los expertos que llevaron a cabo este experimento fueron Eric Schlangen, experto en concreto, y el micro biólogo Henk Jonkers. La esencia del invento radica en que, al momento de existir contacto con el agua a causa de las filtraciones, se deshace la cápsula, se activa la bacteria y los nutrientes hacen que se produzca el mineral que sella las grietas. El objetivo principal es garantizar la protección de la estructura y evitar daños en la misma, para nuestra investigación se dividió en cinco capítulos los cuales se describen brevemente a continuación:

En el capítulo I, Planteamiento del Problema, se presenta la descripción y formulación del problema, el establecimiento de los objetivos de la investigación, y limitaciones de nuestra investigación.

En el capítulo II, Marco teórico, se señalan los antecedentes de estudios de la recopilación de tesis de investigación tanto nacionales como internacionales, También, se desarrollaron las bases teóricas y científicas, y la definición de los términos empleados en la investigación.

En el capítulo III, Sistema de Hipótesis, se presentas las hipótesis planteadas al desarrollar la investigación, y también la definición y operacionalización de las variables propuestas.

En el capítulo IV, Metodología de la investigación, se indica el tipo, nivel, diseño, técnicas e instrumentos de recolección de datos para nuestra investigación.

En el capítulo V, Presentación y análisis de los resultados de la investigación, para la obtención de nuestros resultados. Se analizan los datos obtenidos en la recolección de investigaciones nacionales e internacionales, para ser presentados en gráficos y tablas que nos ayudaron a dar las conclusiones y recomendaciones adecuadas.

# **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

## **1.1 Descripción y formulación del problema general y específicos**

Los pavimentos hidráulicos en el Perú y el mundo son elaborados masivamente en las vías urbanas estas presentan deficiencias o problemas que son ocasionadas por el mismo uso o por el deterioro que se puede ocasionar en este, estas presentan fallas por el mismo flujo de vehículos que pasan a través del tiempo, estas fallas necesitan ser curadas y mejoradas o sino la carretera o vía urbana debe tener un mantenimiento periódico para que esta falla no afecte a la estructura provocando el completo deterioro del pavimento a su vez con los años las necesidades y exigencias de las ciudades modernas, han provocado el uso de tecnologías amigables al medio ambiente por el mismo problema en todo el planeta tierra sobre el cambio climático.

El pavimento hidráulico autorreparable con el uso de bacterias es un pavimento relativamente moderno y amigable con el medio ambiente que recién apareció en el año 2015 en la Universidad Tecnológica de Delf en los países bajos cuando se trabajó con un cemento experimental y se mezcló con una bacteria.

La idea de utilizar el pavimento hidráulico autorreparable con el uso de bacterias es en sí porque es un estudio innovador poco extendido en nuestra región con pocas investigaciones en otros países vecinos como Chile, Colombia, México y otros, pero que puede ser extendido ya que podría tener varios usos en la construcción.

La esencia del invento radica en que, al momento de existir una fisura se deshace la cápsula, se activa la bacteria y los nutrientes hacen que se produzca el mineral que sella las grietas. Con este proyecto de investigación se busca garantizar la protección de la estructura y evitar daños en la misma como también ver y analizar, sus mejoras en las propiedades, su efectividad, sus mejoras con los métodos que se utilizaran y el cambio o variación de los costos entre un concreto hidráulico con bacterias y uno convencional.

### **1.1.1 Problema general**

¿Cómo la aplicación de concreto hidráulico autorreparable con bacterias mejorara el pavimento hidráulico en vías urbanas?

### 1.1.2 Problemas específicos

- a) ¿Como los métodos que se utilizaran para la autorreparacion de concreto hidráulico con adición de bacterias mejoran el pavimento hidráulico en vías urbanas?
- b) ¿Como la adición de bacterias es efectiva en la autorreparacion del concreto hidráulico en pavimento hidráulico en vías urbanas?
- c) ¿Como influye la adición de bacterias en el comportamiento a compresión, tracción y flexión del concreto hidráulico para pavimentos en vías urbanas?
- d) ¿Cuánto varían los costos de elaboración entre concreto hidráulico autorreparable con bacterias y uno convencional para la aplicación en pavimento hidráulico en vías urbanas?

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo General

Determinar como la aplicación de concreto hidráulico autorreparable con bacterias incide en el mejoramiento de las propiedades del concreto para pavimentos hidráulicos en vías urbanas

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Determinar los métodos que se utilizaran para la óptima autorreparación de concreto hidráulico con adición de bacterias para pavimentos hidráulicos en vías urbanas.
- b) Determinar la efectividad de la adición de bacterias para lograr la autorreparación del concreto hidráulico en vías urbanas.
- c) Analizar cómo influye la adición de bacterias en el comportamiento a compresión, tracción y flexión en el concreto hidráulico para pavimentos en vías urbanas.
- d) Determinar la variación en costo de la elaboración del concreto hidráulico con bacterias en la aplicación del pavimento hidráulico en vías urbanas.

## 1.3 Delimitación de la investigación: temporal, espacial y química

En el Perú los estudios sobre la incorporación de agentes autorreparantes en escasa y para pavimentos en vías urbanas prácticamente nula, por ello se convierte en una gran limitante.



La tesis se llevará a cabo corroborando y analizando distintas investigaciones acerca del uso de agentes bacterianos como aditivo en el concreto hidráulico realizando una recopilación de información de investigaciones hechas anteriormente y fuentes confiables de internet.

La presente investigación también estuvo limitada por ser netamente teórica ya que por la situación de la pandemia no se pudo corroborar empíricamente la interacción del aditivo bacteriano en los pavimentos de concreto hidráulico.

#### 1.4 Importancia y justificación del estudio

##### 1.2.3 Importancia

Su importancia radica en la efectividad de su aplicación en concretos hidráulicos para el sellado de grietas de manera autónoma; en las últimas décadas se ha dado prioridad en las innovaciones tecnológicas en este caso para la construcción de vías urbanas con materiales amigables al medio ambiente y el uso de bacterias para la autorreparación en los concretos es adecuado para esto.

Es importante también tener información bibliográfica de sus beneficios no solo en su autorreparación sino en el costo, ya que son más baratos a largo plazo que uno convencional que va necesitar de mantenimiento rutinarios que van a generar más gastos.

##### 1.2.4 Justificación

Mediante el presente trabajo se busca que en el Perú las entidades responsables de la infraestructura vial, públicas o privadas cuenten con referencias bibliográficas sobre la aplicación de concreto autorreparable, como referencia para futuras aplicaciones en el área de construcción de carreteras, generando así alternativas de solución para el sellado de fisuras mediante la precipitación bacteriana, para la reparación, mantenimiento y aumento de la durabilidad de las estructuras de pavimento de concreto hidráulico, en el tema académico buscamos que este trabajo sea un documento de punto de partida para futuras investigaciones de carácter experimental y así corroborar o descartar la aplicación de este innovador método de autorreparación para vías urbanas.

a) Justificación técnica.

Colaborar con una investigación para lograr el entendimiento y uso del bioconcreto, para su utilización en obras de envergadura del país, con esta investigación, también, se procura busca una alternativa de solución como es la autorreparación por las bacterias, la cual, enriquece apreciablemente la mayoría de las propiedades mecánicas del hormigón.

b) Justificación social.

En la actualidad elaborar solo el cemento y el hormigón necesarios para carreteras, puentes, rascacielos y otras estructuras genera casi el 6% de la producción anual de emisiones de dióxido de carbono en todo el mundo, con la aplicación del concreto hidráulico autorreparable con bacterias en las condiciones adecuadas, estos microbios verdes absorben gas de dióxido de carbono para ayudarse a crecer y producir carbonato de calcio que hace que las fisuras en los concretos se logren reparar.

c) Justificación por relevancia

La trascendencia de la presente investigación es entender como el bioconcreto tiene la capacidad de autorrepararse, usando microorganismos vivos, como son las bacterias, y que pueden sellar y tapar con calcita, grietas de hasta 10mm de ancho de forma eficaz y eficiente, además de mejorar las propiedades del concreto para de esta manera evitar problemas que podrían dañar considerablemente el pavimento.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes del estudio de investigación

#### 2.1.1 Investigaciones Nacionales

Asenjo Alarcón, Dennis Edinsson (2019). En esta investigación Influencia de la incorporación del aditivo bacteriano en la reparación del proceso de fisuración controlada del concreto buscaron la obtención de un tipo especial de concreto con adiciones de aditivo bacteriano, previeron que dicho compuesto alargue la vida útil de las estructuras de concreto mediante la autorreparación de dichas estructuras sin la intervención de la mano del hombre. En el trabajo se presentaron el proceso de muestreo, aislamiento e identificación bacteriana para la producción de aditivo bacteriano y su posterior incorporación en probetas de concreto de  $f'c=250$  kg/cm<sup>2</sup> las mismas que fueron sometidas a ensayos de compresión elaborados de acuerdo a las normas de elaboración y curado de especímenes de concreto NTP 339.183, ensayo a compresión de probetas NTP 339.078; las cuales fueron ensayadas a los 7, 14 y 28 días de edad; y de probetas prismáticas que fueron utilizadas en la evaluación de la reparación del fisuramiento a nivel microscópico. Se aislaron e identificaron en total 17 cepas bacterianas que tenían presencia de endospora, en una primera etapa estas cepas se incorporaron a la mezcla de mortero en una concentración de aproximadamente  $3 \times 10^8$  cepas bacterianas por ml diluidas en caldo nutritivo, la aplicación se realizó tanto en la superficie de la probeta prismática de mortero como a la mezcla durante la elaboración de la misma; de las cuales 2 cepas precipitaron carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>). La incorporación de aditivo bacteriano se realizó superficialmente, y por otro lado se incorporó a la mezcla mortero, obteniendo resultados similares, ya que en ambos casos se observó la precipitación de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>); para la mezcla de concreto se optó por incorporar el aditivo bacteriano directamente a la mezcla. Finalmente, se calculó el porcentaje de reparación de las fisuras en el concreto; en la fisura 1 (2mm) de las cepas de *Paenibacillus lactis* repararon la fisura en un 70%; en la fisura 2 (1mm) las mismas cepas repararon la fisura en un 80.6%, y en la fisura 3 (1mm) las cepas de *Bacillus firmus* repararon la fisura en un 68.3% a los 28 días; también se evaluó la resistencia a la compresión de los especímenes de bioconcreto, así como de concreto sin adiciones y se observó

que el aditivo bacteriano aumenta la resistencia a compresión, en el caso de las cepas de *Paenibacillus lactis* en un 35.68% y en el caso de las cepas de *Bacillus firmus* en un 14.08% en comparación con el concreto sin adiciones, quedando determinada la influencia de la incorporación del aditivo bacteriano, siendo positiva en el proceso de reparación de la fisuración controlada del concreto y su resistencia mecánica, ya que mejoró considerablemente dichos parámetros. Ascate, Clarita; Miranda, Mary (2019). En su trabajo de investigación nombrado Diseño de Bioconcreto con *Bacillus Subtilis* para mejorar la resistencia en un concreto  $f'_c=210$  kg/cm<sup>2</sup>, Tarapoto - 2019, se tuvo como objetivo determinar las propiedades físicas de los agregados para el diseño de mezcla de un concreto  $f'_c=210$  Kg/cm<sup>2</sup>, determinar el tiempo máximo de crecimiento bacteriano en horas, determinar el porcentaje de solución de bacterias con el que el concreto  $f'_c=210$  Kg/cm<sup>2</sup>, llegue a una resistencia de  $f'_c=240$  kg/cm<sup>2</sup>, determinar en cuánto incrementa la resistencia a la compresión y flexión de un concreto  $f'_c=210$  Kg/cm<sup>2</sup> incorporando el porcentaje de *Bacillus Subtilis* que lo hace llegar a una resistencia de  $f'_c=240$  kg/cm<sup>2</sup>. Se tuvo una población total de 60 especímenes de concreto  $f'_c=210$ kg/cm<sup>2</sup>. 36 probetas cilíndricas, de las cuales 9 fueron con concreto patrón, 9 incorporando Bacterias del género *Bacillus Subtilis* al 4%, al 8% y al 12% (9+27 = 36 especímenes cilíndricos en total). 24 probetas prismáticas de concreto (0.50m x 0.15m x 0.15m), 6 fueron con concreto patrón y 6 incorporando Bacterias del género *Bacillus Subtilis*, al 4%, 8% y 12% (6+18 = 24 especímenes prismáticos en total), Tras los resultados obtenidos se concluyó que tras la adición de las bacterias del género *Bacillus Subtilis* al 12% la resistencia a la compresión aumentó en un 14%, con respecto al concreto patrón; la resistencia a la flexión aumentó en un 13%, con respecto al concreto patrón.

Santos Estrada, Arnold Junior (2021). El proyecto de investigación Aplicación del bioconcreto para reparar agrietamientos de los decantadores de la planta de tratamiento de agua La Atarjea - Lima, la bacteria es capaz de producir calcita, por ende, autorrepara los agrietamientos de los decantadores de la Atarjea". Todos los datos para el desarrollo de esta investigación se consiguieron mediante la realización de diseño de protocolos: parte biológica (bacterias:

aislamiento, cultivo, reproducción, esporulación), parte ingenieril (diseño de mezcla y ensayos de concreto: resistencia a la compresión, granulometría, humedad, etc.). El bioconcreto se elaboró para un diseño de mezcla con  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , con slump de 4" y cumpliendo la Norma ACI 211. Con esta investigación se logró verificar, que el bioconcreto, llega a su resistencia a partir de los 28 días, y autorrepara las fisuras y las grietas eficazmente, con una tendencia a disminuir el ancho en 0.20 mm por mes, esto quiere decir, que la hipótesis inicial, es factible y viable.

### 2.1.2 Investigaciones Internacionales

Giraldo M, Nicolas. (2017). En este trabajo se planteó dos objetivos esenciales: primero, realizar una aproximación al estado del arte sobre diferentes métodos que pueden permitir la Autorreparación de fisuras en concreto rígido para pavimentos mediante la adición de bacterias bioprecipitadoras de carbonato de calcio, como una posible alternativa para la reparación, mantenimiento y durabilidad de las estructuras de pavimento en concreto. En segundo lugar, se buscó formular un diseño experimental que sirva como marco de referencia para realizar investigaciones sobre métodos biológicos de autorreparación de concreto en la Universidad Nacional de Colombia, factibles de aplicarse en nuestro medio. Para ello, inicialmente se realizó una revisión teórica y conceptual sobre los principales aspectos que intervienen en el proceso de autorreparación de fisuras en concreto mediante la adición de bacterias bioprecipitadoras de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Igualmente, se realizó una recopilación bibliográfica sobre diferentes artículos científicos que evalúan la efectividad de diferentes bacterias bioprecipitadoras de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) en la autorreparación de fisuras, mediante pruebas de resistencia a la compresión, flexión y tracción, permeabilidad y absorción de agua. Con base en las experiencias previas, se planteó una propuesta de diseño experimental que incluyó: la selección de materiales y cepas bacterianas; diseño de mezcla, preparación de muestras con y sin adición de bacterias; realización de pruebas físicas, mecánicas y microscópicas, que permitan evaluar la eficiencia del método de autorreparación estudiado y aproximación de los costos para un eventual desarrollo de la propuesta diseño experimental sobre métodos biológicos de autorreparación del concreto.

Parraguez, Araceli. (2018). Nos explica que, dada la actual situación medioambiental, se ha vuelto cada vez más precisa la incorporación de materiales sustentables dentro del mundo de la construcción; industria responsable en gran parte de la generación de gases de invernadero. Es por esto que dentro de las tecnologías que se han ido desarrollando, un hormigón autorreparable por bacterias, aumentaría la vida útil de las estructuras, disminuyendo así los costos, gastos energéticos e impactos ambientales asociados a la reparación. La presente investigación analiza algunas de las condiciones ambientales a las que se podrían enfrentar los microorganismos responsables de la autorreparación y verificar su eficacia y por ende su posible aplicación. La utilización de la bacteria *Bacillus Pseudofirmus* muestra una mejora en grietas de hasta 0.38 mm a temperaturas de 23°C, lo que posibilita su utilización en climas cálidos. Respecto a los resultados obtenidos en cada tipo de cemento, se muestra levemente un mejor desempeño para el cemento Portland, en comparación al Puzolánico.

Hituyan, Jefferson; Valencia, Laura. (2020). Nos explica que, las grietas permiten el acceso de agentes agresivos que disminuyen sus propiedades mecánicas y su durabilidad. La reparación tradicional del hormigón implica costos elevados. Para mitigar este problema, se ha suscitado el estudio de diferentes métodos y procesos de autorreparación del concreto a través de la adición de cepas bacterianas, que favorezcan como una posible alternativa para el relleno y sellado de fisuras en el concreto. En este trabajo se busca formular una tabla comparativa que sirva como marco de referencia para realizar investigaciones sobre métodos biológicos de autorreparación de concreto factibles de aplicarse en nuestro medio. Para ello, inicialmente se realizó una revisión teórica y conceptual sobre los principales aspectos que intervienen en el proceso de autorreparación de fisuras en concreto mediante la adición de bacterias. Luego, se realizó una recopilación bibliográfica sobre diferentes artículos científicos realizados durante los últimos 5 años que evalúan la efectividad de diferentes bacterias y métodos utilizados en la autorreparación de fisuras, mediante pruebas de resistencia a la compresión, flexión y tracción, permeabilidad y absorción de agua. Con base en las experiencias previas, se planteó una tabla comparativa que incluyó: tipos de procesos y estudios de

prueba, tipos de bacterias, condiciones de cultivo, procesos bioquímicos y reacciones en el concreto, y la función específica de cada proceso.

## 2.2 Bases teóricas vinculadas a la variable o variables de estudio

### 2.2.1 Concreto Hidráulico

#### a) Definición.

El concreto es una mezcla homogénea de cemento, agua, arena, piedra y en algunos casos aditivos. Es un material durable, resistente y dado que se trabaja en forma líquida, prácticamente puede adquirir cualquier forma. El concreto es una roca creada por el ser humano, diseñada y producida de acuerdo a normas establecidas para fines y aplicaciones que se requieren en un proyecto determinado y con características determinadas. (Torres, 2012, p14).

#### b) Componentes.

Los componentes principales del concreto hidráulico son:

**Cemento Portland:** El Cemento Portland está diseñado para la utilización en cualquier tipo de estructuras, como las obras de concreto estructural, infraestructura vial, industrial minera e incluso, en la construcción de viviendas que no cuenten con algún requerimiento específico. Está constituido por adecuadas proporciones de clinker y yeso, ambas materias primas que cumplen con los estándares de calidad y con las exigencias mínimas que sean especificadas según la Norma Técnica Peruana 334.009 y el ASTM C-150. (Cementos La Nacional, 2018).

Tabla 1:Tipos de cemento

Tipos de cemento	Definición
I	Apropiado para todos los usos donde no se requiere las propiedades específicas de otros cementos. Se puede utilizar en estructuras normales y en miembros expuestos a suelos o agua subterránea donde la concentración de sulfatos o el calor proveniente de la hidratación sean más altos de lo normal pero no severos.
II	Ofrece alta resistencia a edades tempranas, normalmente una semana o menos. Se usa donde se deba minimizar la tasa y cantidad de calor generado por la hidratación. Por lo tanto, este cemento desarrolla la resistencia en una tasa más lenta que los otros tipos.
III	Se utiliza en concretos expuestos a la acción severa de sulfatos, principalmente donde el suelo y el agua subterránea contienen gran concentración de estos.
IV	
V	

Fuente: Propia.

Agregados: Los agregados son un conjunto de partículas, de origen natural o artificial, que pueden ser tratados o elaborados. Pueden tener tamaños que van desde partículas casi invisibles hasta pedazos de piedra, junto con el agua y el cemento, conforman el trío de ingredientes necesarios para la fabricación de concreto. La importancia del uso, tipo y calidad correcta del agregado no se puede subestimar. Los agregados fino y grueso ocupan cerca del 60% al 75% del volumen del concreto, e influyen fuertemente en las propiedades tanto en estado fresco como endurecido, en las propiedades de la mezcla del concreto. Los agregados deben de ser transportados y acopiados de manera que se evite su segregación y contaminación, debiendo mantener las características granulométricas de cada una de sus fracciones hasta su incorporación a la mezcla, tienen que cumplir con las especificaciones técnicas establecidas en la normas ASTM C33 y NTP 400.037. (Concretos Supermix, 2018).

Agregado Fino: Se considera como tal, a la fracción que pase el tamiz de 4.75 mm (N° 4). Proviene de arenas naturales o de la trituración de rocas, gravas, escorias siderúrgicas. El porcentaje de arena triturada no podrá constituir más



del 30% del agregado fino (Fig. 01). El agregado fino deberá cumplir con los requisitos que se indican en la tabla 2 y 3.

Tabla 2: Granulometría de la arena.

Tamiz	Porcentaje que pasa
9.5 mm (3/8 in.)	100
4.75 mm (N° 4)	95 a 100
2.36 mm (N° 8)	80 a 100
1.18 mm (N° 16)	50 a 85
600 µm (N° 30)	25 a 60
300 µm (N° 50)	05 a 30
150 µm (N° 100)	0 a 10

Fuente: Concretos Supermix (2018).

Tabla 3: Límite de sustancias nocivas en el agregado fino.

Características	Requisito		Unidad
	Min	Max	
Módulo de finura	2.3	3.1	N.A.
Pasante de la malla N° 200	N.A.	5	%
Cloruros solubles	N.A.	1000	ppm
Sulfatos Solubles	N.A.	12000	ppm
Terrones de arcilla y partículas deleznable	N.A.	3	%
Impurezas orgánicas	N.A.	3	Plato de Color
Inalterabilidad por sulfato de magnesio	N.A.	15	%

Fuente: Concretos Supermix (2018).

**Agregado Grueso:** Se denomina agregado grueso a la porción del agregado retenido en el tamiz 4.75 mm (N° 4). Dicho agregado deberá de proceder de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas: sus fragmentos deben de ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables. Estará exento de polvo, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan afectar la calidad de la mezcla de concreto. El agregado fino deberá cumplir con los requisitos que se indican en la tabla 4 y 5.

Tabla 4: Granulometría de la piedra.

Huso	Tamaño máximo nominal	Porcentaje que pasa por los tamices normalizados														
		100mm (4 in)	90mm (3 1/2 in)	75mm (3 in)	63 mm (2 1/2 in)	50mm (2 in)	37.5 mm (1 1/2 in)	25 mm (1 in)	19 mm (3/4 in)	12.5 mm (1/2 in)	9.5 mm (3/8 in)	4.75 mm (N° 4)	2.36 mm (N° 8)	1.18 mm (N° 16)	300 µm (N°50)	
1	90 mm a 37.5 mm (3 1/2 a 1 1/2 in)	100	90 a 100	-	25 a 60	-	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-		
2	63 mm a 37.5 mm (2 1/2 a 1 1/2 in)	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-		
3	50 mm a 25 mm (2 a 1 in)	-	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-		
357	50 mm a 4.75 mm (2 in a N 4)	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	-	0 a 5	-	-		
4	37.5mm a 9 mm (1 1/2 a 3/4 in)	-	-	-	-	100	95 a 100	20 a 55	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-		
467	37.5 mm a 4.75mm (1 1/2 in a N4)	-	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-		
5	25mm a 12.5 mm (1 a 1/2 in)	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-		
56	25mm a 9.5 mm (1 a 3/8 in)	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-	-		
57	25mm a 4.75 mm (1 in a N 4)	-	-	-	-	-	100	95 a 100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-		
6	19mm a 9.5mm (3/4 a 3/8 in)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-	-		
67	19 mm a 4.75 mm (3/4 in a N4)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-		
7	12.5mm a 4.75 mm (1/2 in a N4)	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-		
8	9.5 mm a 2.56 mm (3/8 in a N8)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5		
89	9.5 mm a 1.18 mm (3/8 in a N16)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	4.75 mm a 1.18mm (N4 a N16)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Fuente: Concretos Supermix (2018).

Tabla 5: Limite de sustancias nocivas en el agregado grueso.

características	Requisito		Unidad
	Min	Max	
Pasante de la malla N° 200	N.A.	1	%
Cloruros solubles	N.A.	1000	ppm
Sulfatos Solubles	N.A.	10000	ppm
Terrones de arcilla y partículas deleznable	N.A.	5	%
Abrasión por la máquina de los ángeles	N.A.	50	%
Inalterabilidad por sulfato de magnesio	N.A.	18	%

Fuente: Concretos Supermix (2018).

Agua: Es la materia prima para la confección y el curado del concreto y hormigón. Este elemento, así como los otros ingredientes para elaboración de concreto, debe cumplir con determinadas normas de calidad, estas pueden variar por el país o por el tipo de cemento que se va a utilizar para la construcción. Las principales características que debe presentar este elemento son, que debe encontrarse limpio, fresco hasta donde sea posible, no debe contener nada de óleos, ni ácidos ni sulfatos de magnesio, ni sodio ni calcio

(estos llamados también como álcalis blandos) y no debe mantener materias orgánicas ni lodo o cualquier otra sustancia dañina. (Bambaren, 2020, p15).

a) Preparación.

El procedimiento de preparación sería el siguiente:

Tabla 6: Preparación del concreto.

Pasos	Concepto
Selección de materiales	El concreto está compuesto por cemento, arena, grava, agua y aditivos, materiales que deben seleccionarse teniendo especial cuidado en sus características de calidad y deben ser almacenados y tratados de tal forma que sus propiedades no se alteren.
Dosificación	Para obtener la resistencia y demás propiedades del concreto, sus componentes deben ser integrados a la mezcla en las cantidades justas, según lo definido en el diseño. Estas cantidades deben ser medidas rigurosamente durante el proceso denominado dosificación.
Mezclado	Para mezclar el concreto en obra se puede usar una mezcladora mecánica o puede hacerse a mano empleando herramientas básicas. Se debe definir el método de mezclado, porque las condiciones y orden de ingreso de los materiales puede variar.
Colocación	La colocación de concreto es un proceso que debe realizarse teniendo especial cuidado para no afectar la homogeneidad alcanzada durante el mezclado. Las etapas en que se divide la colocación son: transporte, vaciado y vibrado.
Curado y protección	Esta última etapa se realiza para evitar los deterioros ocasionados en el concreto por cambios rápidos de humedad y temperatura durante las primeras horas después de su colocación, de este modo se reduce el riesgo de fisuración y agrietamiento.

Fuente: Propia.

b) Fraguado.

Cuando el cemento y el agua entran en contacto, se inicia una reacción química exotérmica que determina el paulatino endurecimiento de la mezcla. Dentro del proceso general de endurecimiento se presenta un estado en que la mezcla pierde apreciablemente su plasticidad y se vuelve difícil de manejar; tal estado corresponde al fraguado inicial de la mezcla. A medida que se produce el endurecimiento normal de la mezcla, se presenta un nuevo estado en el cual la consistencia ha alcanzado un valor muy apreciable; este estado se denomina fraguado final. La determinación de estos dos estados, cuyo lapso comprendido entre ambos se llama tiempo de fraguado de la mezcla, es muy poco precisa y sólo debe tomarse a título de guía comparativa. El tiempo de fraguado inicial es el mismo para los cinco tipos de cemento enunciados y alcanza un valor de 45 a 60 minutos, el tiempo de fraguado final se estima en 10 horas aproximadamente. En resumen, puede definirse como tiempo de fraguado de una mezcla determinada, el lapso necesario para que la mezcla pase del estado fluido al sólido. Así definido, el fraguado no es sino una parte del proceso de endurecimiento. Es necesario colocar la mezcla en los moldes antes de que inicie el fraguado y de preferencia dentro de los primeros 30 minutos de fabricada. Cuando se presentan problemas especiales que demandan un tiempo adicional para el transporte del concreto de la fábrica a la obra, se recurre al uso de “retardantes” del fraguado, compuestos de yeso o de anhídrido sulfúrico; de igual manera, puede acelerarse el fraguado con la adición de sustancias alcalinas o sales como el cloruro de calcio. (Arqhys.com, 2017).

c) Curados.

El curado, según el ACI 308R, es el proceso por el cual el concreto elaborado con cemento hidráulico madura y endurece con el tiempo, como resultado de la hidratación continua del cemento en presencia de suficiente cantidad de agua y de calor. Esta definición pone de manifiesto dos cosas importantes: el cemento requiere de cierta cantidad de agua para hidratarse (en promedio 25% de la masa de cemento), sin embargo, para garantizar en toda la mezcla de concreto, disponibilidad de agua de hidratación para el cemento es conveniente contar con una cantidad mayor, ya que la hidratación sólo es posible en un

espacio saturado. Esto no es un inconveniente ya que aún un concreto de baja relación agua/cemento, por ejemplo 0.45, tiene un 80% de agua por encima de lo requerido por el cemento para hidratarse, sin embargo, la prematura desecación del concreto puede reducir el agua en la mezcla, especialmente en elementos laminares, a niveles donde la hidratación será incompleta. En la medida en que haya suficiente agua el cemento continuará hidratándose hasta que todos los espacios de poros disponibles se vean colmados con los productos de hidratación o hasta que no haya más cemento para hidratar. (Blog de la construcción, 2019).

### 2.2.2 Propiedades del Concreto Hidráulico

#### a) Resistencia a la Compresión:

Es el esfuerzo máximo que soporta un material bajo una carga de aplastamiento. La resistencia a la compresión de un material que falla debido a la rotura de una fractura se define en límites bastante ajustados, como una propiedad independiente. Sin embargo, la resistencia a la compresión de los materiales que no se rompen en la compresión se define como la cantidad de esfuerzo necesario para deformar el material una cantidad arbitraria. La resistencia a la compresión se calcula dividiendo la carga máxima por el área transversal original de una probeta en un ensayo de compresión, y se determina por medio de ensayos, donde se realizan pruebas cilíndricas de 15cm de diámetro y 30 cm de altura, para ser llevadas hasta la rotura mediante cargas incrementadas relativamente rápidas, esta resistencia se mide a los 28 días de fraguado, por razones técnicas y prácticas ya que en este tiempo el concreto ya ha alcanzado en gran proporción la resistencia y a los 28 días no afecta significativamente la marcha de las obras.

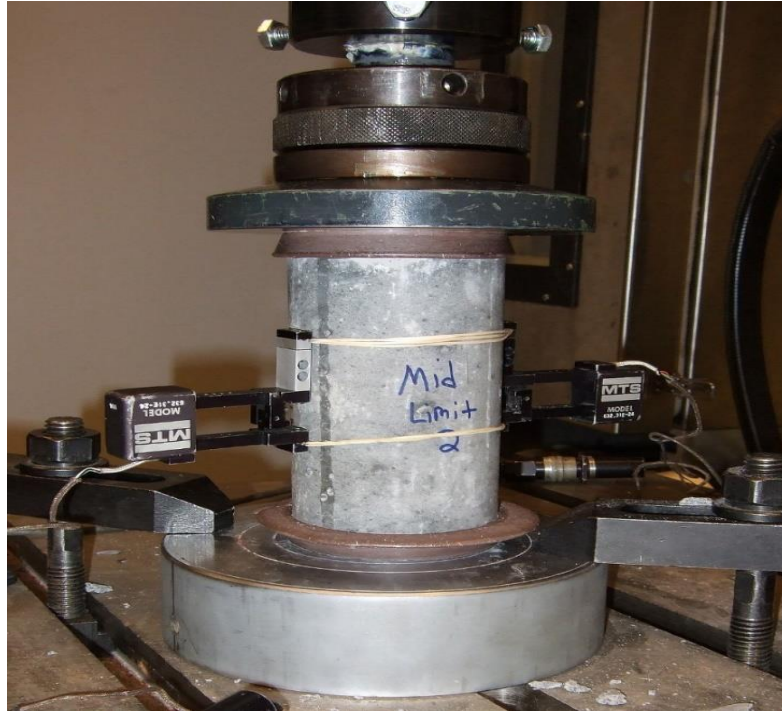


Figura N° 1: Ensayo de resistencia a la compresión

Fuente: Victor (2014).

b) Resistencia a la Flexión:

Para los ensayos de resistencia a la flexión se siguen los parámetros establecidos por la norma INV E-414-13 que describe el objeto, importancia y uso, los requerimientos de los equipos a utilizar, especificaciones de los especímenes de concreto y procedimientos a seguir para el desarrollo de la prueba objeto de estudio. Objeto, importancia y uso. La resistencia a la flexión es una propiedad mecánica utilizada para determinar el módulo de rotura de un espécimen de concreto sometido a una carga en los tercios de la luz libre de una viga simplemente apoyada. Se usa regularmente para verificar los procesos de dosificación, mezclado y colocación del concreto, entre otros aspectos a tener en cuenta en el diseño de losas estructurales y pavimentos rígidos. Los resultados de la resistencia a la flexión pueden variar, dependiendo del tamaño del espécimen, preparación, condición de humedad, curado, entre otros aspectos importantes que pueden influir en la calidad de los resultados obtenidos.

Para el ensayo de resistencia a la flexión se requiere fundamentalmente de los siguientes equipos: Máquina de ensayo: Según las especificaciones técnicas definidas en la norma, la máquina a utilizar debe tener la capacidad de aplicar una carga a velocidad constante y permitir la realización de verificaciones y correcciones a determinados intervalos de tiempo.

Aparato de carga: Para aplicar la carga en los tercios de la luz se emplean bloques de aplicación de carga que permitan la aplicación de fuerzas perpendiculares a la cara del espécimen sin producir excentricidad. De igual manera, el aparato de carga de tener la capacidad de conservar la longitud y distancias entre la luz de apoyos y los bloques de aplicación y soporte de carga.



Figura N° 2: Resistencia a la flexión.

Fuente: Revista Materia (2018).

#### c) Resistencia a la Tracción:

Es una forma de comportamiento de gran trascendencia para el diseño y control de calidad en todo tipo de obras y en especial de pavimentación. Define la resistencia a la tensión consiste es la máxima fuerza o tensión a la que puede someterse antes de su rotura. El procedimiento empieza colocando la muestra en una máquina, conocida como extensómetro, que aplica una carga progresiva lentamente creciente. Esta carga se mide en newtons de fuerza (N/mm<sup>2</sup>).

Conforme avanza el ensayo y se incrementa la carga, la muestra se va estirando hasta que se rompe. Este estiramiento se conoce como “esfuerzo”. El esfuerzo expresado en porcentaje se conoce por elongación o alargamiento, que se define como el porcentaje de aumento de longitud de la muestra de ensayo. (Conecband, 2017).

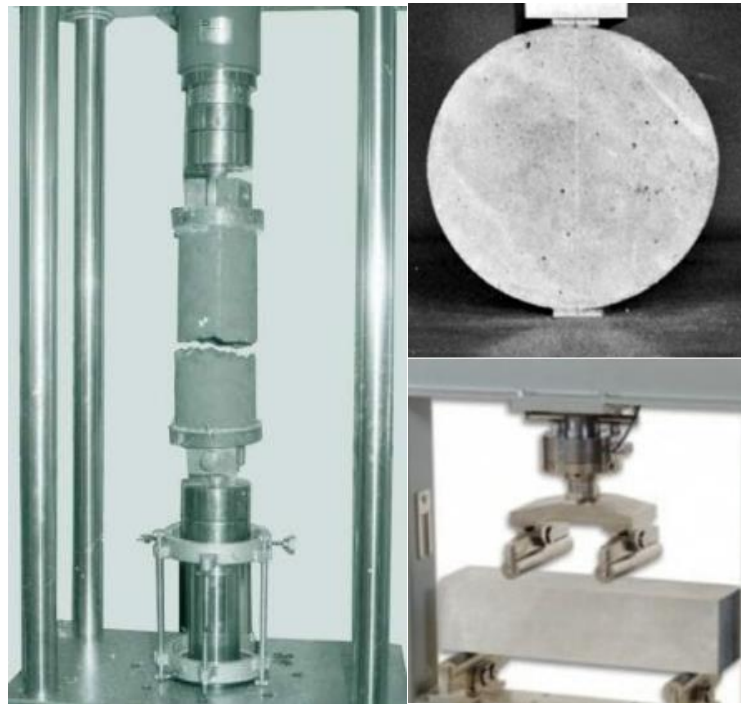


Figura N° 3: Ensayo de resistencia a tracción.

Fuente: Propiedades del concreto endurecido (2020).

Esta prueba es de suma importancia pues si una pieza que se estira hasta que queda deformada permanentemente, puede ser tan inútil como si se hubiera roto. El máximo esfuerzo que resiste un metal sin sufrir una deformación permanente se denomina límite de elasticidad o elástico. El alargamiento que experimenta una muestra metálica durante un ensayo de tracción es una medida de ductilidad, una propiedad definida como la capacidad de un metal para deformarse/conformarse sin romperse.

### 2.2.3 Concreto Hidráulico Autorreparable

Es una mezcla de agregados naturales, procesados o artificiales, cemento y agua que tienen un proceso de relleno y sellado de las fisuras del concreto, esto



debido a que se desarrolla por el mismo material que tiene lugar y que propicia una mejora en su funcionamiento hasta que recupera sus propiedades preliminares, antes de la generación de las microfisuras. De esta manera los concretos pueden clasificarse en dos grupos, esto de acuerdo a las técnicas que se emplean, tales como: autorreparación autógena con partículas del cemento sin hidratar y autorreparación autónoma mediante agentes de sellado en el interior de cápsulas.

#### 2.2.4 Agente Bioreparador

Tipos de Bacterias:

a) *Bacillus pasteurii* - *Sporosarcina pasteurii*.

Es una bacteria gram positiva que tiene forma de varilla por naturaleza. Tiene la capacidad de formar endosporas en las condiciones ambientales adecuadas para mejorar su supervivencia, que es una característica de su clase de bacilos . Tiene unas dimensiones de 0,5 a 1,2 micrones de ancho y de 1,3 a 4,0 micrones de largo. Debido a que es un alcalófilo , prospera en ambientes básicos de pH 9-10. Puede sobrevivir en condiciones relativamente duras hasta un pH de 11,2.

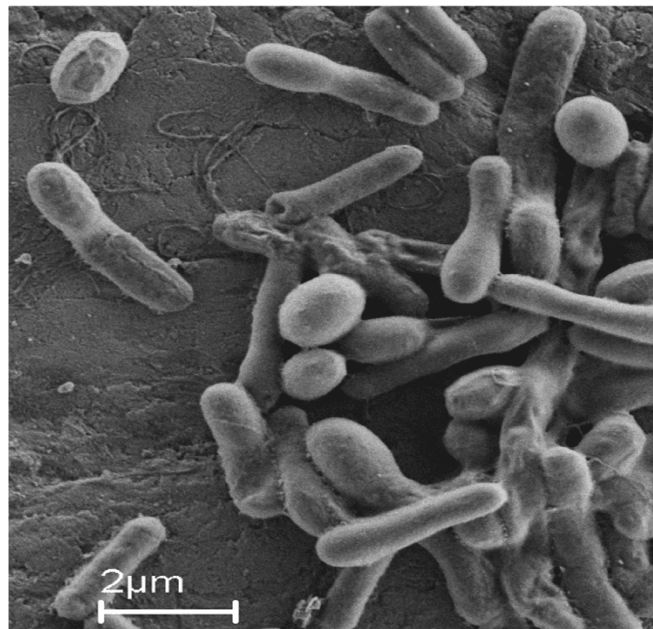


Figura N° 4: Bacteria *Bacillus pasteurii*

Fuente: VIN CIVIL WORLD (2020).

Tiene la capacidad única de hidrolizar urea y, a través de una serie de reacciones, producir iones carbonato. Esto se hace secretando grandes

cantidades de ureasa a través de la membrana celular. Cuando la bacteria se coloca en un ambiente rico en calcita, los iones de carbonato cargados negativamente reaccionan con los iones metálicos positivos como el calcio para precipitar el carbonato de calcio o biocemento. El carbonato de calcio se puede utilizar como un precipitado o se puede cristalizar como calcita para cementar las partículas de arena. Por lo tanto, cuando se coloca en un ambiente de cloruro de calcio, *S. pasteurii* puede sobrevivir ya que son halotolerantes y alcalófilo. Dado que las bacterias permanecen intactas durante las duras condiciones de mineralización, son robustas y tienen una carga superficial negativa, sirven como buenos sitios de nucleación para MICP.

b) *Bacillus Subtilis*.

Es una bacteria gram positiva, Catalasa-positiva, aerobio comúnmente encontrada en el suelo. Miembro del Género *Bacillus*, *B. Subtilis* tiene la habilidad para formar una resistente endospora protectora, permitiéndole tolerar condiciones ambientalmente extremas.

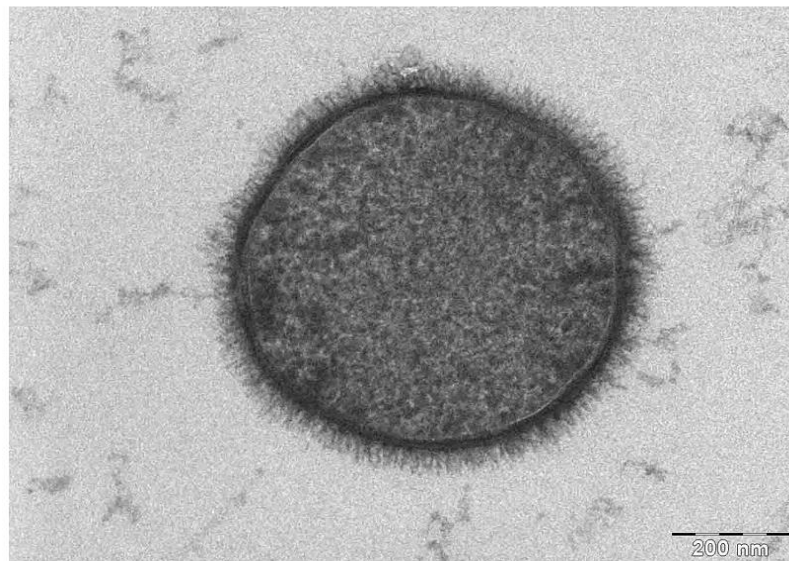


Figura N° 5: *Bacillus Subtilis*

Fuente: Ciudad universitaria de San Isidoro (2014).

Es la mejor estudiada porque no es patógena, es decir no producen enfermedades en los seres vivos, y, se pueden encontrar en el agua, en el suelo, en los vegetales y hasta en el aire; además, tiene forma parecida a una barra con bordes redondeados, donde, hasta hace pocos años se pensaba que este tipo

de bacteria era estrictamente aeróbica, es decir, que necesitaba de oxígeno para poder sobrevivir; sin embargo, las últimas investigaciones acerca de la bacteria *Subtilis*, afirman que pueden sobrevivir en ambientes que no tienen oxígeno, es decir en forma anaeróbicas. (Koustubh, 2016).

c) *Bacillus Megaterium*.

Es una bacteria formadora de esporas , grampositiva , principalmente aeróbica, que se encuentra en hábitats muy diversos. Con una longitud celular de hasta 4  $\mu\text{m}$  y un diámetro de 1,5  $\mu\text{m}$ , *B. megaterium* se encuentra entre las bacterias más grandes conocidas. Las células a menudo se presentan en pares y cadenas, [1] donde las células están unidas por polisacáridos en las paredes celulares, crece a temperaturas de 3 ° C a 45 ° C, con el óptimo alrededor de 30 ° C. Se encontró que algunos aislamientos de un lago geotérmico antártico crecían a temperaturas de hasta 63 ° C.

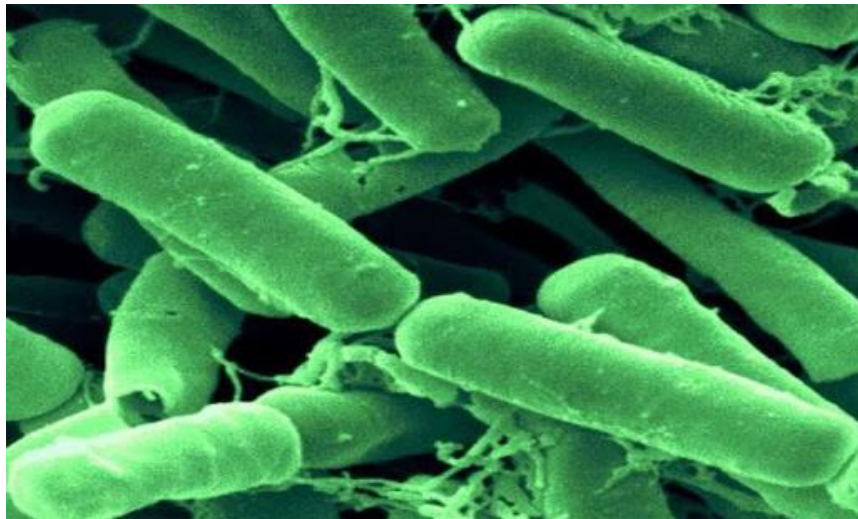


Figura N° 6: *Bacillus megaterium*.

Fuente: FENGHEN GROUP CO. LTDO (2002).

Se ha reconocido como endófito y es un agente potencial para el control biológico de enfermedades de las plantas. Se ha demostrado la fijación de nitrógeno en algunas cepas de *B. Megaterium*, es omnipresente en el entorno que nos rodea. Además de ser una bacteria común del suelo y un endófito , se puede encontrar en varios alimentos (incluida la miel y el polen de abeja, en los que la mayoría de los microorganismos no crecen) y en una variedad de

superficies, incluidas muestras clínicas, cuero, papel, piedra, etc. También se ha aislado de heces de vaca, orugas de polilla emperador y excrementos de polilla de cera.

d) *Bacillus Megaterium*.

Es una bacteria formadora de esporas, grampositiva, principalmente aeróbica, que se encuentra en hábitats muy diversos. Con una longitud celular de hasta 4  $\mu\text{m}$  y un diámetro de 1,5  $\mu\text{m}$ , *B. megaterium* se encuentra entre las bacterias más grandes conocidas. Las células a menudo se presentan en pares y cadenas, [1] donde las células están unidas por polisacáridos en las paredes celulares, crece a temperaturas de 3 ° C a 45 ° C, con el óptimo alrededor de 30 ° C. Se encontró que algunos aislamientos de un lago geotérmico antártico crecían a temperaturas de hasta 63 ° C.

Aunque es típicamente un anaerobio facultativo, *L. sphaericus* puede ser anaeróbica bajo ciertas condiciones de cierta manera, puede presentar mutación y ser progenitora de enfermedades como es el cólera.



Figura N° 7: *Bacillus sphaericus*.

Fuente: Mueller, E, Egan, A, Breukink, E, Vollmer, W, Levin, P (2019).

e) *Bacillus Cereus*.

Es una bacteria perteneciente al género *Bacillus*. Vista al microscopio, es un bastón alargado, gram positivo que es mótil por medio de flagelos peritricos. Las células son de 1,0-1,2  $\mu\text{m}$  en el diámetro x 3,0-5,0  $\mu\text{m}$  de largo. Una

endospora simple puede formarse en posición central o paracentral sin hinchar el esporangio. El organismo esporula libremente en muchos medios bajo condiciones bien aireadas, aunque las células vegetativas pueden crecer anaeróbicamente. *B. cereus* es capaz de utilizar glucosa, fructuosa y trehalosa, pero no las pentosas ni muchos azúcares alcohólicos. La mayoría de las cepas hidroliza activamente el almidón, la caseína y la gelatina.



Figura N° 8: *Bacillus Cereus*.

Fuente: Consulting Health & Safety (2019).

El crecimiento y la multiplicación de las células vegetativas ocurren típicamente dentro del rango de temperaturas de 10-48 °C, mientras que el óptimo se encuentra entre 28-35 °C. Sin embargo, se han identificado variantes psicrótróficas de *B. cereus* en leche cruda y pasteurizada capaces de crecer e iniciar la descomposición a temperaturas tan bajas como 5 °C. El pH óptimo de crecimiento se encuentra entre 4,3 y 9,3. El rango mínimo de actividad del agua para el crecimiento vegetativo es de 0,912-0,950.

f) *Pantoea agglomerans*:

Son bacterias gramnegativas en forma de bastones rectos, anaerobios facultativos y móviles. Pueden descomponer algunos hidratos de carbono como: arabinosa, 13 galactosa, maltosa, manitol, manosa, ramnosa, trealosa y xilosa. *Pantoea* incluye 13 especies, de las cuales *Pantoea agglomerans* se ha logrado aislar con mayor frecuencia de plantas, frutas, vegetales, semillas, agua, suelo, así como de fluidos animales y humanos, sangre, orina, heridas y órganos internos.

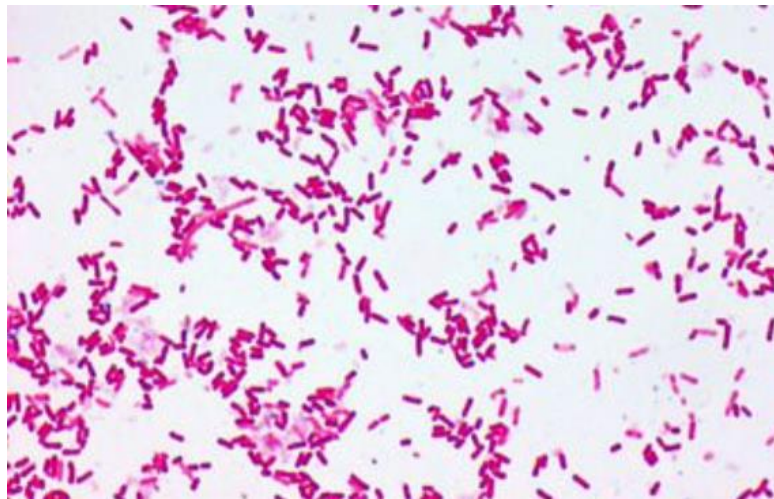


Figura N° 9: *Pantoea agglomerans*.

Fuente: Bioled Lighting (2019).

Los factores ambientales que influyen en el crecimiento y la propagación de *Pantoea agglomerans* incluyen frío invernal, buena exposición al sol y la circulación de aire de calidad. A fin de que los árboles frutales, como manzanos y perales, que son comunes anfitriones *Pantoea agglomerans*, a florecer, es esencial que reciban un período de enfriamiento para revivirlos de su estado latente en la siguiente primavera. En cuanto a la exposición al sol, los árboles frutales en general, crecen mejor en caliente, húmedo y ambientes bien iluminados, por lo tanto, *Pantoea agglomerans* también deben ser capaces de sobrevivir en estas condiciones si se espera para infectar plantas hospederas saludables. Adicionalmente, puesto que *Pantoea agglomerans* es una bacteria aeróbica, se requiere un cierto nivel de circulación de aire con el fin de sobrevivir.

### 2.2.5 Selección de Bacteria

Todas las bacterias son microorganismos que solo tienen una célula, y sólo son visibles al microscopio, la característica más importante de estos microorganismos es su gran capacidad de sobrevivir y habituarse a los ambientes más inhóspitos que pudieran existir, tanto así, que hay estudios acerca de estas bacterias viviendo en cráter de volcanes activos, en climas con temperaturas bajo cero, en desiertos calurosos, entre otros. Estos microorganismos también pueden sobrevivir en el concreto, hoy en día, se conocen varios tipos de bacterias que se pueden utilizar en el concreto, pero todos del género *Bacillus* y demás nombradas antes, todas estas bacterias generan calcita, material que sella los agrietamientos y sirve para el propósito de la presente investigación, pero se eligió al *Bacillus Subtilis*, porque presenta más bondades y, sobre todo, porque no causan enfermedades a los que lo manipulan. (Santos A ,2021).

### 2.2.6 Agente Nutriente

Los medios de cultivo seleccionados por Atlas (2010), además de recopilar los nutrientes recomendados por las colecciones bacteriológicas para el crecimiento y nutrición de las cepas bacterianas, describe de manera sencilla los procedimientos a seguir para su preparación, con una mínima cantidad de sustancias orgánicas y un alto nivel nutricional.



Figura N° 10: Bacteria con agente nutriente.

Fuente: Mendoza, R y Sánchez, Jhon (2017).

En virtud de los anteriores lineamientos, el extracto de levadura es rico en aminoácidos y vitaminas del grupo B; la peptona proporciona fuentes de nitrógeno, hidratos de carbono y aminoácidos; el extracto de carne provee un alto contenido proteico que incluye compuestos nitrogenados, vitaminas, minerales y sales esenciales; la urea es una fuente de carbono que contribuye al proceso de catalización de la enzima ureasa; el cloruro de sodio (NaCl) aporta la salinidad necesaria para el crecimiento y equilibrio osmótico de los microorganismos; el sulfato de amonio  $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$  es una fuente de nitrógeno, mantiene el pH en el medio y promueve las reacciones enzimáticas. Por último, el sulfato de manganeso ( $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) suministra nutrientes e influye en los procesos de esporulación de las cepas bacterianas, indispensable para su reproducción.

#### 2.2.7 Carbonato Calcio

El carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) es uno de los minerales más naturalmente precipitados en la tierra en forma de rocas naturales y existe en ambientes tales como: Agua marina, agua dulce y suelos. La variabilidad de la concentración en la solubilidad del calcio o carbonato en solución provoca la precipitación natural de  $\text{CaCO}_3$ . Incluso el cambio abiótico o la acción biótica (acción microbiana) resulta en la precipitación natural de  $\text{CaCO}_3$ . Se encontró que la precipitación de  $\text{CaCO}_3$  debido al proceso biótico excede al abiótico en la mayoría de los ambientes sobre la tierra. (Hituyan & Valencia, 2020).



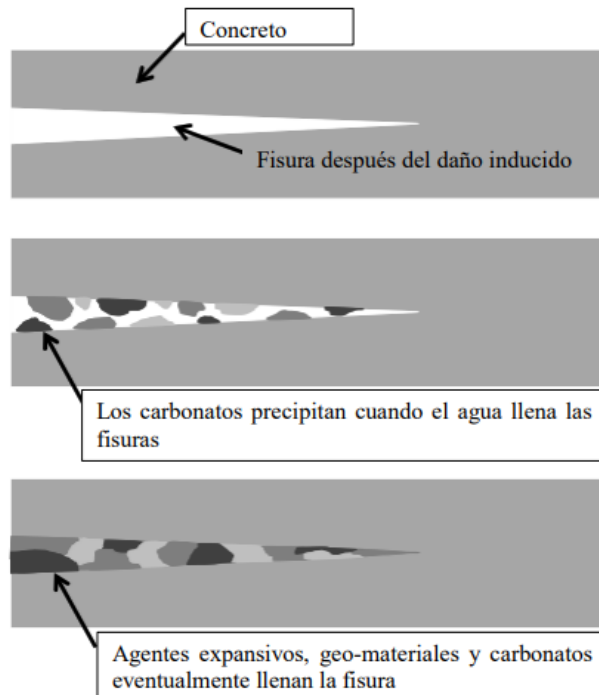


Figura N° 11: Proceso de autorreparacion por carbonato de calcio.

Fuente: Hituyan & Valencia (2020).

### 2.2.8 Pavimentos Hidráulico

Wilder Luna (2017). Define que pavimento rígido consiste básicamente en una losa de concreto simple o armado, apoyada directamente sobre una base o Sub-base. La losa, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento lo que produce una buena distribución de las cargas de rueda, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante. Se compone de losas de concreto hidráulico que en algunas ocasiones presenta un armado de acero, tiene un costo inicial más elevado que el flexible, su periodo de vida varía entre 20 y 40 años; el mantenimiento que requiere es mínimo y solo se efectúa (comúnmente) en las juntas de las losas y por eventos emergentes.



Figura N° 12: Sección transversal de pavimento hidráulico.

Fuente: Inciarte M, Carmen (2012).

Los pavimentos rígidos o hidráulicos como se les conoce también, defieren de los pavimentos de asfalto o flexibles, en que poseen una resistencia considerable a la flexión, además de que se ven considerablemente afectados por los cambios de temperatura. Los pavimentos rígidos están sujetos a los siguientes esfuerzos:

- Esfuerzos abrasivos causados por las llantas de los vehículos.
- Esfuerzos directos de compresión y cortadura, causados por las cargas de las ruedas.
- Esfuerzos de compresión y tensión que resultan de la deflexión de las losas bajo las cargas de las ruedas.
- Esfuerzos de compresión y tensión causados por la expansión, contracción del concreto y por efectos de los cambios de temperatura.

a) Tipos:

Del Carmen, Giselle (2017), define los siguientes tipos de pavimentos:

- Pavimento de concreto simple con juntas: En este tipo de pavimentos se requiere realizar juntas de contracción transversal que varían entre 3.5 y 6.0 m. La transferencia de carga entre paños adyacentes se puede dar mediante trabazón de agregados o mediante el empleo de pasadores. Las juntas inducen el agrietamiento propio del comportamiento del concreto por las tensiones originadas por los cambios de temperatura y humedad. Se recomienda no exceder los 4.5 m.

- Pavimento de concreto armado con barras transversales: La carpeta de rodadura es de concreto reforzado con mallas de acero, las que permiten incrementar la distancia entre juntas llegando a valores entre 7.5 y 9.0 m. Aunque tiene refuerzo moderado de acero siempre se espera que se produzcan fisuras controladas dentro de los paños. La transferencia de carga entre paños adyacentes se realiza mediante la trabazón de agregados o el empleo de pasadores.
- Pavimentos de concreto continuamente reforzados: Pavimentos de concreto continuamente reforzados. Las tensiones son controladas por una armadura de acero. Se espera la aparición de fisuras controladas a lo largo de todo el pavimento, distanciadas entre 0.6 y 2.0 m.

b) Fallas:

Para Godoy, A & Ramírez, R.(2006) los Tipos de los pavimentos pueden ser de orden funcional o estructural. Las fallas funcionales afectan a la comodidad en la circulación, las estructurales ponen en riesgo la integridad de la estructura, lo que a su vez repercute negativamente en la situación funcional.

Las fallas en los pavimentos rígidos se clasifican en cuatro grupos:

- Los deterioros en juntas afectan al desempeño del pavimento por ser las juntas las zonas de unión entre las diversas losas. En este grupo podemos encontrar deficiencias del sellado y saltaduras.
- Los agrietamientos pueden ser transversales, longitudinales o de esquina. Cualquier grieta es signo de un esfuerzo que el hormigón no ha podido soportar. Se convierten en discontinuidades en las losas que alteran su respuesta a las sollicitaciones.
- Los deterioros superficiales más comunes son descascaramientos, pulido de agregados y fisuración tipo malla. Son deterioros funcionales.
- En el último grupo encontramos fallas como levantamientos localizados (blowups), escalonamientos en juntas y grietas, bombeo, baches y fragmentación múltiple. Esta última corresponde al máximo nivel de degradación estructural que puede alcanzar un pavimento rígido.

c) Técnicas de reparación:

El proceso de reparación de pavimentos de concreto consta de las siguientes etapas:

Evaluación del nivel de daño del pavimento: El primer paso para generar un proceso de reparación exitoso es determinar el nivel de afectación del pavimento, si el deterioro es superficial, es decir menor a un tercio de la profundidad de la losa, o si es total, es decir que la profundidad del daño supera esta dimensión. Cuando el deterioro es solo superficial se habla de una reparación a profundidad parcial, contrario a esto, cuando se tiene un nivel de afectación superior, se habla de una reparación a profundidad total. Cuando se inician los trabajos de reparación es posible que la extensión real del deterioro sea mayor al área visiblemente afectada, esto se debe a que pueden existir áreas que ya se encuentra debilitadas pero que aún no se han descascarado, estas zonas deben ser reparadas durante las labores de mantenimiento para evitar un daño prematuro de la reparación.

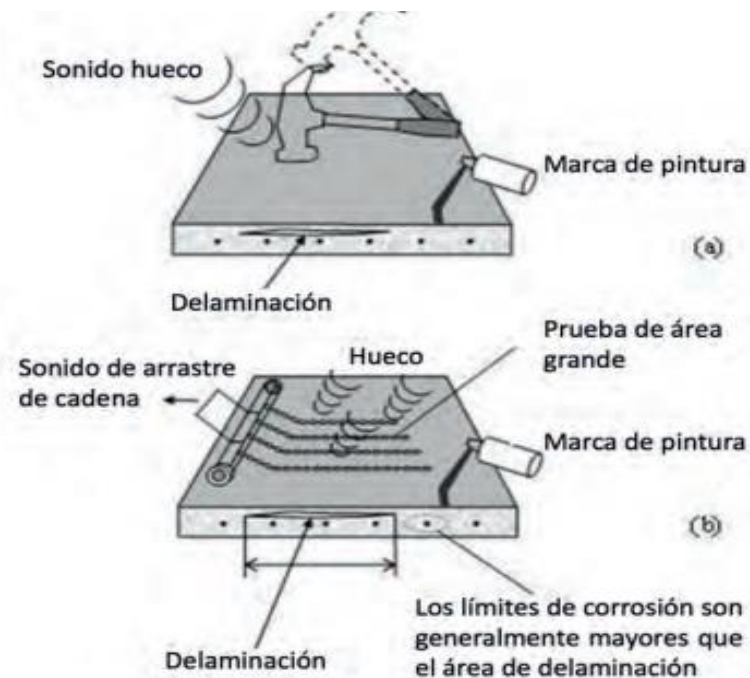


Figura N° 13: Evaluación del daño en pavimento rígido.

Fuente: Guía de reparación de pavimentos rígidos (2017).

Reparación a profundidad parcial.

- Definir los límites de reparación.
- Preparación del área a reparar.
- Preparación de las juntas.

- Colocación del material de reparación.
- Curado.
- Sello de juntas.

Reparación a profundidad total.

- Definir los límites de reparación.
- Preparación del área a reparar.
- Preparación de las juntas de aislamiento
- Colocación del concreto de reparación.
- Vías Urbanas.

El Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial (2006), define las vías urbanas arterias o calles conformantes de un centro poblado, que no forman parte del Sistema Nacional de Carreteras las que se reglamentan por ordenanzas de los gobiernos locales.

d) Clasificación:

Manual de diseño geométrico de vías urbanas (2005), El sistema de clasificación planteado es aplicable a todo tipo de vías públicas urbanas terrestres, ya sean calles, jirones, avenidas, alamedas, plazas, malecones, paseos, destinados al tráfico de vehículos, personas y/o mercaderías; habiéndose considerado los siguientes criterios:

- Funcionamiento de la red vial.
- Tipo de tráfico que soporta.
- Uso del suelo colindante (acceso a los lotes urbanizados y desarrollo de establecimientos comerciales).
- Espaciamiento (considerando a la red vial en su conjunto).
- Nivel de servicio y desempeño operacional.
- Características físicas.
- Compatibilidad con sistemas de clasificación vigentes.

e) Funcionamiento de la red vial:

La clasificación adoptada considera cuatro categorías principales: Vías expresas, arteriales, colectoras y locales. Se ha previsto también una categoría adicional denominada “vías especiales” en la que se consideran incluidas aquellas que, por sus particularidades, no pueden asimilarse a las categorías principales. La clasificación de una vía, al estar vinculada a su funcionalidad y

al papel que se espera desempeñe en la red vial urbana, implica de por sí el establecimiento de parámetros relevantes para el diseño como son:

- Velocidad de diseño.
- Características básicas del flujo que transitara por ellas.
- Control de accesos y relaciones con otras vías.
- Número de carriles.
- Servicio a la propiedad adyacente.
- Compatibilidad con el transporte público.
- Facilidades para el estacionamiento y la carga y descarga de mercaderías.

#### 2.2.9 Condición en el Perú.

Asocem (2016). En la actualidad, la ingeniería vial viene avanzando a grandes pasos a nivel de investigación y aplicación de nuevas tecnologías y justo a ello el desarrollo de proyectos de infraestructura que buscan dar acceso a la población al transporte competitivo y sostenible, que permite que los diferentes centros urbanos y rurales se integren logrando el progreso de nuestro país. Esto lo podemos apreciar en las construcciones de las nuevas carreteras, caminos vecinales y apertura de trochas, expansiones urbanas y demás proyectos viales que se vienen ejecutando.

Sin embargo, los servicios públicos y los presupuestos para el mantenimiento y desarrollo de infraestructura no siempre han acompañado ese crecimiento, ello se puede percibir en algunas carreteras en mal estado y los pavimentos urbanos que se encuentran muchas veces descuidados.

Si damos un vistazo al estado de nuestras carreteras y caminos vecinales en cuanto a su estado actual pavimentado, nos enfrentamos a un alto déficit de vías pavimentadas, lo que nos hace reflexionar en cuanto al rol de la gestión del gobierno y la adecuada evaluación de las diferentes alternativas que existen para pavimentar estas vías, ya que las infraestructuras y los servicios de transporte deben cumplir con ser eficientes, rentables, confiables y ecológicamente sostenibles.



Figura N° 14: Estado de red vial del país.

Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2015).

#### 2.2.10 Experiencias del uso de concreto autorreparable.

Aplicación de campo en Ecuador, Sierra, Walter (2015). La aplicación de hormigón autorreparable en Ecuador se planificó para julio de 2014. Se seleccionó un tramo de canal que no tuviera aun recubrimiento de hormigón. El tramo seleccionado se encuentra a una altura de aproximadamente 2900 m.s.n.m. Se colarían dos tramos de canal, de tres metros lineales de longitud cada uno. Un tramo tendría hormigón autorreparable con arcillas expandidas impregnadas con bacterias y alimento para las bacterias y el otro tramo tendría hormigón con arcillas expandidas sin impregnar. En lugar de cemento Portland ordinario se utilizó cemento con un alto contenido de puzolanas. Adicionalmente, se cambió el superplastificante por uno disponible comercialmente en Ecuador. Debido a la presencia de fibras en la mezcla, es necesario utilizar una pequeña cantidad de superplastificante, a fin de asegurar la distribución uniforme de las fibras en la mezcla y la trabajabilidad de la misma. Tres días después de colado el hormigón se retiró el encofrado. No hubo evidencia de segregación del agregado ligero, así como tampoco se notaron fibras naturales expuestas en la superficie del canal. Dos días después se reabrió el flujo de agua en el canal. Seis meses después, en la última

inspección realizada por los investigadores de la UCSG no se registraron ni agrietamientos ni efectos de deterioro en el hormigón autorreparable.



Figura N° 15: Aplicación de bioconcreto en canales de regadío.

Fuente: Guadalupe, Walter.

### 2.3 Definición de términos básicos:

- Ureasa: La ureasa es una enzima que se activa con la interacción de dos átomos de Ni. Una reacción catalizada por esta enzima es la hidrólisis de urea, esta influye en la precipitación del carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ). (Nicolas Giraldo Mora, 2017).
- Precipitación de carbonato de calcio: Corresponde a una nucleación heterogénea sobre la pared de la célula bacteriana una vez que se ha alcanzado la sobresaturación del sistema. (Páramo, Narváez, & Ortega, 2015).
- *Sporosarcina pasteurii*: Es un tipo de bacteria que son usadas o aplicadas para evaluar el proceso de precipitación de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ). (Nicolas Giraldo Mora, 2017).
- Mineralización: El proceso de fosilización por el cual minerales disueltos en agua, como carbonato de calcio (calcita), óxido de hierro (hematite o limonita) o sílice (cuarzo), reemplazan el material orgánico de un organismo que ha muerto y que estuvo enterrado bajo los sedimentos portadores de los minerales que lo han mineralizado.



- Fisura: Las fisuras que se encuentran en los pavimentos hidráulicos, son roturas que se encuentran en la superficie del concreto, por causa de que actúan tensiones mayores a su capacidad de resistencia, que se forma en el material mismo por retracciones térmicas o hidráulicas o entumecimientos que se presentan regularmente en las superficies libres. (Argos,2020).
- Bacteria: Es el organismo unicelular más pequeño entre 0,5 y 5  $\mu\text{m}$  de longitud, se encuentran entre las formas de vida más antiguas conocidas en el planeta, hay miles de tipos de bacterias diferentes y pueden vivir en todos los medios y ambientes imaginables.
- Bacillus: Llegan a formar endoesporas, estas endoesporas son un estado latente de la bacteria, que puede soportar el ambiente altamente alcalino que se forma al momento de la producción y fraguado del concreto, además en este estado, dependiendo de las condiciones ambientales, pueden llegar a sobrevivir de 50 hasta 200 años. (Jonkers, Thijssen, Muyzer, Copuroglu, Schlangen, 2010).
- Lactato de calcio: El Lactato de Calcio es una sal que consta de dos aniones de lactato ( $\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3$ ) por cada catión de calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ). Es una de las principales fuentes de calcio que se usa como suplemento de calcio con fines médicos. (REACH Parlamento Europeo, 2015)
- Urea: La urea es un compuesto químico cristalino e incoloro Se encuentra en mayor proporción en la orina, en el sudor y en la materia fecal. Es el principal producto terminal del metabolismo de las proteínas en los mamíferos (Wikipedia, 2021).
- Fosfato potasico: Es una sal altamente soluble en agua que se utiliza a menudo como fertilizante, aditivo alimentario y agente tampón. Es una fuente común de fósforo y potasio.(Libro del Web de Química del NIST, 2020).
- Glucosa: Es una forma de azúcar que se encuentra libre en las frutas y en la miel.(Libro del Web de Química del NIST, 2020).
- Gram positiva: Son aquellas bacterias que se tiñen de azul oscuro o violeta por la tinción de Gram. Esta característica química está íntimamente ligada a la estructura de la envoltura celular, por lo que refleja un tipo natural de organización bacteriana. Son uno de los principales grupos de bacterias, y cuando se tratan como taxón se utiliza también el nombre de Posibacteria.

- Tinción de gram: es un tipo de tinción diferencial empleado en bacteriología para la visualización de bacterias, sobre todo en muestras clínicas. Se utiliza tanto para poder referirse a la morfología celular bacteriana, como para poder realizar una primera aproximación a la diferenciación bacteriana, considerándose bacterias grampositivas a las que se visualizan de color morado, y bacterias gramnegativas las que se visualizan de color rosado y rojo.

## **CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS**

### **3.1 Hipótesis**

#### **3.1.1 Hipótesis General**

Con la aplicación del concreto hidráulico autorreparable con bacterias se mejora el pavimento hidráulico en vías urbanas.

#### **3.1.2 Hipótesis Específicas**

- a) Con la determinación de los métodos que se utilizan en la autorreparación del concreto hidráulico, mejora la interacción del pavimento hidráulico con la bacteria.
- b) Con la adición de bacterias se efectiviza la autorreparación del concreto hidráulico para su mejoramiento del pavimento hidráulico en vías urbanas.
- c) La adición de bacterias mejora el comportamiento a compresión, tracción y flexión en el concreto hidráulico para pavimentos en vías urbanas.
- d) Existe un mayor valor de costo en la elaboración del concreto hidráulico con bacterias en la aplicación del pavimento hidráulico en vías urbanas.

### **3.2 Variables**

#### **3.2.1 Definición conceptual de las variables**

- a) Variable independiente: Concreto hidráulico autorreparable.

Es una mezcla de agregados naturales, procesados o artificiales, cemento y agua introduciendo en estas cepas de una bacteria microscópica diseñada sintéticamente para al producirse una fisura esta tenga la capacidad de auto repararse.

- b) Variable dependiente: Propiedades del concreto hidráulico.

Son condiciones o características del concreto hidráulico que se pueden determinar en laboratorios y mediante ensayos.

### 3.2.2 Operacionalización de las variables

Tabla 7: Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Índices	Unidad de medida	Escala	Instrumento
Variable Independiente: Concreto hidráulico autorreparable	Es una mezcla de agregados naturales, procesados o artificiales, cemento y agua introduciendo en estas cepas de una bacteria microscópica diseñada sintéticamente para al producirse una fisura esta tenga la capacidad de autorepararse.	Pruebas de autoreparacion realizadas con los diferentes métodos y análisis; y pruebas de concretos con diferentes cantidades de bacterias.	Material autorreparador	Contenido de bacterias	Unidad	adimensional	Cuantitativa continua	Guías de observación de laboratorio de investigaciones, tesis, artículos.
				Métodos de autoreparacion	Unidad	adimensional	Cualitativa	Recopilación de investigaciones experimentales.
				Efectividad de autoreparacion	Unidad	adimensional	Cualitativa	Registros de resultados de ensayos de formatos de control de llenado operación de fisuras.
Variable dependiente: Propiedades del concreto hidráulico	Son condiciones o características del concreto hidráulico que se pueden determinar en laboratorios y mediante ensayos.	Procedimiento experimental a través de pruebas de laboratorio y ensayos a compresión, tracción y flexión, pruebas empíricas con resultados satisfactorios.	Pruebas de resistencia	Resistencia a compresión	kg/cm <sup>2</sup>	Kilogramo por centimetro cuadrado	Cuantitativa continua	Formatos de evaluación de resistencia a la compresión según normativa ASTM C39
				Resistencia a tracción	kg/cm <sup>2</sup>	Kilogramo por centimetro cuadrado	Cuantitativa continua	Formatos de evaluación de resistencia a la compresión diametral según normativa ASTM C496
				Resistencia a flexión	kg/cm <sup>2</sup>	Kilogramo por centimetro cuadrado	Cuantitativa continua	Formatos de evaluación de resistencia a la flexión según normativa ASTM C78

Fuente: Elaboración propia

## **CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **4.1 Tipo y nivel**

#### **4.1.1 Método de investigación**

El método de estudio es deductivo, ya que partiremos de investigaciones realizadas en diferentes países para poder corroborar si es factible utilizar el concreto autorreparable con bacterias para su aplicación en vías urbanas para nuestro país.

#### **4.1.2 Orientación de investigación**

La orientación de nuestra investigación es aplicada, ya que partiendo de investigaciones anteriores buscamos dar una alternativa para la reparación autónoma de concretos hidráulicos para la aplicación en vías urbanas.

#### **4.1.3 Enfoque de investigación**

El enfoque de investigación es cuantitativo ya que se basa en la recopilación de información de datos de ensayos de laboratorio para ver la influencia del aditivo bacteriano en las propiedades del concreto hidráulico.

#### **4.1.4 Fuente de información**

Nuestra fuente de recolección de datos es retrolectiva, ya que iremos reuniendo información de fuentes existentes como informes, trabajos de grados y documentos realizados para validar este método innovador.

#### **4.1.5 Tipo de investigación**

El tipo de estudio es descriptivo, ya que pretende especificar y definir la implementación de un método innovador para la aplicación de concreto hidráulicos autorreparables en vías urbanas.

#### **4.1.6 Nivel de la investigación**

El nivel de la investigación es explicativo ya que su finalidad es explicar el proceso de autorreparación con bacterias, el nivel de la investigación es descriptivo ya que su finalidad es describir la eficacia del aditivo bacteriano en la mejora de las propiedades del concreto hidráulico. el nivel de la investigación es aplicativo ya que su finalidad es aplicar este método de reparación autónoma de concretos hidráulicos para su uso en vías urbanas.

### **4.2 Diseño de investigación**

Según el propósito del estudio No Experimental ya que no se realizará estudios de laboratorio, según número de mediciones es transversal. La variable de estudio es

medida en una sola ocasión y el tiempo que ello tome es indiferente, Según cronología de las observaciones es retrospectivo ya que usaremos datos recolectados con anterioridad que serán utilizarlos para poner a prueba las conjeturas.

#### 4.3 Población y muestra

##### 4.3.1 Población del estudio

La investigación es de aplicación para todas las vías urbanas del Perú.

##### 4.3.2 Diseño Muestral

Nuestra muestra es no paramétrica y son las vías urbanas para la ciudad de Lima.

#### 4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

##### 4.4.1 Tipos de técnicas e instrumentos

###### a) Fuentes

- Fuentes secundarias para recolección de la información: Para el desarrollo del trabajo final se dispuso de fuentes primarias recolectadas de forma selectiva; entre las que se resaltan las diferentes tesis de grado de Colombia, Chile y otros países; también nacionales realizadas en Cajamarca, Tarapoto, etc. Normas técnicas nacionales e internacionales, artículos académicos y artículos científicos.
- Fuentes primarias para recolección de la información: Por la coyuntura del país es trabajo de investigación ha sido netamente realizado con recolección de información de fuentes secundarias.

##### 4.4.2 Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos

###### b) Validez.

Verificar que los diferentes resultados de las diversas investigaciones tengan cierta relación permiten este tenga validez, en función de los datos que se han obtenido otorgara confiabilidad en la presente investigación.

###### c) Confiabilidad.

La información es confiable al ser tomadas de fuentes citadas y acreditadas correctamente, esto con el fin de darle una confiabilidad y validez correcta.

##### 4.4.3 Procedimientos para la recolección de datos

###### a) Búsqueda y selección de documentos.

Para poder responder al tema de investigación, se implantaron como criterios para la búsqueda: artículos académicos y tesis de grado que tengan diferentes metodologías para poder analizar y elegir cual es la más óptima de aplicar para la autorreparación de fisuras en concretos y también que incluyan información de técnicas o pruebas que presenten mejoras en la resistencia y la durabilidad del concreto.

b) Selección de documentos.

Se eligieron documentos que aportaron al desarrollo de la problemática de nuestra investigación, los documentos encontrados que fueron escasos, son de distintos países como: China, Colombia, Ecuador, Chile, Perú, Holanda entre los años 2010 al 2020.

#### 4.5 Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

Recolección de publicaciones, tesis, artículos y ensayos especializados sobre microbiología para poder saber las características de las bacterias a utilizar, recolección de publicaciones, tesis, artículos y ensayos especializados sobre concretos autorreparables o bioconcreto y recolección de Informes sobre ensayos de laboratorio de concreto con la adición de bacterias.

## CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.

### 5.1 Obtención de la cepa bacteriana

#### 5.1.1 Muestreo bacteriano

La recolección de material necesario para la obtención de las cepas bacterianas, pueden ser muestras de tierra, rocas, plantas, restos de desmonte de obras, etc. Hay varios tipos de bacterias que se pueden encontrar como *Bacillus pasteurii*, *Escherichia Coli*, *Bacillus Simplex*, *Bacillus Sphaericus*, *Bacillus Subtilis*, *Bacillus cereus*, *Bacillus Cohnii*, *Bacillus Halodurans*, *Bacillus Pseudiformis*, *Pantoea Agglomerans*, *Sporosarcina pasteurii*, etc. En su mayoría el nivel de seguridad no es de riesgo, es decir algunas no son patógenas para el ser humano y son comunes en el medio ambiente.



Figura N° 16: Recolección de muestras *para obtención de cepas*.

Fuente: Asenjo, Dennis (2019).

En el artículo, La bioprecipitación de carbonato de calcio por la biota nativa como un método de restauración (2015), en la ciudad de México, en el Museo Nacional de Historia Castillo de Chapultepec, dentro de un bosque del mismo nombre se tomaron muestras considerando los diferentes aspectos climatológicos que interfieren en la formación de biopelículas (Capa de bacterias u otros microbios que crecen y se adhieren a la superficie de una estructura): exposición a la luz solar, temperatura, incidencia del aire, humedad, además de la contaminación ambiental presente en los alrededores del castillo. Para el aislamiento e identificación de microorganismos se eligieron 3 puntos del museo: Biopelícula localizada a en el punto I a 100



metros de la entrada principal al Castillo en cimientos enterrados; Biopelícula localizada en el punto II, ubicado a 150 metros de la entrada principal al Castillo en cimientos superficiales mostrando biomineralización y biopelícula localizada en el punto III en un monumento al interior del Castillo en el que se muestran zonas fracturadas, ejemplo de ello se encontraron cepas bacterianas de diferentes tipos, entre las que se destacan los microorganismos del género *Bacillus*.



Figura N° 17: Zonas de obtención de cepas.

Fuente: Paramo, Narváez y Ortega (2015).

Tabla 8: Muestras de cepas bacterianas encontradas en los puntos I, II Y III.

Bacterias	Muestra		
	I	II	III
<i>Bacillus subtilis</i>	X	X	X
<i>Bacillus simplex</i>			X
<i>Bacillus cereus</i>		X	
<i>Bacillus megaterium</i>			X
<i>Pantoea agglomerans</i>	X	X	

Fuente: Propia.

### 5.1.2 Aislamiento de bacteria

Una vez obtenida la muestra, en el Laboratorio de Microbiología, con la finalidad de aislar bacterias para ser sometidas a una serie de pruebas de identificación bacteriana, se colocan en frascos y se ponen a hervir cada frasco con el fin de conservar solo aquellas bacterias termófilas, es decir que

sobrevivan a ambientes hostiles, hasta encontrar una cantidad considerable de cepas para su posterior identificación. Para realizar el trabajo de aislamiento bacteriano.



Figura N° 18: Frascos estériles hirviendo para eliminar bacterias no resistentes a altas temperaturas.

Fuente: Asenjo, Dennis (2019).



Figura N° 19: Agar nutritivo utilizado para la preparación de placas de cultivo Petri.

Fuente: Grupo JAFS (2021).

Terminada la preparación del medio de cultivo y servido en placas se procede a sembrar la suspensión bacteriana y se incubo por un periodo de 24 horas, luego se seleccionan aquellas cepas bacterianas que presentaban endospora mediante el proceso de coloración como se describe a continuación.

- Se coloca sobre un portaobjetos una gota de agua y una pequeña porción de un cultivo bacteriano con el asa de siembra estéril.
- Se hace el frotis, formando una película homogénea sobre el portaobjetos con el asa de siembra y luego se deja secar.
- Se fija la preparación, pasando a través de la llama del mechero el portaobjetos.
- Se cubre con unas gotas de verde malaquita y se aplica calor con un hisopo de lana de vidrio lo cual se mantuvo por 5 minutos desde el comienzo de la emisión de vapores.
- Se lava el exceso de colorante con agua y alcohol cetona.
- Se cubre con el colorante de contraste, safranina durante 1 minuto.

- Se lava el exceso de colorante con agua.
- Se deja secar al aire.
- Se añade una gota de aceite de inmersión.
- Finalmente, se procede a observar en el microscopio con un aumento de 100x.



Figura N° 20: Esterilización del aza circular para el sembrado en placas Petri.

Fuente: Asenjo, Dennis (2019).

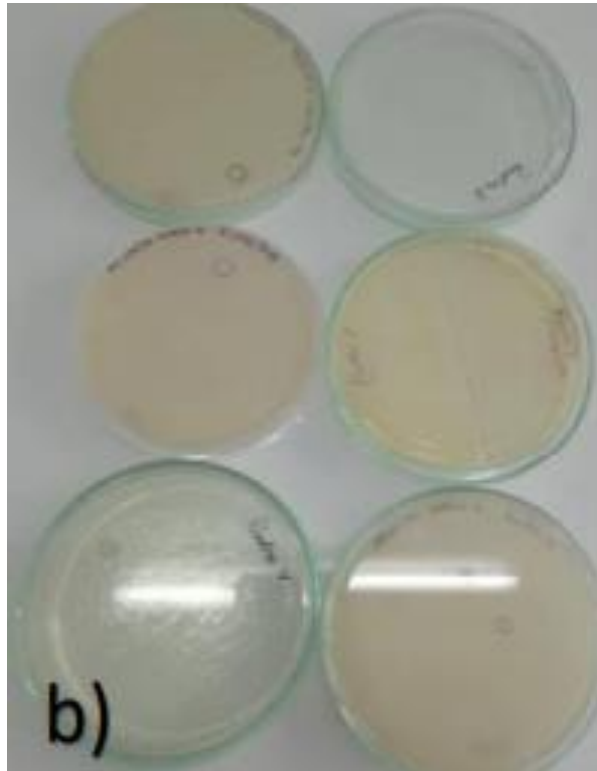


Figura N° 21: Placas luego la incubación (24 horas), preparadas para la prueba de coloración de endospora.

Fuente: Asenjo, Dennis (2019).



Figura N° 22: proceso de adición de verde malaquita, alcohol cetona y safranina.

Fuente: Asenjo, Dennis (2019).



Figura N° 23: Flameado de láminas y análisis en microscopio de endosporas.  
Fuente: Asenjo, Dennis (2019).

Concluyentemente en esta etapa se seleccionaron algunas cepas bacterianas con presencia de endosporas para su identificación, las mismas que se muestran en las siguientes fotografías:

Figura microscópica se puede identificar para investigación de Asenjo, Dennis una bacteria del género bacillus Firmus y Bacillus Subtilis.

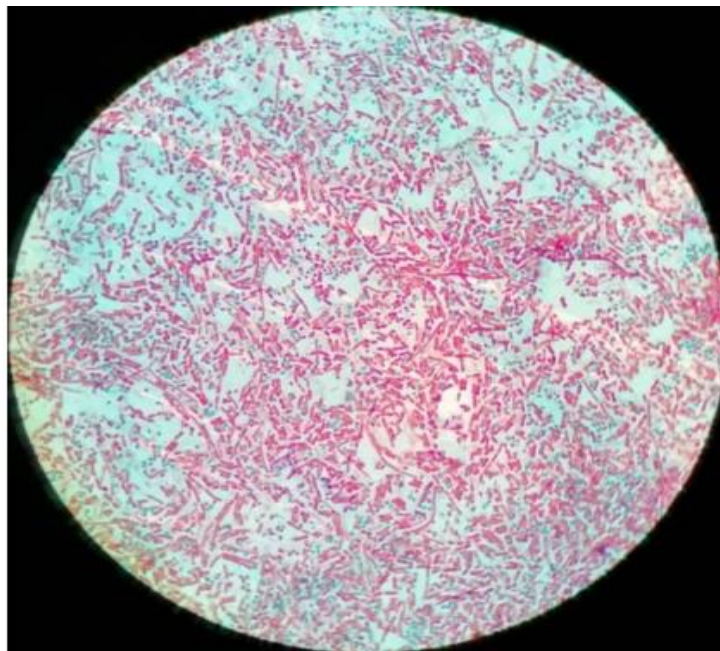


Figura N° 24: Esporas de Bacillus Firmus en microscopio(100x).  
Fuente: Asenjo, Dennis (2019).

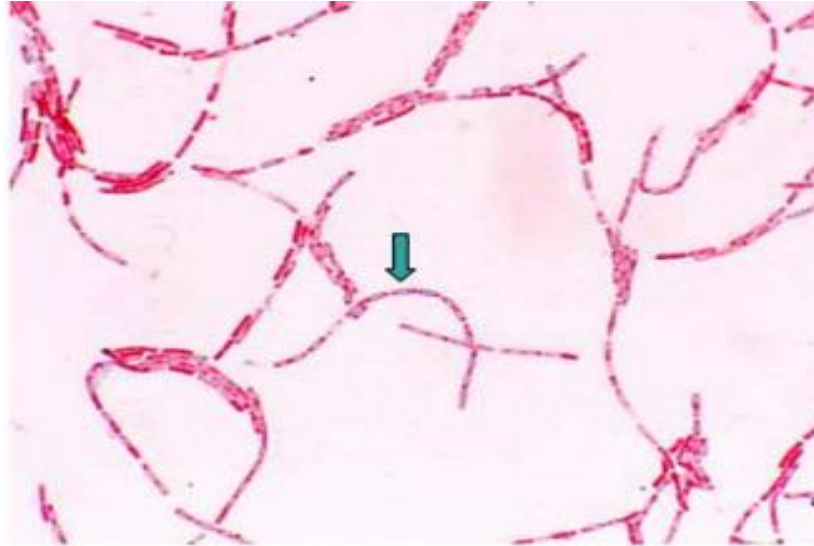


Figura N° 25: Esporas de Bacillus Subtilis en microscopio(100x).

Fuente: Asenjo, Dennis (2019).

### 5.1.3 Prueba de ureasa y bioprecipitación de cristales de carbonato de calcio a las bacterias.

#### a) Prueba de ureasa:

El principio de esta prueba es determinar la capacidad de un microorganismo de hidrolizar la urea en dos moléculas de amoníaco por la reacción de la enzima ureasa, con la resultante alcalinidad (MacFaddin, 2003). El color del medio es rosado y su indicador es el rojo fenol. En este medio se observa la capacidad de la bacteria para degradar la urea por medio de la enzima ureasa formando amoníaco y carbonato de amonio, este último producto alcaliniza el medio, por lo cual el rojo de fenol (indicador de pH) vira a un rojo cereza, nos indica que bacteria reacciona mejor a la temperatura, presencia de sales y toxinas ambientales.

Para el desarrollo de la prueba de ureasa se prepararon 150 ml de un medio de cultivo por 3g de medio de fermentación conteniendo rojo fenol como indicador, urea 3 g, 0.3g de fosfato potásico monobásica, 0.15 g de glucosa con 2.4 g de agar.





Figura N° 26: Rango de coloración para determinar prueba ureasa.

Fuente: Laboratorio Microanálisis Ltda. (2017).

Algunas bacterias a las 16 horas de incubación ya muestran la presencia de ureasa y otras como *Bacillus Subtilis*, *Bacillus Simplex* lo hacen hasta los cinco días de incubación.

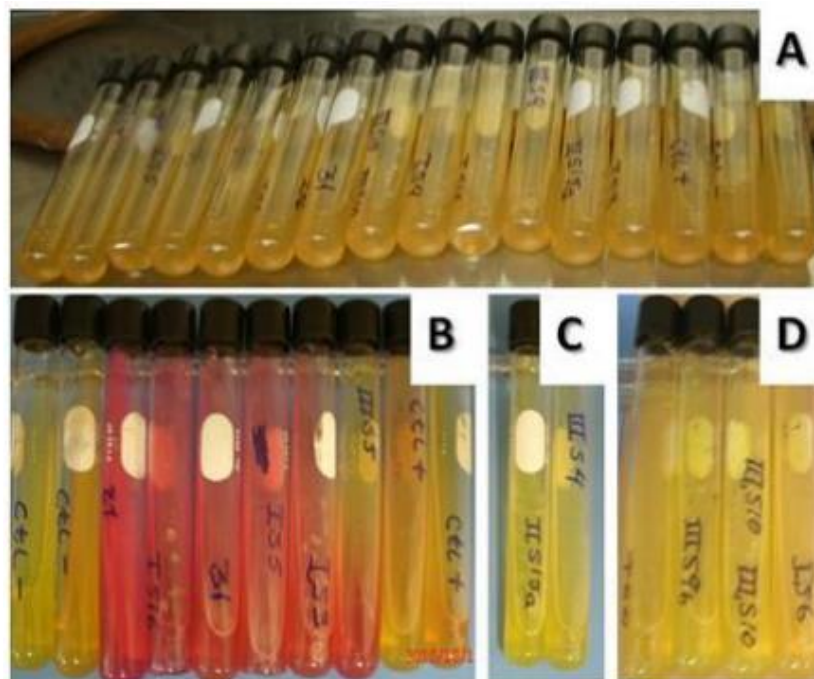


Figura N° 27: Resultados de prueba ureasa

Fuente: Paramo, Narváez y Ortega (2015).

A: Tubos de ensayo con cepas bacterianas y medio de cultivo preparado para prueba ureasa.

B: Prueba a los 8 días de incubación, se ve la coloración rojisa que es positivo a ureasa.

C: Cepas bacterianas que muestran crecimiento bacteriano sin embargo no presencia aun no de ureasa.



D: Muestras de cultivo que no crecieron y no mostraron presencia de ureasa a los 8 días de inoculación.

b) Prueba de bioprecipitación de cristales de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ): Esta prueba se desarrolla paralelamente a la prueba de ureasa. Para ello, las 12 cepas seleccionadas se inocularon por quintuplicado en placas de Petri con agar y medio de cultivo, suplementadas con 0,2% de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Terminado el proceso de siembra, las cepas bacterianas se incubaron a  $30^\circ\text{C}$  durante un periodo de 22 días, tiempo durante el cual se observó la precipitación de cristales de calcita mediante pruebas de microscopía de luz en cada uno de los aislados. Posteriormente se inició el proceso de obtención de cristales de calcita para cada uno de los aislados bacterianos.

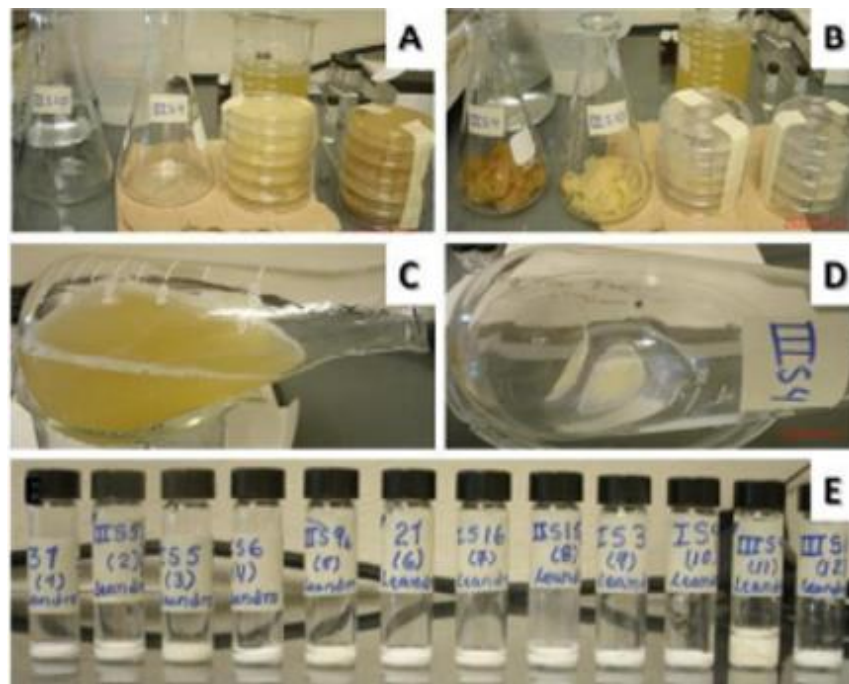


Figura N° 28: Proceso de obtención de cristales de calcita.

Fuente: Paramo, Narváez y Ortega (2015).

A: Se Inicia el proceso de cosecha de cristales.

B: Se transfiere de la cosecha al matraz Erlenmeyer.

C: Se pone a reposar el agar fundido y precipitación.

D: Se lavan los cristales con agua destilada.

E: Y se tienen los cristales listos para análisis posteriores.

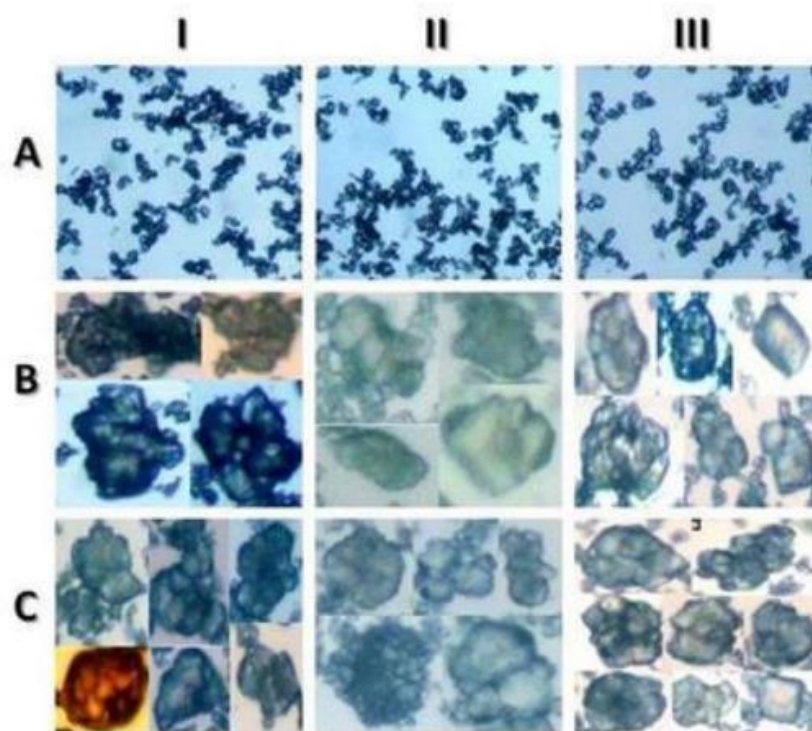


Figura N° 29: Imágenes microscópicas de cristales de carbonato de calcio provenientes de las cepas bacterianas.

Fuente: Paramo, Narváez y Ortega (2015).

De acuerdo con la Figura anterior, la observación microscópica permite evidenciar que, a los 15 y 22 días, las tres cepas bacterianas que presentaron mejores resultados en la formación de biopelículas corresponden a las cepas BI y CI: *Bacillus Subtilis*, BII y CII: *Bacillus cereus* y BIII y CIII: *Bacillus Subtilis*.

Es verdad que se observaron cristales de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) de distintos tamaños y colores, pero es cierto que no se evidenciaron grandes diferencias entre los cristales durante el transcurso del ensayo a diferencia de lo que, si se observa con las AI, AII Y AIII (Muestras de control sin inocular).

#### 5.1.4 Preparación del medio de cultivo.

Se realiza una mezcla caldo de cultivo (Se utilizan las peptonas, los extractos de carne y de levadura ya que se utilizan preferentemente como fuente de nitrógeno, fósforo y azufre orgánicos) con agua destilada y se lleva ebullición y se deja enfriar, luego se realiza una esterilización por autoclave a  $121^\circ\text{C}$  por 15 min, luego para la disminución de la temperatura se realiza un baño a  $45^\circ\text{C}$

por 30 min, finalizada la esterilización de los caldos de cultivo por autoclave fueron llevadas a una cámara de flujo laminar para ser esterilizadas con rayos UV.



Figura N° 30: Transferencia de los medios de cultivo a placas Petri y tubos de ensayo.

Fuente: Mendoza, R & Sánchez, J (2017).

Luego, se vertió 20 mL de agar en las placas Petri estériles. Todo ello dentro de una cabina de flujo laminar y en el radio de esterilidad del mechero, flameando bien la boca de la botella graduada para evitar las contaminaciones.



Figura N° 31: Transferencia de los medios de cultivo a placas Petri y tubos de ensayo.

Fuente: Mendoza, R & Sánchez, J (2017).

Los medios ya esterilizados, no se exponen al ambiente, para evitar su contaminación. Estos solo fueron abiertos en condiciones de cabina de flujo laminar en el momento de su uso.

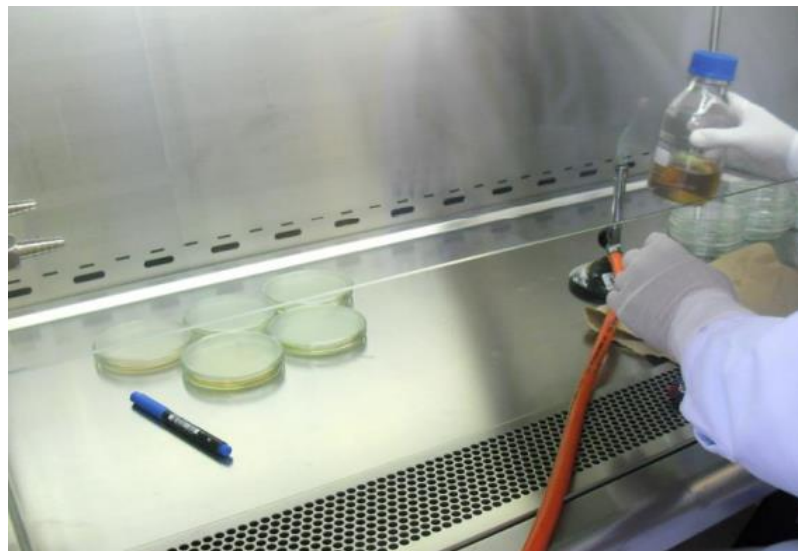


Figura N° 32: Esterilización mediante un mechero bunsen en cada momento de trabajo con los medios de cultivo.

Fuente: Mendoza, R & Sánchez, J (2017).

Y por último se colocan en placas Petri y se flamean hasta que se solidifiquen para luego conservarlas a temperaturas de 2 – 8°C.



Figura N° 33: Medios de cultivo en placas Petri dentro de envases cerrados.

Fuente: Mendoza, R & Sánchez, J (2017).

Finalmente, preparado el medio de cultivo para su uso se muestra en la siguiente tabla la composición del medio de cultivo.

Tabla 9: Composición del medio de cultivo.

Composición del medio de cultivo	
Componentes	Gramos por litro
Caldo BHI	2.1
NaHCO <sub>3</sub>	1.5
NH <sub>4</sub> C1	7
Urea	7
CaCl <sub>2</sub>	5

Fuente: Asenjo Dennis (2019).

### 5.1.5 Siembra de sepa

Se transfirió el líquido con las cepas bacterianas al medio de cultivo cuidando que este no se contamine con otros organismos formando así el cultivo bacteriano.



En el momento de tiempo cero ( $t=0$ ) se toma del cultivo bacteriano para leer mediante el espectrofotómetro la cantidad de concentración de colonias bacterianas, se toman datos cada hora para verificar la concentración de las bacterias y encontrar el punto de la mayor concentración de estas.

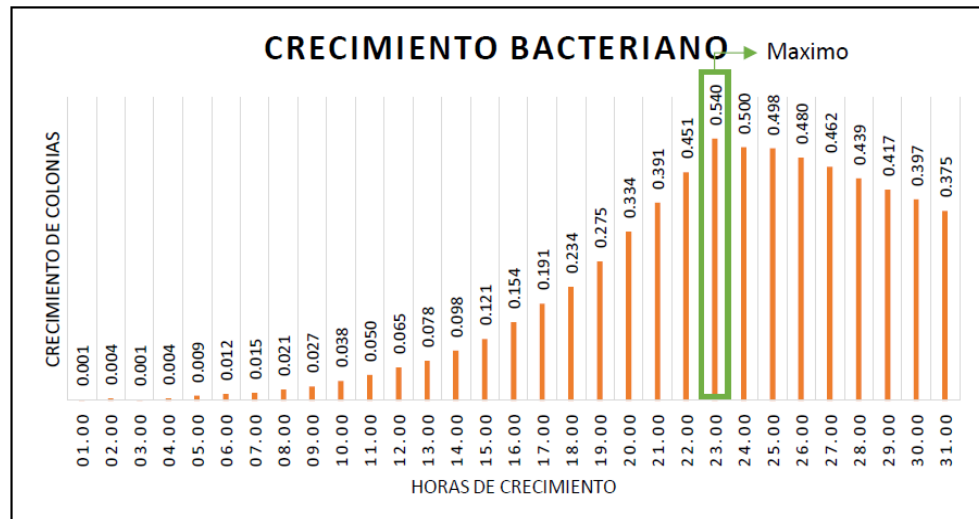


Figura N° 34: Crecimiento bacteriano en el tiempo

Fuente: Ascate, C & Miranda, M (2019).

El gráfico anterior nos indica, la curva de crecimiento que se realizó para ver la máxima concentración de colonias de bacterias presentes en el medio de cultivo e incubado a 35 °C.

Según este gráfico, observamos indica que a las 23 horas hubo la máxima concentración de colonias de bacterias, esto mediante la realización de lectura por espectrofotómetro, el cual indicó 0.54 de densidad óptica (relación útil entre la dispersión de la luz y la concentración de células de los microorganismos) de concentración .

Transcurridas las horas de crecimiento; de las cepas bacterianas, se tomaron 0,1 ml y se repitió el procedimiento de incubación descrito en párrafos anterior, para observar su crecimiento durante las siguientes 24 y 48 horas.

Según artículo, La bioprecipitación de carbonato de calcio por la biota nativa como un método de restauración (2015).

A las 24 horas: Algunas cepas bacterianas del tipo *Bacillus Subtilis*, *Bacillus cereus*, *Bacillus simplex*, *Bacillus Megaterium*.

A las 48 horas: Algunas cepas bacterianas *Bacillus subtilis*, *Bacillus simplex*, *Pantoea agglomerans*.

Se resalta que las mejores cepas formadoras de biopelículas fueron: *Bacillus cereus* y *Bacillus Subtilis*.

#### 5.1.6 Obtención de esporas bacterianas

Cuando se tuvo la máxima concentración de bacterias, se procedió a retirar de la incubadora. El cultivo bacteriano se pasó al proceso del estrés (cambios bruscos de temperatura, pH, falta de nutrientes, humedad), luego de estas pruebas se centrifugan y desecha el líquido, quedando el sedimento de esporas para combinar estas con 10 ml de agua destilada y se coloca en la centrífuga, repitiendo este paso 4 veces y quedando la solución con esporas de bacterias  $10^9$  células/ml.

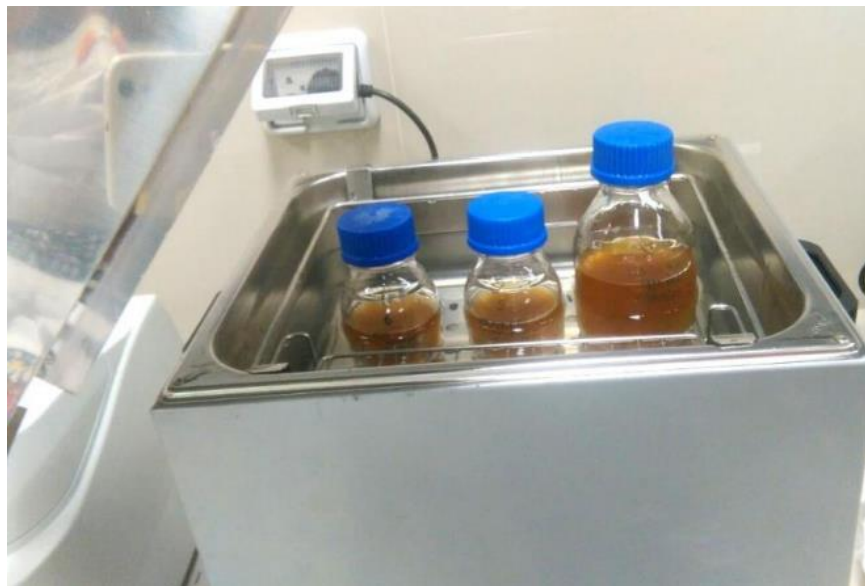


Figura N° 35: Proceso de estrés bacteriano.

Fuente: Mendoza, R & Sánchez, J (2017).

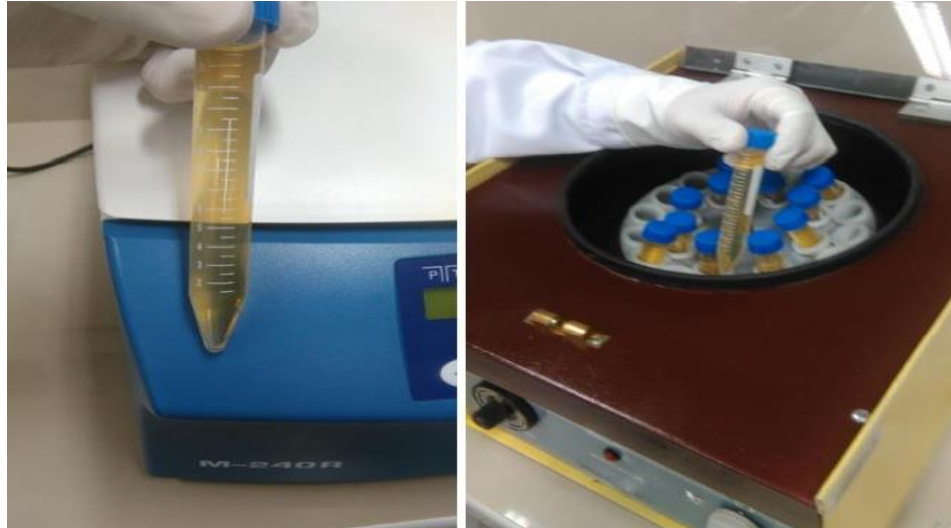


Figura N° 36: Centrifugación de medio (Esporas + medio de cultivo).

Fuente: Mendoza, R & Sánchez, J (2017).



Figura N° 37: Proceso de disolución (Esporas + agua destilada).

Fuente: Mendoza, R & Sánchez, J (2017).

#### 5.1.7 Mezcla de autorreparación

Para poder aplicar el aditivo bacteriano en la mezcla de concreto se debe realizar una solución a base de: extracto de levadura (1g / L), silicato de sodio (4,8 g / L), gluconato de sodio (125 g / L), o lactato de calcio (109.1 g/L) y esporas de bacteria o nitrato de calcio (500 g / L) y esporas de bacterias (109 células/ml). En este caso nosotros vamos a plantear una mezcla del aditivo bacteriano con el medio de cultivo a través del encapsulado bacteriano que será



introducido a la mezcla de concreto ya que es más eficiente como se redactó en el capítulo 5.2.



Figura N° 38: Insumos mezcla autorreparación.

Fuente: Mendoza, R & Sánchez, J (2017).

## 5.2 Métodos biológicos de autorreparación del concreto.

En primera instancia se seleccionaron las bacterias y posteriormente se examinó el proceso de precipitación de carbonato de calcio a través de dos metodologías: la adición directa y la encapsulación de bacterias.

### 5.2.1 Método de adición directa

Para la realización de las pruebas experimentales tanto la cepa bacteriana como el nutriente se adicionaron directamente a la mezcla del concreto. No obstante, mediante pruebas de microscopía se observó en primera instancia que la producción de cristales de calcita fue limitada y en segunda instancia que la supervivencia de las cepas bacterianas del género *Bacillus* se vio limitada a un período comprendido entre 2 a 6 meses.

Giraldo, N (2017). Nos explica que estos resultados son porque el nutriente de las bacterias se integró a la matriz del concreto, limitando el acceso de las bacterias a este y también a la continua reducción los anchos del diámetro de los poros de la matriz del concreto que suelen ser mucho más pequeños que las esporas bacterianas de 1  $\mu\text{m}$  de tamaño.

En estudios anteriores se encontró de hecho que varios bioconcretos compuestos con el extracto de levadura, la peptona y el acetato de calcio dieron como resultado una disminución dramática de la resistencia a la compresión. La única excepción parecía ser el Lactato de calcio lo que en realidad resultó en un aumento del 10% en la resistencia a la compresión en comparación con muestras de control.

Para solucionar las anteriores problemáticas, se demostró que cuando las cepas bacterianas y el nutriente mineral se protegen a través de un encapsulamiento pueden alcanzar un mayor potencial de viabilidad y actividad a largo plazo.

El método de adición directa sirve de mayor utilidad para poder realizar morteros autorreparables y aplicarlos en las fisuras o grietas como resanador y sellador.

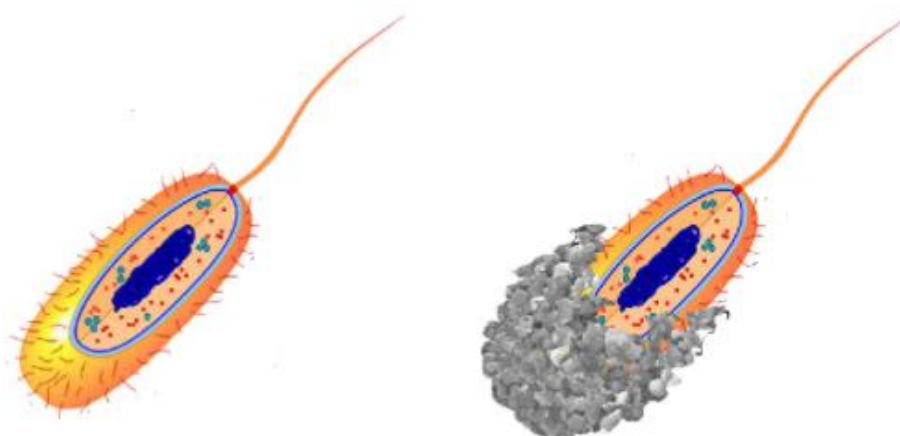


Figura N° 39: Adición directa de bacteria al concreto.

Fuente: Seifan, Khajeh & Berenjjan (2016).

### 5.2.2 Método de encapsulamiento

En 2011 Jonkers estudió la introducción de bacterias en forma de una solución con nutrientes en agregados porosos con la finalidad de proteger a la bacteria del decrecimiento de los poros de la matriz de hormigón, con el fin de potencializar tanto los procesos de precipitación de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) como la supervivencia de las cepas bacterianas, tanto las bacterias como el lactato de calcio utilizado como nutriente mineral, se protegen por medio de la encapsulación en partículas de arcilla expandida porosa. en la

Figura N° 27 se observan las partículas de arcilla expandida y se aprecia el concreto fisurado que contiene en el interior las partículas de arcilla expandida cargadas de esporas bacterianas y lactato de calcio, como nutriente mineral.

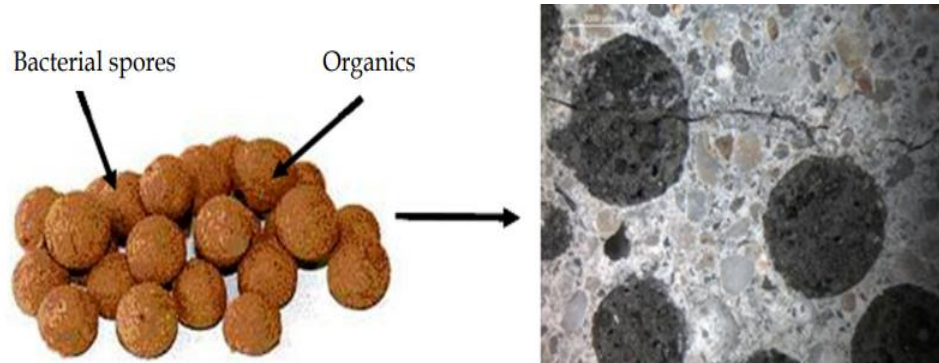


Figura N° 40: Partículas de arcilla expandida y se aprecia el concreto fisurado.  
Fuente: Jonkers, 2010.

a) Proceso de encapsulado.

Las capsulas ofrecen una protección directa a agente bioreparador y solo actúan al liberarse por las grietas que se forman como también con la humedad que ingresa, el aire o el cambio de pH de la solución. Por motivo del craqueo como causante, el encapsulado se rompe y la grieta por acción capilar es reparada por el agente bioreparador.

La finalidad del encapsulado es brindarle una mayor vida útil al agente bioreparador así estos sean químicos o biológicos. La calidad de esta reparación es efectiva y se mide por lo general por la recuperación de las propiedades mecánicas y su durabilidad.

Lo más desafiante en el enfoque basado en capsulas es su repetividad a un plazo largo. Por motivo que las estructuras del hormigón tienen variados ciclos de daños en su vida útil. El proceso de introducción simplemente es que el agente sanador es introducido en las capsulas discretas que quedaran repartidas en la matriz estas capsulas pueden ser de arcillas expandidas o fibras naturales. Las cantidades de agentes reparadores que pueden ser encapsuladas son limitadas y, por lo tanto, la mayor parte de agentes de curación es utilizado en un solo

ciclo de carga y eso ocasiona que sea cuestionable la curación repetida a largo plazo.

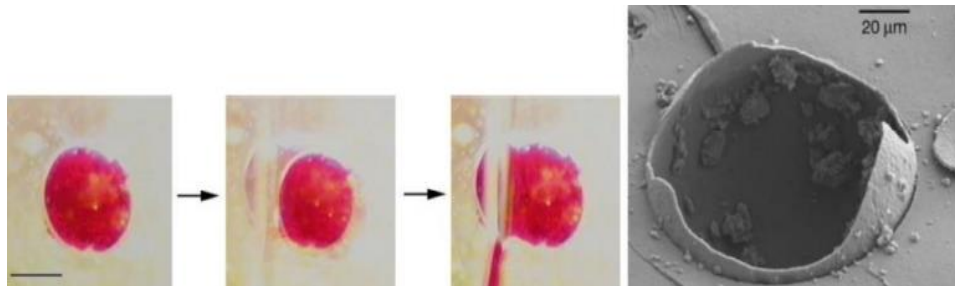


Figura N° 41: Encapsulados de bacterias.

Fuente: Laura Garde, (2016).

b) Durabilidad del encapsulado.

El encapsulado químico del lactato de calcio junto con la bacteria hecho de arcilla expandida o fibras naturales, tendrá una durabilidad que va en función de la presencia de grietas ya que a la aparición de una el encapsulado cumplirá con la función de reventarse y generar que el agente reparador actúe sellando la fisura, todo este proceso dependerá de la cantidad de encapsulado que sea introducido a la mezcla ya que a más encapsulados dispersos en el concreto estos llegaran a actuar cuando se exponga a la humedad producto de las grietas, la unión del encapsulado con la mezcla de hormigón no modificara las propiedades del mismo, haciendo que conserve su composición establecida.

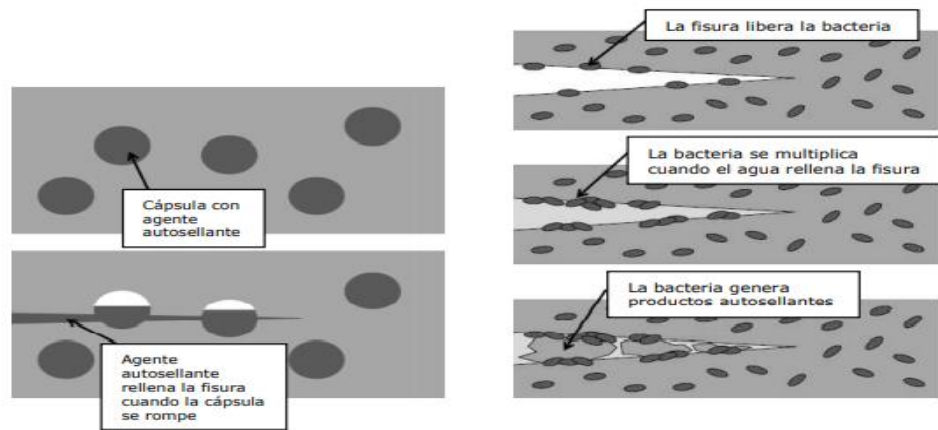


Figura N° 42: Encapsulados químicos y bacterianos.

Fuentes: Úbeda, C (2014).

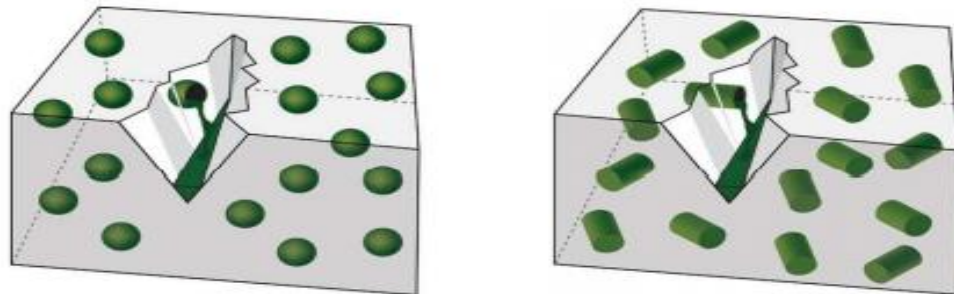


Figura N° 43: Encapsulado en microcápsulas cilíndricas o esféricas.

Fuentes: Úbeda, C (2014).

En la técnica de encapsulación, las microcápsulas con bacterias y nutrientes se mezclan con la matriz cementosa durante la fabricación del hormigón. Cuando se forma una grieta y llega a una de las cápsulas, se rompe y libera las bacterias y sus nutrientes en el medio alcalino del material. En contacto con el agua de la grieta, las bacterias comienzan sus actividades metabólicas, que culminan en la precipitación de carbonato de calcio, que sella la grieta.

### 5.3 Efectividad de autorreparación.

En esta etapa se evaluó la influencia que tenía el aditivo bacteriano en el proceso de reparación de las fisuras en el concreto.

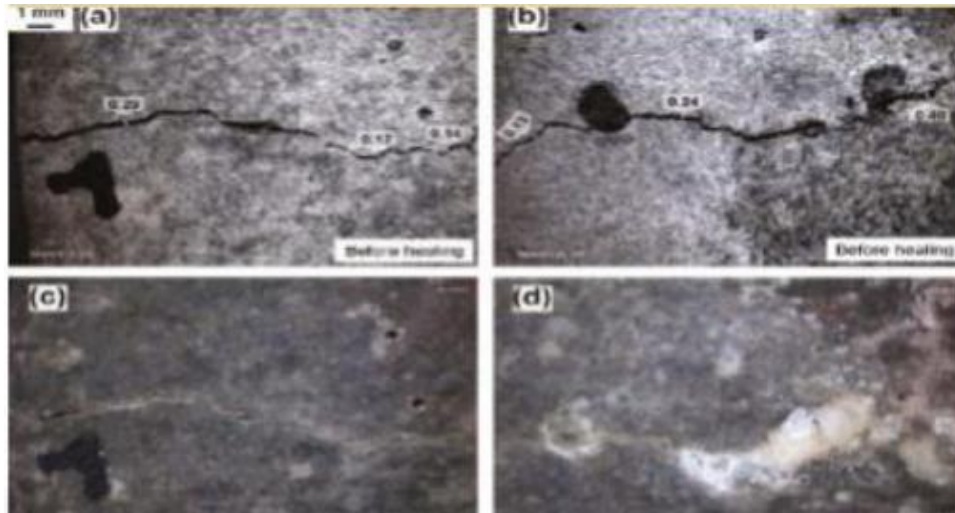


Figura N° 44: Autoreparacion de fisuras.

Fuente: Revista Civilizate (2015).

En la figura, se observa el proceso de regeneración de dos tipos de grietas, las cuales fueron realizadas por Jonkers en una estación salvavidas que es donde generalmente se presentan este tipo de problemas debido a las condiciones climáticas, y se evidencia el cambio que tuvieron cada una de las fisuras después de haber transcurrido un lapso de tiempo a los 100 días

Asenjo, Dennis (2019), Nos habla que los resultados de las probetas que probó, nos mostraron que las cepas de *Bacillus firmus* y *subtillis* precipitaban calcita en una cantidad considerable para reparar las fisuras, de acuerdo a las imágenes, se muestra que la precipitación de calcita en las fisuras y aberturas que presenta el concreto se estuvieron reparando al momento de la evaluación, lo que progresivamente fue sellando las fisuras o aberturas que presentaban las probetas de concreto.



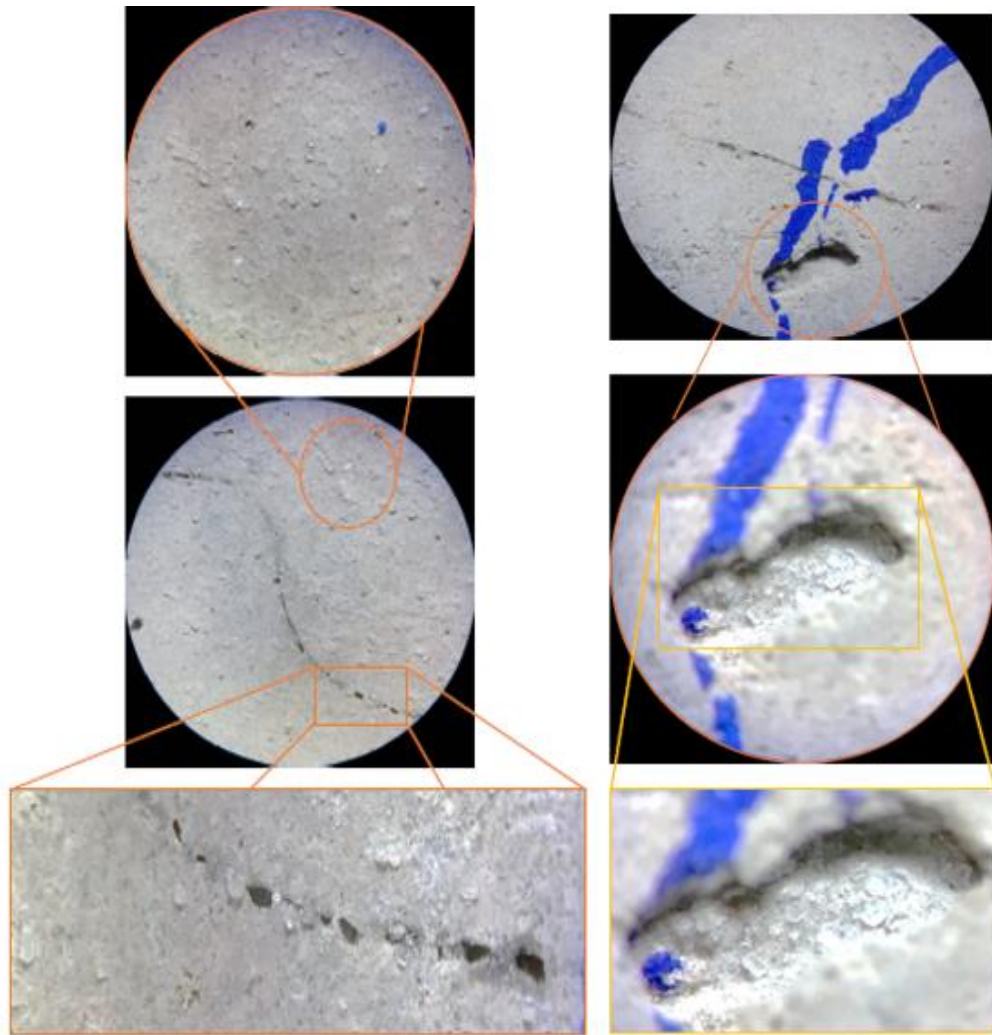


Figura N° 45: Fisuras con aumentos de 10x, 50x y 100x de zoom.

Fuente: Assenjo, D (2019).

En la investigación de Santos, Arnold (2021). en cuanto al tiempo que tardan las bacterias en sellar las grietas del bioconcreto, se realizó monitoreando y midiendo con el fisurómetro el agrietamiento más representativo de las dos probetas que fueron agrietadas intencionalmente para este propósito.

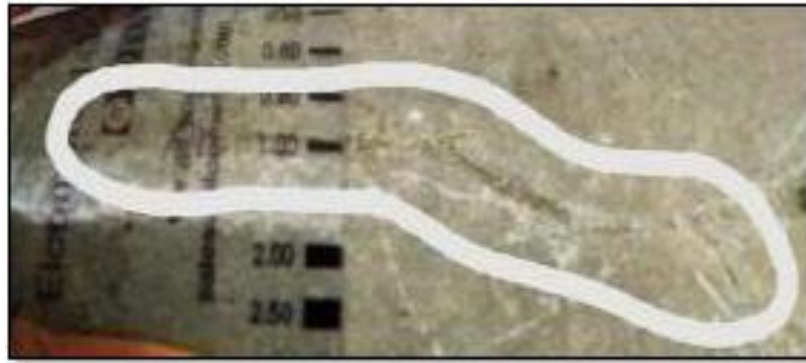


Figura N° 46: En el día 1 está grieta midió 1.00 mm de ancho y desde ahí, se monitoreó y se midió dicha grieta cada 28 días.

Fuente: Santos, A (2021).

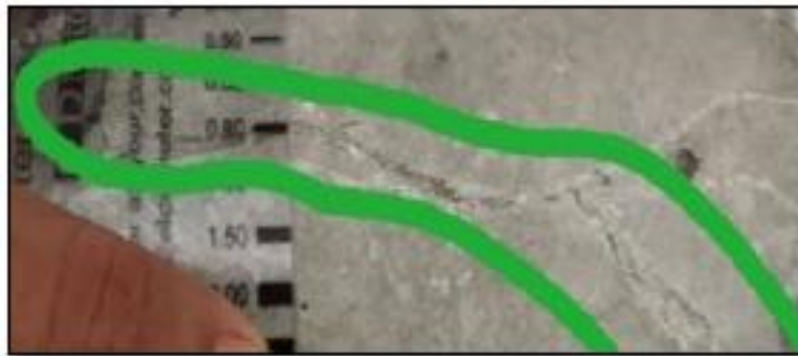


Figura N° 47: En el día 28 está grieta midió 0.80 mm de ancho.

Fuente: Santos, A (2021).

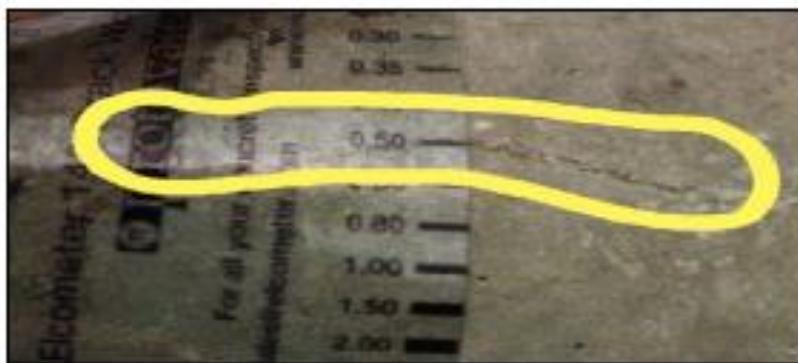


Figura N° 48: En el día 56 está grieta midió 0.50 mm de ancho.

Fuente: Santos, A (2021).



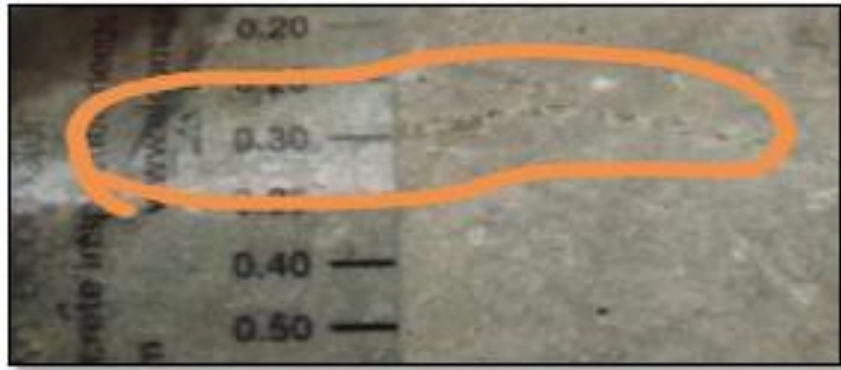


Figura N° 49: En el día 77 está grieta midió 0.30 mm de ancho.

Fuente: Santos, A (2021).

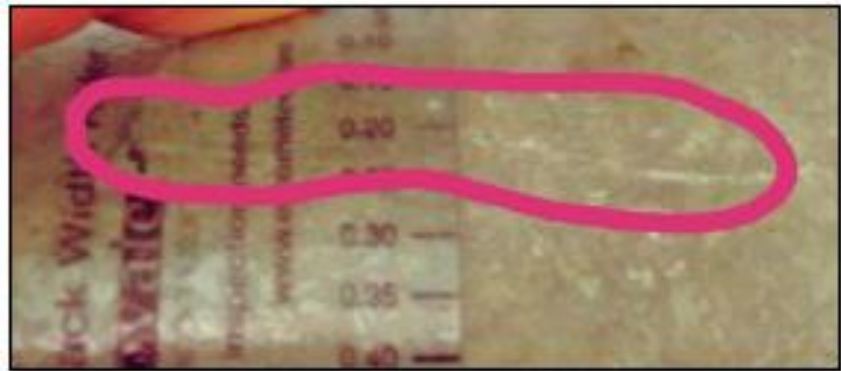


Figura N° 50: En el día 98 está grieta midió 0.20 mm de ancho.

Fuente: Santos, A (2021).

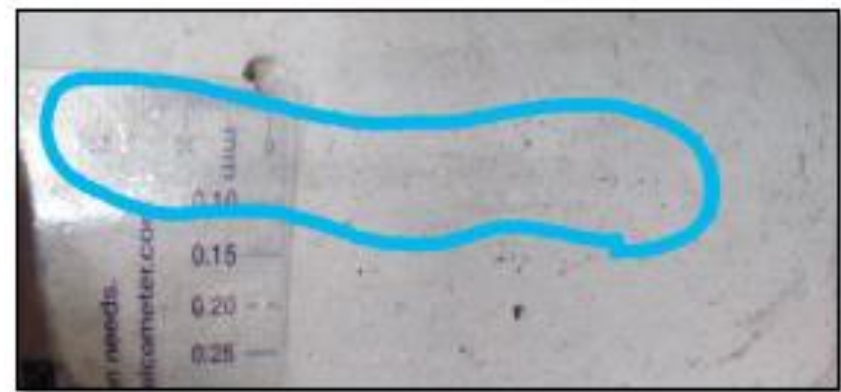


Figura N° 51: En el día 140 está grieta midió 0.03 mm de ancho.

Fuente: Santos, A (2021).

Según las investigaciones revisadas las reparaciones de fisuras se dan hasta un ancho no mayor a 8mm y en la longitud de la fisura no existe límite alguno, una vez

que la fisura penetra el encapsulado esta libera al agente reparador, ocasionando el sellado de la fisura de manera automática; sin embargo, no se puede asegurar una auto reparación en fisuras de tamaños mayores.



Figura N° 52: Fisuración en Pavimentos hidráulicos.

Fuente: Carlos Eduardo Cervantes (2016).

#### 5.4 Análisis de resultados de influencia en las propiedades.

Asenjo, Dennis (2019). En su investigación realiza un diseño de mezcla  $f'c$  250 con la proporción de aditivo bacteriano de 20lt/m<sup>3</sup> y muestra las variaciones en las propiedades del concreto comparándolas con un concreto patrón:

Tabla 10: Ensayos realizados a probetas sin aditivo bacteriano.

PRINCIPALES PROPIEDADES DEL CONCRETO (CODIGO: C° Normal)										
N°	Edad(días)	Código de la probeta	Esfuerzo de rotura f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Proyección a los 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )	Peso concreto		Volumen del molde (m <sup>3</sup> )	Peso Unitario del concreto		f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> ) promedio (7,14 y 28 días)
					Fresco (kg)	Endurecido (kg)		Fresco (kg/m <sup>3</sup> )	Endurecido(kg/m <sup>3</sup> )	
1		patrón	161.9	261.1	11.86	11.79	0.005419	2188.73	2175.81	
2		patrón	158.1	255	11.82	11.71	0.005441	2172.35	2152.13	
3	7	patrón	168	271	12.34	12.11	0.115492	2246.81	2204.96	162.7
4		patrón	160.8	259.4	11.92	11.7	0.00545	2187.16	2146.79	
5		patrón	164.7	265.6	12.1	11.9	0.005453	2219.05	2182.37	
6		patrón	218.1	247.9	11.87	11.67	0.005501	2157.82	2121.46	
7		patrón	222.6	253	11.82	11.65	0.005461	2164.53	2133.4	
8	14	patrón	227.2	258.2	11.62	11.5	0.005366	2165.41	2143.04	222.3
9		patrón	226.8	257.7	11.93	11.8	0.00543	2197.22	2173.28	
10		patrón	216.8	246.4	11.78	11.6	0.005441	2164.93	2131.85	
11		patrón	259.2	259.2	12.04	11.93	0.005459	2205.42	2185.27	
12		patrón	255.9	255.9	12.02	11.9	0.00548	2193.1	2171.57	
13	28	patrón	259.8	259.8	12.12	12	0.005491	2207.33	2185.47	258.8
14		patrón	263.7	263.7	12.16	12.04	0.005492	2214.21	2192.36	
15		patrón	255.6	255.6	12.02	11.8	0.005506	2182.97	2143.01	
		Promedio	-	257.96	11.96	11.81	0.005459	2191.14	2162.85	-

Fuente: Propia.

Tabla 11: Resistencia del concreto patrón a los 7, 14 y 28 días.

C° Normal 1	Patrón
Días	
	158.1
	160.82
7	161.9
	164.66
	168.02
	216.81
	218.11
14	222.63
	226.76
	227.25
	255.56
	255.58
28	259.23
	259.78
	263.67

Fuente: Propia.

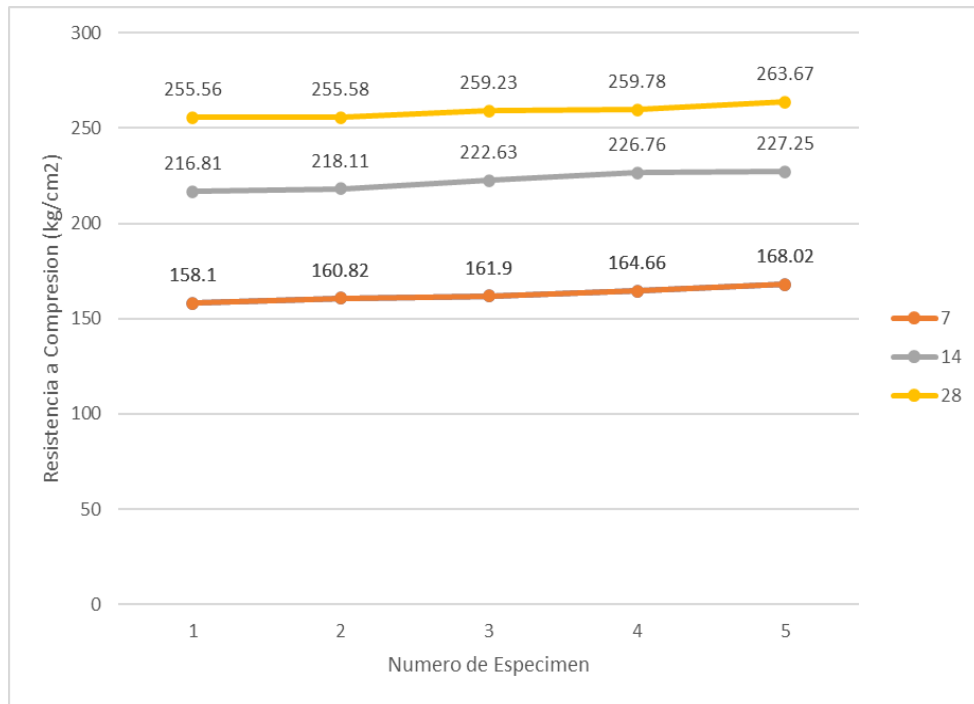


Figura N° 53: Variación de valores de  $f'c$  (kg/cm<sup>2</sup>) a las edades de 7,14 y 28 días.

Fuente: Propia.

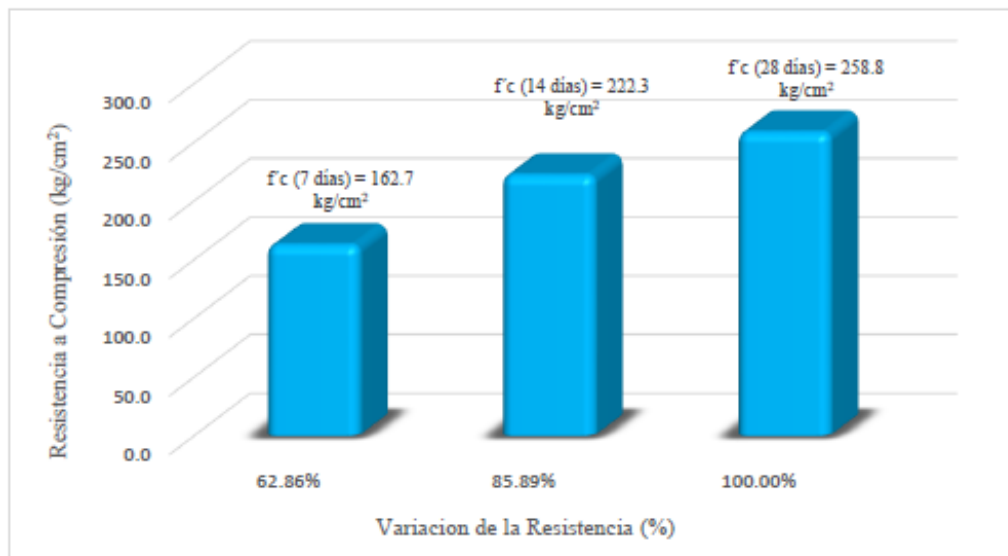


Figura N° 54: Variación de la resistencia patrón de 7,14 y 28 días.

Fuente: Asenjo, Dennis (2019).

Principales propiedades del concreto con *Paenibacillus lactis* en cantidad de 20 lt/m<sup>3</sup>:

Tabla 12: Ensayos realizados a probetas con aditivo bacteriano *Paenibacillus lactis*.

PRINCIPALES PROPIEDADES DEL CONCRETO (CODIGO: C° Normal)										
N°	Edad(días)	Código de la probeta	Esfuerzo de rotura f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Proyección a los 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )	Peso concreto Fresco (kg)	Peso concreto Endurecido (kg)	Volumen del molde (m <sup>3</sup> )	Peso Unitario del concreto Fresco (kg/m <sup>3</sup> )	Peso Unitario del concreto Endurecido(kg/m <sup>3</sup> )	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> ) promedio (7,14 y 28 días)
1		Paenibacillus lactis	233.1	347.9	11.64	11.54	0.00549	2120.22	2102	
2		Paenibacillus lactis	233.6	348.6	11.58	11.42	0.005462	2120.08	2090.79	
3	7	Paenibacillus lactis	224	334.4	11.57	11.46	0.005482	2110.45	2090.39	232.4
4		Paenibacillus lactis	241.2	360	11.84	11.72	0.005537	2138.38	2116.7	
5		Paenibacillus lactis	230	343.3	11.54	11.42	0.005453	2116.4	2094.76	
6		Paenibacillus lactis	293.8	330.1	11.62	11.45	0.005464	2126.47	2095.36	
7		Paenibacillus lactis	292.1	328.2	11.4	11.31	0.005385	2117.04	2100.32	
8	14	Paenibacillus lactis	287.3	322.8	11.3	11.22	0.005441	2076.76	2062.61	285
9		Paenibacillus lactis	275.5	309.6	11.29	11.18	0.005406	2088.42	2068.07	
10		Paenibacillus lactis	276	310.1	11.5	11.32	0.005487	2095.7	2062.9	
11		Paenibacillus lactis	336.4	336.4	11.68	11.57	0.005477	2132.42	2112.34	
12		Paenibacillus lactis	352.1	352.1	11.84	11.62	0.005491	2156.28	2115.31	
13	28	Paenibacillus lactis	358.6	358.6	11.82	11.72	0.005474	2159.12	2141.03	351.2
14		Paenibacillus lactis	363.7	363.7	11.94	11.82	0.005484	2177.37	2154.94	
15		Paenibacillus lactis	345	345	11.65	11.57	0.005485	2124.17	2109.58	
		Promedio	-	339.39	11.61	11.49	0.005468	2123.95	2101.14	-

Fuente: Propia.

Tabla 13: Resistencia del concreto con *Paenibacillus lactis* a los 7, 14 y 28 días.

Piedra 4 2b	Paenibacillus lactis
Días	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
	224.03
	230.01
7	233.06
	233.59
	241.22
	275.54
	276.03
14	287.31
	292.12
	293.76
	336.39
	344.96
28	352.13
	358.63
	363.71

Fuente: Propia.

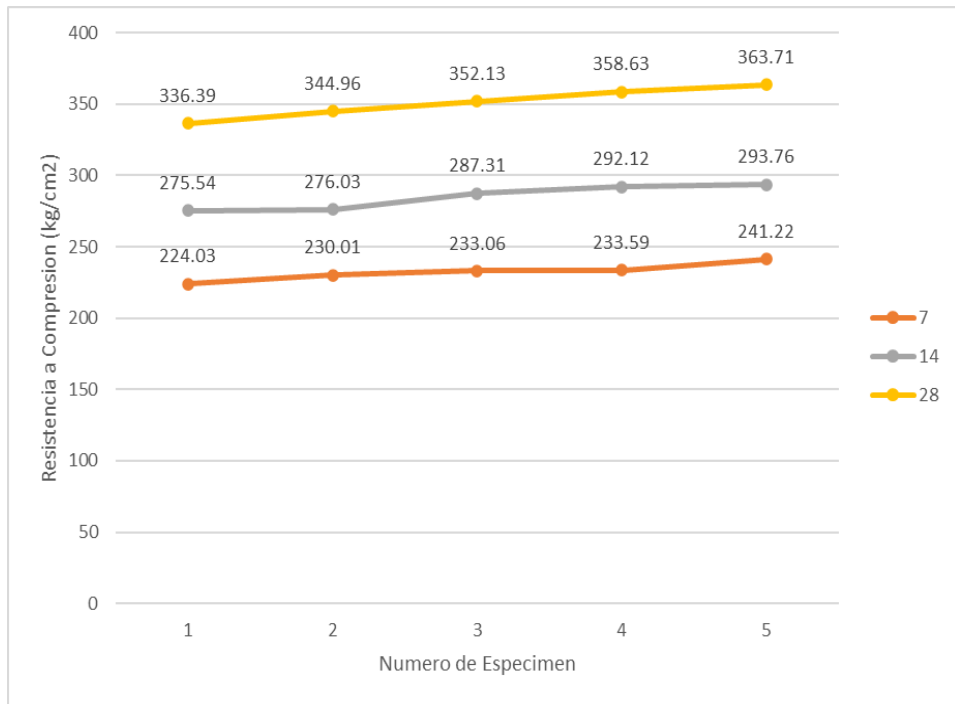


Figura N° 55: Variación de valores de  $f'c$  (kg/cm<sup>2</sup>) con *Paenibacillus lactis* a las edades de 7,14 y 28 días.

Fuente: Propia.

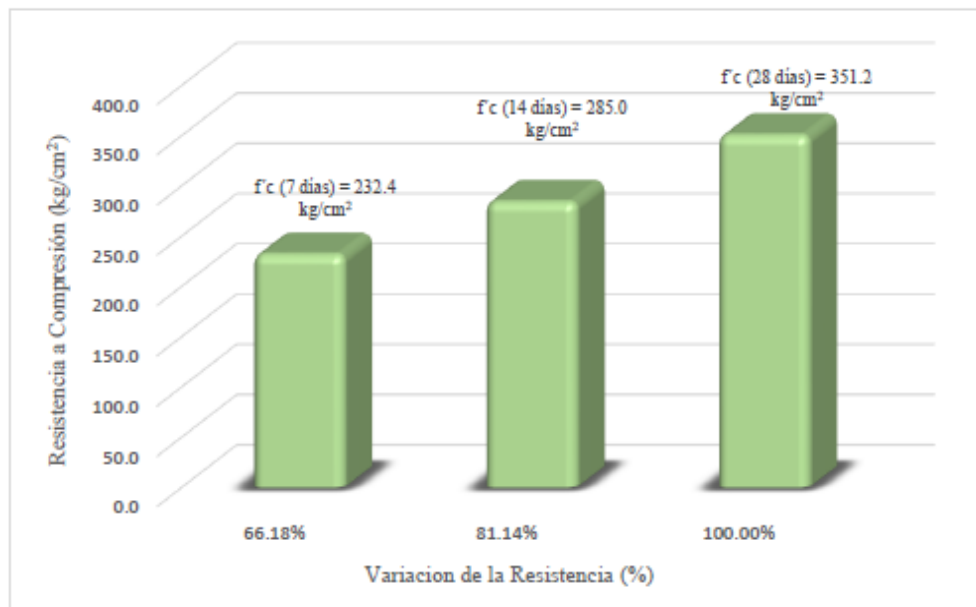


Figura N° 56: Variación de la resistencia (kg/cm<sup>2</sup>) con *Paenibacillus Lactis* de 7,14 y 28 días.

Fuente: Asenjo, Dennis (2019).

Principales propiedades del concreto con *Bacillus firmus* en cantidad de 20 lt/m<sup>3</sup>:

Tabla 14: Ensayos realizados a probetas con aditivo bacteriano *Bacillus firmus*.

N°	Edad(días)	Código de la probeta	PRINCIPALES PROPIEDADES DEL CONCRETO						f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> ) promedio (7,14 y 28 días)	
			Esfuerzo de rotura f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Proyección a los 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )	Peso concreto		Volumen del molde (m <sup>3</sup> )	Peso Unitario del concreto		
					Fresco (kg)	Endurecido (kg)		Fresco (kg/m <sup>3</sup> )	Endurecido(kg/m <sup>3</sup> )	
1		<i>Bacillus firmus</i>	172.4	282.6	11.92	11.8	0.005346	2229.51	2207.06	
2		<i>Bacillus firmus</i>	174.5	286.1	11.96	11.85	0.005341	2239.33	2218.73	
3	7	<i>Bacillus firmus</i>	163.8	268.5	11.76	11.65	0.005307	2216.07	2195.34	167.8
4		<i>Bacillus firmus</i>	166.8	273.5	11.82	11.7	0.005307	2227.1	2204.49	
5		<i>Bacillus firmus</i>	161.3	264.4	11.75	11.68	0.005314	2211.31	2198.14	
6		<i>Bacillus firmus</i>	256.5	285	12.11	12	0.005413	2237.53	2216.83	
7		<i>Bacillus firmus</i>	254.5	282.8	11.95	11.88	0.005369	2225.69	2212.65	
8	14	<i>Bacillus firmus</i>	246.8	274.3	12.08	11.95	0.005411	2232.55	2208.52	251.6
9		<i>Bacillus firmus</i>	247.2	274.6	12.18	12.1	0.005486	2220.05	2205.46	
10		<i>Bacillus firmus</i>	253.2	281.3	12.11	11.95	0.005421	2234.01	2204.5	
11		<i>Bacillus firmus</i>	291	291	12.19	12.1	0.005447	2237.73	2221.21	
12		<i>Bacillus firmus</i>	285.7	285.7	12.27	12.17	0.005498	2232.21	2213.48	
13	28	<i>Bacillus firmus</i>	293.8	293.8	12.34	12.25	0.005514	2237.74	2221.42	295.3
14		<i>Bacillus firmus</i>	299.7	299.7	12.34	12.23	0.005494	2245.91	2225.89	
15		<i>Bacillus firmus</i>	306.3	306.3	12.18	12.08	0.00542	2247.41	2228.95	
		Promedio	-	283.29	12.06	11.96	0.005406	2231.61	2212.18	-

Fuente: Propia.

Tabla 15: Resistencia del concreto con *Bacillus firmus* a los 7, 14 y 28 días.

C° 2b	<i>Bacillus firmus</i>
Días	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
	161.28
	163.81
7	166.81
	172.37
	174.49
	246.83
	247.18
14	253.19
	254.5
	256.5
	285.68
	290.96
28	293.76
	299.69
	306.27

Fuente: Propia.

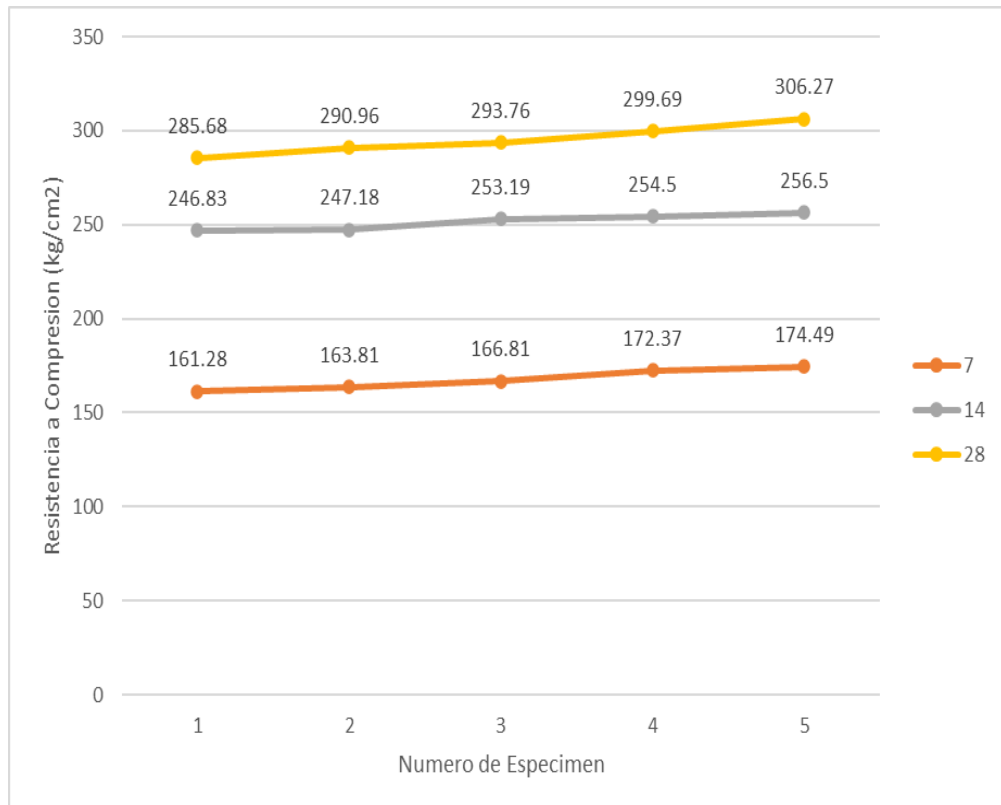


Figura N° 57: Variación de valores de  $f'c$  (kg/cm<sup>2</sup>) con *Bacillus firmus* a las edades de 7,14 y 28 días.

Fuente: Propia.

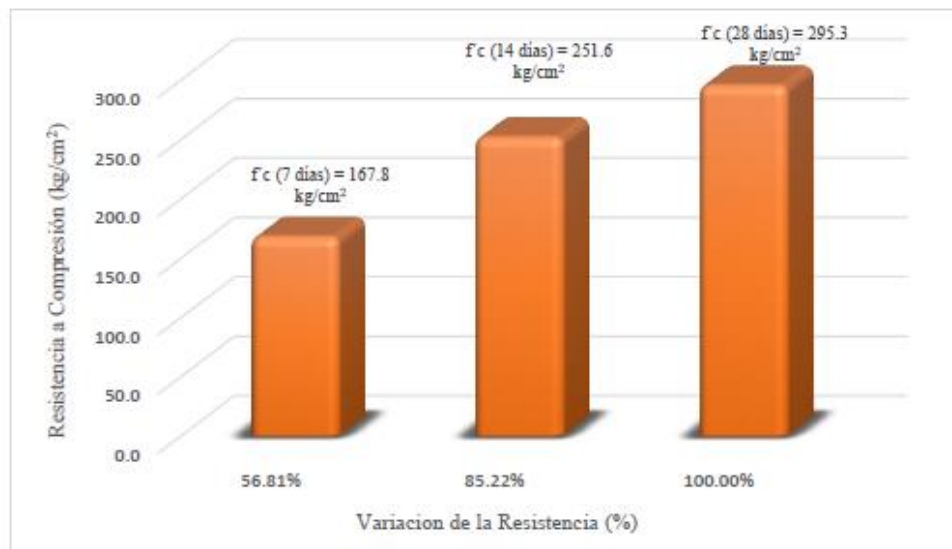


Figura N° 58: Variación de la resistencia con *Bacillus firmus* de 7,14 y 28 días.

Fuente: Asenjo, Dennis (2019).



Análisis comparativo de las tres series de probetas.

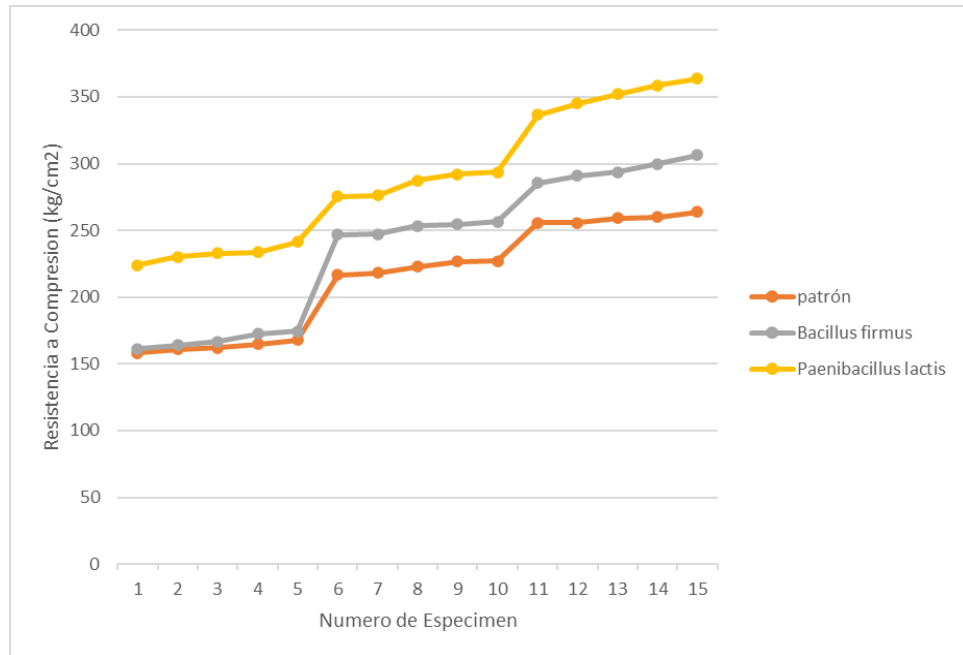


Figura N° 59: Análisis comparativo Global de  $f_c$  (kg/cm<sup>2</sup>) a edades de 7,14 y 28 días de las tres series de probetas.

Fuente: Propia

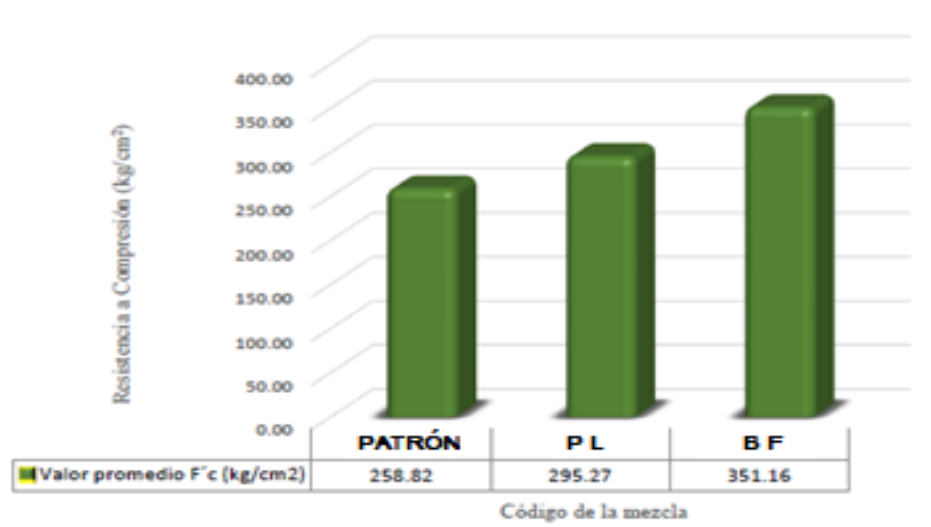


Figura N° 60: Comparación de la resistencia a los 28 días.

Fuente: Asenjo, D (2019).

Ascate, Clarita & Miranda, Mary (2019). En su investigación explica el porcentaje adecuado para determinar la solución de bacterias con el que el concreto  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup> llegue a una resistencia de  $f'c=240$  kg/cm<sup>2</sup> usando la bacteria Bacillus Subtilis.

Para resistencia a compresión:

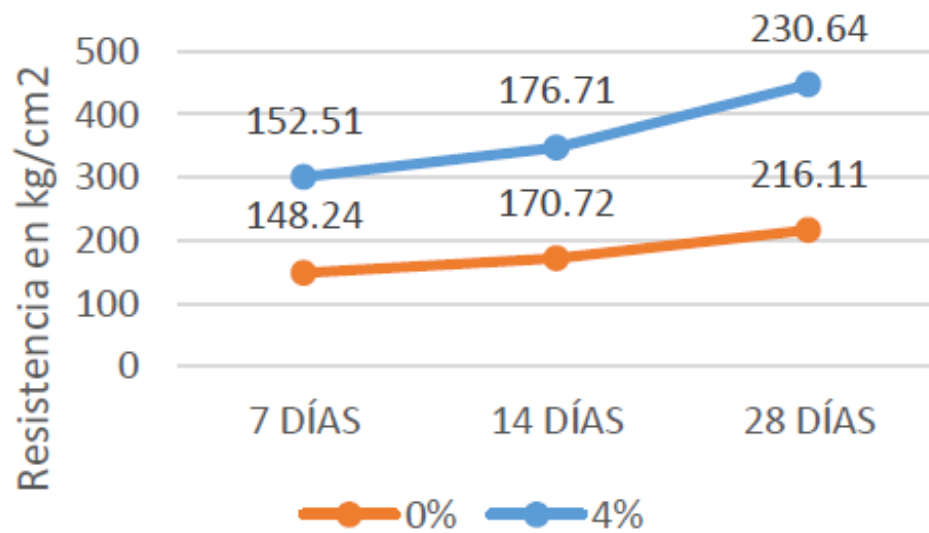


Figura N° 61: Resistencia a compresión patrón vs Adición de bacterias en 4 %.

Fuente: Ascate, Clarita & Miranda, Mary (2019).

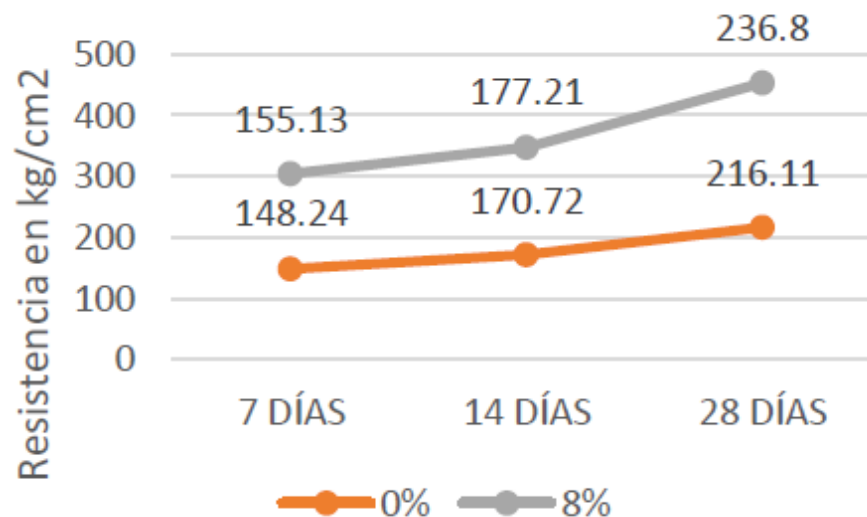


Figura N° 62: Resistencia a compresión patrón vs Adición de bacterias en 8 %.

Fuente: Ascate, Clarita & Miranda, Mary (2019).

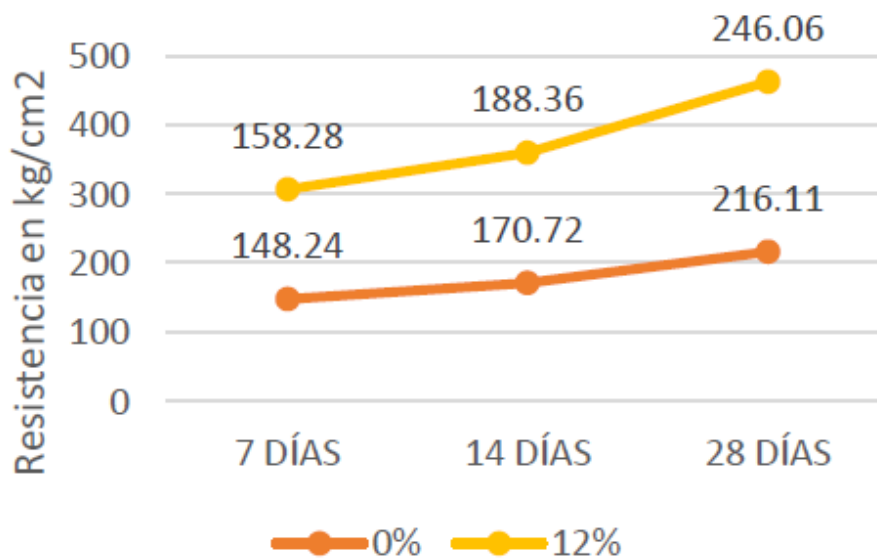


Figura N° 63: Resistencia a compresión patrón vs Adición de bacterias en 12 %.  
 Fuente: Ascate, Clarita & Miranda, Mary (2019).

Por los datos que se obtuvieron podemos deducir que el porcentaje óptimo para que un concreto de  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup> llegue a una resistencia de  $f'c$  240 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días es con un 9.8 % de bacterias en la mezcla.

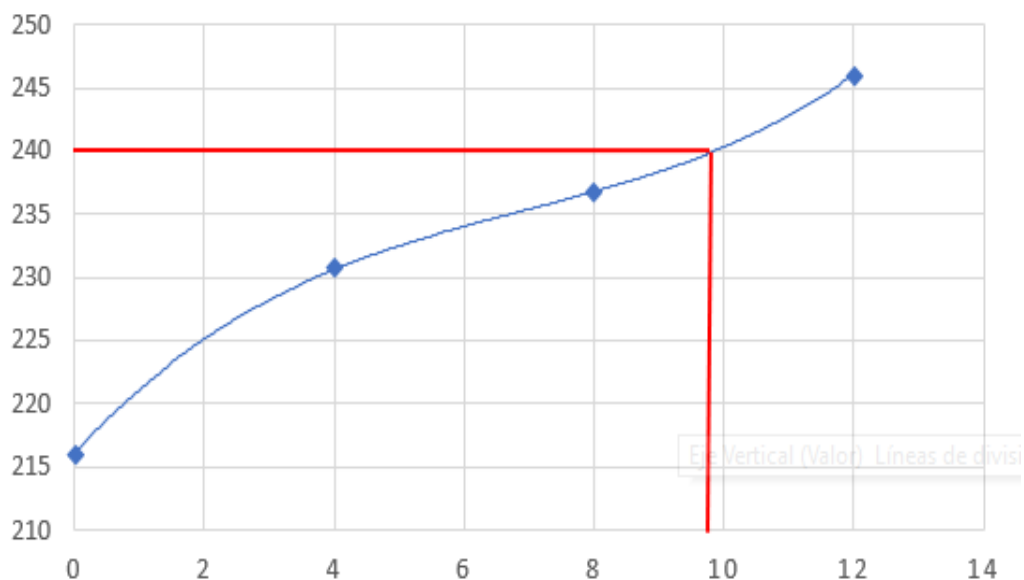


Figura N° 64: % de bacterias óptimo a compresión.  
 Fuente: Propia.

Para la resistencia a la flexión:

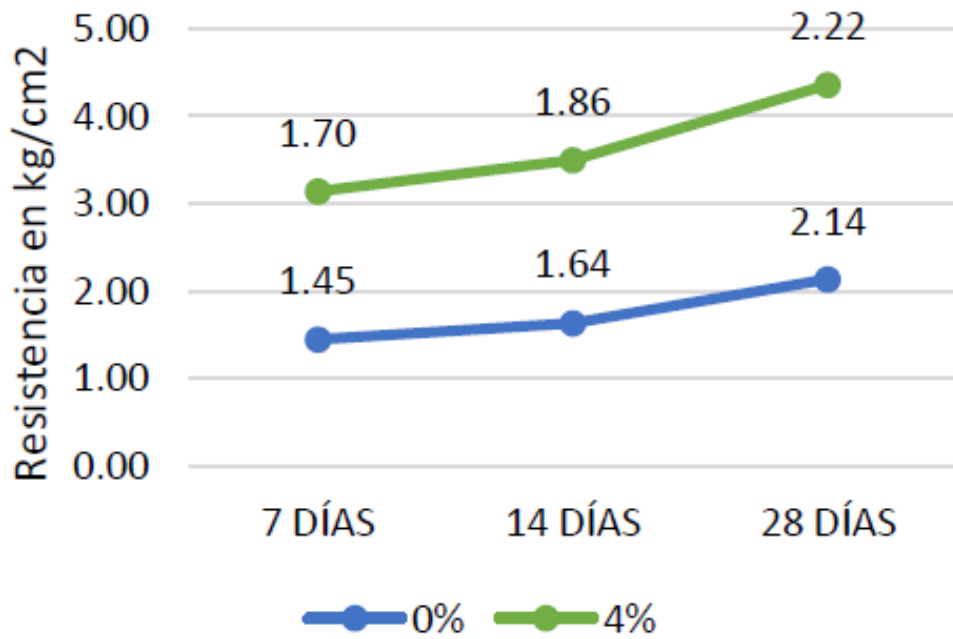


Figura N° 65: Resistencia a flexión patrón vs Adición de bacterias en 4 %.

Fuente: Ascate, Clarita & Miranda, Mary (2019).

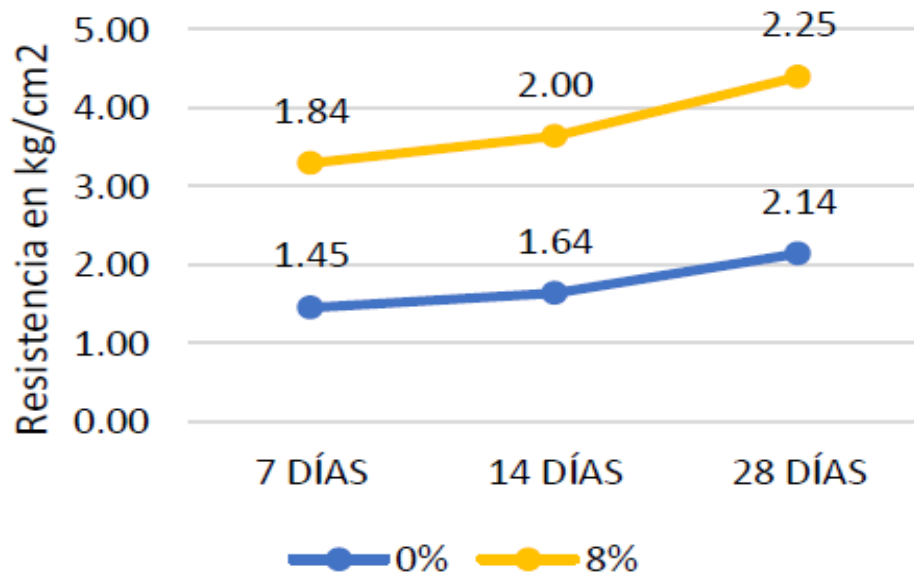


Figura N° 66: Resistencia a flexión patrón vs Adición de bacterias en 8 %.

Fuente: Ascate, Clarita & Miranda, Mary (2019).

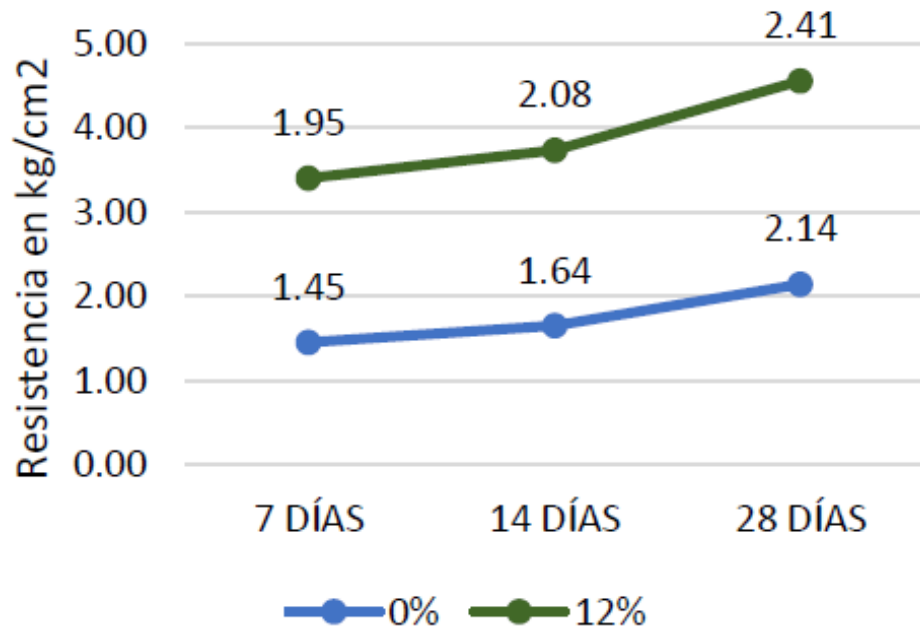


Figura N° 67: Resistencia a flexión patrón vs Adición de bacterias en 12 %.  
 Fuente: Ascate, Clarita & Miranda, Mary (2019).

Por los datos que se obtuvieron podemos deducir que el porcentaje óptimo para que un concreto de  $f'c$  2.10 kg/cm<sup>2</sup> llegue a una resistencia de  $f'c$  2.40 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días es con un 11.9 % de bacterias en la mezcla.

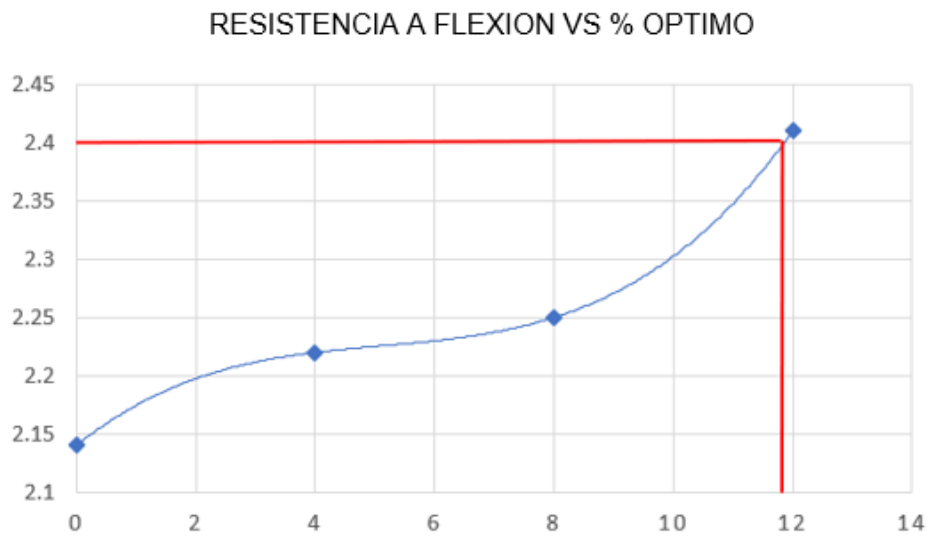


Figura N° 68: % de bacterias óptimo a flexión.  
 Fuente: Propia.

Para la investigación del ACI PUCP (2015) analiza la Resistencia a la compresión del concreto convencional y el concreto autorreparable a los 3,7,28 días. La resistencia a la compresión del concreto fue mejorada en un 14.92% mediante la adición de Bacillus Subtilis, mientras que el Bacillus Sphaericus mejora la resistencia a la compresión del concreto en un 30,76 % a 3 días, 46,15 % a 7 días y 32.21 % a 28 días, en comparación con el concreto convencional.

Tabla 16: Comparación de los esfuerzos de compresión entre el concreto autorregenerante y el tradicional.

S N°	Nº. de días	Resistencia de rotura a compresion convencional cubos de hormigón, N / nm2	Resistencia de rotura a compresion B. sphaericus cubos de hormigón, N / nm2	% aumento de resistencia
1	3	19.24	25.16	30.76
2	7	23.66	34.58	46.18
3	28	34.52	45.72	32.21

Fuente: ACI PUCP (2015).

En un concreto con bacterias, la resistencia a la tracción es mejor que un concreto convencional.

Tabla 17: Comparación de los esfuerzos de tracción entre el concreto autorregenerante y el tradicional.

S N°	Nº. de días	Resistencia de rotura a tracción convencional cubos de hormigón, N / nm2	Resistencia de rotura a tracción B. sphaericus cubos de hormigón, N / nm2	% aumento de resistencia
1	3	3.78	4.3	13.75
2	7	4.62	5.28	14.28
3	28	4.85	5.74	18.35

Fuente: ACI PUCP (2015).

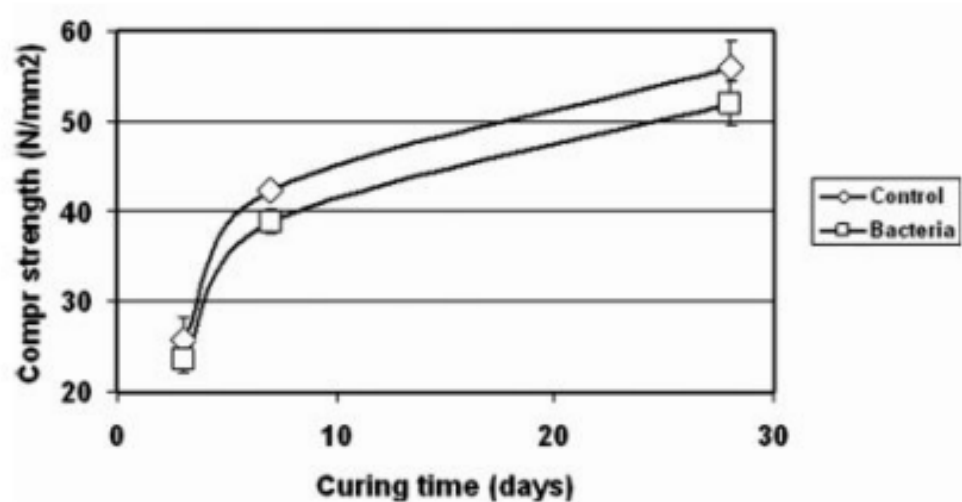


Figura N° 69: Resistencia a la tracción del concreto convencional y el concreto autorreparable a los 3,7,28 días.

Fuente: ACI PUCP.

#### 5.5 Presupuesto para los concretos con adición de bacterias.

Los resultados del costo de la obtención de los dos tipos de concreto, se cuantificó según los materiales que cada uno necesita en el diseño de mezcla para la elaboración de 1 m<sup>3</sup> de concreto patrón, y de la misma manera para la elaboración de 1 m<sup>3</sup> de bioconcreto con nutriente de lactato de calcio y nitrato de calcio.

Precio de cepas bacterianas del género *Bacillus* en laboratorios biológicos autorizados y supervisados por SENASA (Servicio Nacional de Sanidad Agraria): 120 – 150 soles.

Según la investigación de Santos, Arnold (2021) los costos por proceso de diferenciación celular con el fin de la generación de esporas para las bacterias en Perú es aproximadamente 4500 soles para producir 1m<sup>3</sup>.

Tabla 18: Costo de la obtención de 1 m<sup>3</sup> de concreto patrón, con rendimiento de 21 m<sup>3</sup>/día (MO. y EQ.).

Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio(S/)	Parcial(S/)	Total
Materiales:						252.49
Piedra chancada de 3/4"	m <sup>3</sup>		0.727	50	36.35	
Arena gruesa	m <sup>3</sup>		0.375	47	17.62	
Cemento Portland (42.5kg)	bls		8.38	23	192.74	
Agua en obra	m <sup>3</sup>		0.199	15	2.98	
Arcilla	kg		0.07	40	2.8	
Mano de Obra:						66.55
Capataz	hh	0.1	0.038	27.49	1.04	
Operario	hh	1	0.381	22.91	8.73	
Oficial	hh	1	0.381	18.12	6.9	
Peón	hh	8	3.047	16.37	49.88	
Equipos y Herramientas:						11.1
Herramientas manuales	%MO		3%	66.55	2	
Vibrador de concreto 4 HP 1.25"	hm	1	0.381	5.76	2.19	
Mezcladora de concreto 11 P3 (23 HP)	hm	1	0.381	18.14	6.91	
<b>TOTAL</b>						<b>S/ 330.14</b>

Fuente: Propia.

Esta tabla muestra los precios unitarios para la elaboración de 1 m<sup>3</sup> de concreto patrón, con f'c de 210 kg/cm<sup>2</sup>.



Tabla 19: Costo de la obtención de 1 m<sup>3</sup> de bioconcreto con lactato de calcio como agente nutriente, con rendimiento de 21 m<sup>3</sup>/día (MO. y EQ.).

Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio(S/)	Parcial(S/)	Total
Materiales:						1297.39
Piedra chancada de 3/4"	m <sup>3</sup>		0.727	50	36.35	
Arena gruesa	m <sup>3</sup>		0.375	47	17.62	
Cemento Portland (42.5kg)	bis		8.38	23	192.74	
Agua + concentrado de bacteria	m <sup>3</sup>		0.199	4620	919.38	
Lactato de calcio (25.0 kg)	bis		1.028	125	128.5	
Arcilla	kg		0.07	40	2.8	
Mano de Obra:						66.55
Capataz	hh	0.1	0.038	27.49	1.04	
Operario	hh	1	0.381	22.91	8.73	
Oficial	hh	1	0.381	18.12	6.9	
Peón	hh	8	3.047	16.37	49.88	
Equipos y Herramientas:						11.1
Herramientas manuales	%MO		3%	66.55	2	
Vibrador de concreto 4 HP 1.25"	hm	1	0.381	5.76	2.19	
Mezcladora de concreto 11 P3 (23 HP)	hm	1	0.381	18.14	6.91	
<b>TOTAL</b>						<b>S/1375.04</b>

Fuente: Propia.

Esta tabla muestra los precios unitarios para la elaboración de 1 m<sup>3</sup> de concreto patrón, con f'c de 210 kg/cm<sup>2</sup>, se está considerado las esporas bacterianas, que se necesita para 1 m<sup>3</sup>, y el lactato de calcio que se requiere es de 25.72 kg/m<sup>3</sup> (0.109 kg/L x 235.88 L/m<sup>3</sup>), que está en función de la cantidad de agua con bacterias, que se utiliza en la mezcla.

Tabla 20: Costo de la obtención de 1 m<sup>3</sup> de bioconcreto con nitrato de calcio como agente nutriente, con rendimiento de 21 m<sup>3</sup>/día (MO. y EQ.).

Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio(S/)	Parcial(S/)	Total
Materiales:						1238.79
Piedra chancada de 3/4"	m <sup>3</sup>		0.727	50	36.35	
Arena gruesa	m <sup>3</sup>		0.375	47	17.62	
Cemento Portland (42.5kg)	bls		8.38	23	192.74	
Agua + concentrado de bacteria	m <sup>3</sup>		0.199	4620	919.38	
Nitrato de calcio (25.0 kg)	bls		1.028	68	69.9	
Arcilla	kg		0.07	40	2.8	
Mano de Obra:						66.55
Capataz	hh	0.1	0.038	27.49	1.04	
Operario	hh	1	0.381	22.91	8.73	
Oficial	hh	1	0.381	18.12	6.9	
Peón	hh	8	3.047	16.37	49.88	
Equipos y Herramientas:						11.1
Herramientas manuales	%MO		3%	66.55	2	
Vibrador de concreto 4 HP 1.25"	hm	1	0.381	5.76	2.19	
Mezcladora de concreto 11 P3 (23 HP)	hm	1	0.381	18.14	6.91	
<b>TOTAL</b>						<b>S/1316.44</b>

Fuente: Propia.

Esta tabla muestra los precios unitarios para la elaboración de 1 m<sup>3</sup> de concreto patrón, con  $f'c$  de 210 kg/cm<sup>2</sup>, se está considerado las esporas bacterianas, que se necesita para 1 m<sup>3</sup>, y el nitrato de calcio que se requiere es de 25.72 kg/m<sup>3</sup> (0.109 kg/L x 235.88 L/m<sup>3</sup>), que está en función de la cantidad de agua con bacterias, que se utiliza en la mezcla.

## 5.6 Viabilidad del concreto autorreparable.



Figura N° 70: Costo de elaboración 1m<sup>3</sup> de concreto Patrón f'c=210kg/cm<sup>2</sup> de costo total: 330.14 soles.

Fuente: Propia.



Figura N° 71: Costo de elaboración 1m<sup>3</sup> de concreto más concentrado de bacteria y lactato de calcio f'c=210kg/cm<sup>2</sup> costo total: 1375.04 soles.

Fuente: Propia.

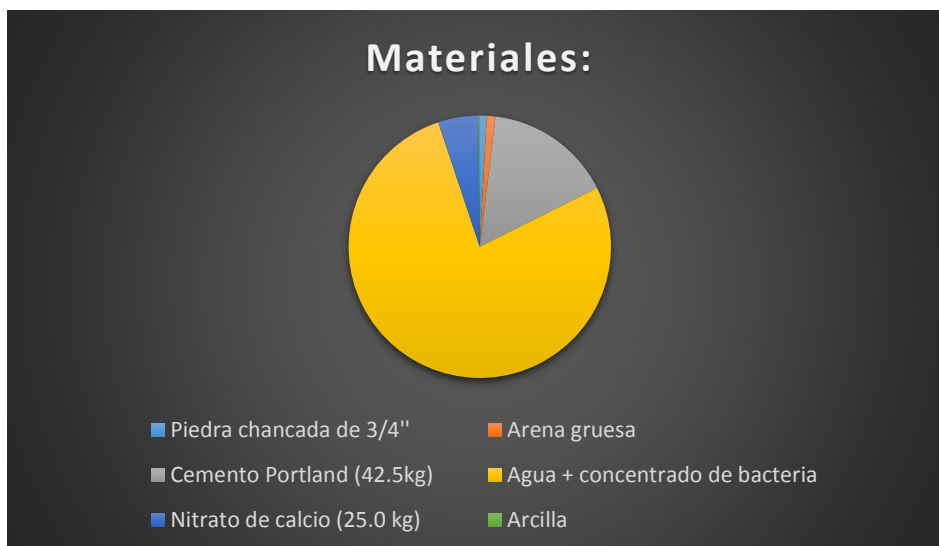


Figura N° 72: Costo de elaboración 1m<sup>3</sup> de concreto más concentrado de bacteria y nitrato de calcio  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  costo total: 1316.44 soles.

Fuente: Propia.

Como se observa en las figuras 57, 58, 59 la elaboración para 1 m<sup>3</sup> de concreto con bacterias es mayor, casi 4 veces más que el costo con el concreto convencional en comparación del aplicado con lactato de calcio y es casi 4 veces mayor que el elaborado con nitrato de calcio la diferencia es 1044.9 soles y 986.3 soles respectivamente.

Esto quiere decir que para aplicar un concreto con bacterias por el momento se tendrían costos elevados por temas de producción, para usos en pavimentos hidráulicos, sin embargo, como existe una mejora en las propiedades del concreto convencional, ya que las bacterias mejoran sus resistencias a compresión, flexión y tracción, y autosellar las fisuras que se puede buscar su aplicación para presas y canales.

### 5.7 Contrastación de hipótesis general y específicas.

#### Hipótesis Especifica 1

Hipótesis Alterna (Hi1): Con la determinación de los métodos que se utilizan en la autorreparación del concreto hidráulico, mejora la interacción del pavimento hidráulico con la bacteria.

Hipótesis Nula (Ho1): Con la determinación de los métodos que se utilizan en la autorreparación del concreto hidráulico, no mejora la interacción del pavimento hidráulico con la bacteria.

Como se menciona en el capítulo 5.2.1 en el método de adición directa, en la realización de pruebas experimentales se observó en primera instancia que la producción de cristales de calcita fue limitada y en segunda instancia que la supervivencia de las cepas bacterianas del género *Bacillus* se vio limitada a un período comprendido entre 2 a 6 meses y Giraldo, N (2017). Nos explica que estos resultados son porque el nutriente de las bacterias se integró a la matriz del concreto, limitando el acceso de las bacterias a este.

Y, Como se menciona en el capítulo 5.2.2 con el método de encapsulado, Jonkers estudio la introducción de bacterias en forma de una solución con nutrientes en agregados porosos (utiliza arcilla expandida) con la finalidad de proteger a la bacteria del decrecimiento de los poros de la matriz de hormigón, con el fin de potencializar tanto los procesos de precipitación de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) como la supervivencia de las cepas bacterianas, como se muestra en la figura N° 41, N°42 y N°43.

Por lo tanto, la hipótesis Alternativa (Hi1) se afirma ya que se determinó que el método de encapsulado es el que mejora la interacción de la bacteria con el concreto hidráulico para pavimentos hidráulicos.

#### Hipótesis Específica 2

Hipótesis Alternativa (Hi2): Con la adición de bacterias se efectiviza la autorreparación del concreto hidráulico para su mejoramiento del pavimento hidráulico en vías urbanas.

Hipótesis Nula (Ho2): Con la adición de bacterias no se efectiviza la autorreparación del concreto hidráulico para su mejoramiento del pavimento hidráulico en vías urbanas:

Si, en el capítulo 5.3 Asenjo, Dennis (2019). Nos habla que los resultados de las probetas que probó, nos mostraron que las cepas bacterianas precipitaban calcita en una cantidad considerable para reparar las fisuras, de acuerdo a las figura N°46 y como se muestra también en la figura N°45, se observa que la precipitación de calcita en las fisuras y aberturas que presenta el concreto se estuvieron reparando al

momento de la evaluación, lo que progresivamente fue sellando las fisuras o aberturas que presentaban las probetas de concreto.

También, En la investigación de Santos, Arnold (2021). en cuanto al tiempo que tardan las bacterias en sellar las grietas del bioconcreto, se realizó monitoreando y midiendo con el fisurómetro el agrietamiento observándose en las figuras N°47 a la N°52, se determinó que se lograba la autorreparación en poco más de 100 días. Por lo tanto, la hipótesis Alternativa (Hi2) se afirma ya que la adición de bacterias es efectiva en la autorreparación del concreto hidráulico.

### Hipótesis Específica 3

Hipótesis Alternativa (Hi3): La adición de bacterias mejora el comportamiento a compresión, tracción y flexión en el concreto hidráulico para pavimentos en vías urbanas.

Hipótesis Nula (Ho3): La adición de bacterias no mejora el comportamiento a compresión, tracción y flexión en el concreto hidráulico para pavimentos en vías urbanas.

Sí, en el capítulo 5.4, Asenjo, Dennis (2019). Diseña un concreto de  $f'c$  250 y le agrega una proporción de aditivo bacteriano de 20 lt/m<sup>3</sup> y demuestra que, al compararlo con un concreto patrón, mejora en las propiedades de flexión y compresión, pudiéndose observar estas en las figuras N° 54, N° 55, N° 56, N° 57, N° 58, N° 59, N° 60 y N° 61 y en las tablas N° 10, N° 11, N° 12, N° 13, N° 14 y N° 15. Ascate, Clarita & Miranda, Mary (2019). En su investigación explica el porcentaje adecuado para determinar la solución de bacterias con el que el concreto  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup> llegue a una resistencia de  $f'c=240$  kg/cm<sup>2</sup>, observando el mejoramiento de las propiedades de flexión y compresión en las figuras N° 62, N° 63, N° 64, N° 65, N° 66, N° 67, N° 68 y N° 69.

También en el artículo de ACI PUCP (2015), analiza y confirma el mejoramiento de las propiedades de tracción y compresión del concreto hidráulico al adicionar bacterias, observándose en las figura N° 70 y las tablas N° 16 y N° 17.

Por lo tanto, la hipótesis Alternativa (Hi3) se afirma ya que se evidencia la mejora en sus propiedades del concreto hidráulico ya sea a compresión, tracción y flexión.

#### Hipótesis Especifica 4

Hipótesis Alterna (Hi4): Existe un mayor valor de costo en la elaboración del concreto hidráulico con bacterias en la aplicación del pavimento hidráulico en vías urbanas.

Hipótesis Nula (Ho4): No existe un mayor valor de costo en la elaboración del concreto hidráulico con bacterias en la aplicación del pavimento hidráulico en vías urbanas:

Sí, Según el análisis que se realizó en el capítulo 5.5 teniendo como referencia la investigación de Santos, Arnold (2021) y datos de SENASA, en producción de cepas bacterianas, al comparar los precios de un concreto patrón como se ve en la tabla N°18 con unos adicionando el aditivo bacteriano como se ve en las tablas tablas N°19 y N°20 se llegó a constatar que la producción del concreto hidráulico autorreparable es casi 5 veces mayor a uno convencional, principalmente por el coste de producción de la cepa bacteriana y su encapsulamiento con el nutriente necesario para que trabaje de forma óptima dentro de la mezcla. Por lo tanto, la hipótesis Alterna (Hi4) se afirma ya que el costo de elaboración del concreto hidráulico con bacterias es mayor al convencional.

#### Hipótesis general

Hipótesis Alterna (Hi): Con la aplicación del concreto hidráulico autorreparable con bacterias se mejora el pavimento hidráulico en vías urbanas.

Hipótesis Nula (Ho): Con la aplicación del concreto hidráulico autorreparable con bacterias no se mejora el pavimento hidráulico en vías urbanas.

La investigación detallada en el capítulo 5.4 sobre mejoramiento en las propiedades de compresión, tracción y flexión, como podemos observar en la tabla N°21 se muestran las mejoras en sus propiedades.

Tabla 21: Valor de resistencia a compresión en un concreto hidráulico convencional y con bacteria.

Días	patrón Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Bacterias	
		Paenibacillus lactis Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Bacillus firmus Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
7	158.1	224.03	161.28
	160.82	230.01	163.81
	161.9	233.06	166.81
	164.66	233.59	172.37
	168.02	241.22	174.49
14	216.81	275.54	246.83
	218.11	276.03	247.18
	222.63	287.31	253.19
	226.76	292.12	254.5
	227.25	293.76	256.5
28	255.56	336.39	285.68
	255.58	344.96	290.96
	259.23	352.13	293.76
	259.78	358.63	299.69
	263.67	363.71	306.27

Fuente: Propia.

En el capítulo 5.2 se especifica el óptimo método para la interacción de la bacteria con el concreto hidráulico y en el capítulo 5.3 ya mencionado anteriormente, avalan de igual medida la mejora en lo correspondiente a la autorreparación de fisuras a lo largo del tiempo. Por lo tanto, la hipótesis Alternativa (Hi) se afirma ya con la aplicación del concreto hidráulico autorreparable con bacterias se mejora el pavimento hidráulico en vías urbanas.



## CONCLUSIONES

1. Se determinó que el concreto hidráulico autorreparable con bacterias incidió en el mejoramiento de sus propiedades a compresión, flexión y tracción aumentando en gran medida sus propiedades al agregarles ciertas cantidades de bacterias como se visualiza en el ítem 5.4 de análisis de resultados de influencia en las propiedades y también una mejora en sus propiedades o capacidades de autorreparación que fueron reforzados por el uso de encapsulados con bacterias y junto a nutrientes dentro del concreto.
2. Se determinó 2 métodos que se usan para la óptima autorreparación de concreto hidráulico con adición de bacterias de estas se vio que el método de encapsulado a largo plazo es mejor a comparación del de adición directa por que esta mejora la interacción de la bacteria con el concreto ya que lo protege a que se exponga con los otros materiales y así aumentando su vida útil y solo reaccionando cuando se forma la grieta y se expone la bacteria con la humedad para posteriormente autorrepararse como se observa en la figura N° 41,42 y 43 en el ítem 5.2.2.
3. Se determinó la efectividad de la adición de bacterias lográndose la autorreparación por sí mismo y que con el transcurso del tiempo (100 días aprox.) se logra recuperar de su fisura mostrada como se observa en la figura N° 45 y se visualiza también que el ancho máximo promedio de autorreparación es de un ancho no mayor a 8mm y en la longitud de la fisura no existe límite alguno, una vez que la fisura penetra el encapsulado esta libera al agente reparador, ocasionando el sellado de la fisura de manera automática; sin embargo, no se puede asegurar la efectividad de autorreparación en fisuras de tamaños mayores.
4. Se determinó que el concreto con bacterias influye mejorando su comportamiento a la compresión en comparación al concreto convencional, esta diferencia es un 14.10% más cuando la comparamos entre la figura N°55 y N°59 a los 28 días entre el concreto patrón y con la bacteria *Bacillus Firmus* y es un 35.7% más comparándola con la figura N°57 a los 28 días con la bacteria *Paenibacillus lactis*. Se determinó que el concreto con bacterias influye mejorando su comportamiento a flexión en comparación al concreto convencional, esta diferencia es por lo general un

17.24%,26.89%,34.48% de más al agregar 4%,8% y 12% de bacterias Bacillus Subtilis respectivamente a los 7 días. Estas se ven en la figura N°66, N°67 y N°68 en el ítem 5.4. Se determinó que el concreto con bacterias influye mejorando su comportamiento a tracción en comparación al concreto convencional, esta diferencia es un 13.75%,14.28% y 18.35% de aumento para los 3,7 y 28 días transcurridos respectivamente para la bacteria Bacillus Sphaericus. Esta se observa en la tabla número N°17.

5. El costo de elaboración de 1m<sup>3</sup> de concreto autorreparable es casi 5 veces más caro que uno convencional como se visualiza en el ítem 5.5 y 5.6, pero la gran diferencia de estos es su capacidad de curar sus fisuras y la mejora en sus propiedades, hay que tener en cuenta que para este caso se ahorraría mucho dinero en el mantenimiento del pavimento no se ha dado un valor de mantenimiento, pero está claro que con los años se ahorraría mucho en costos por mantenimiento.

## RECOMENDACIONES

1. En el Perú las aplicaciones de materiales y procesos constructivos innovadores es escasa por no decir nula, por ende, siempre buscamos información extranjera, se recomienda apoyar iniciativas nacionales para poder lograr la generación de nuevas y propias investigaciones de manera experimental y así poder comenzar nuevas líneas de investigaciones aplicadas para nuestro país.
2. Teniendo en cuenta que se usaron generalmente bacterias del tipo *Bacillus Subtilis* para las investigaciones, y el lactato de calcio como nutriente y se obtuvieron resultados favorables en las pruebas a compresión, flexión y tracción; para futuras investigaciones se recomienda profundizar en el estudio de otros tipos de bacterias como el *Paenibacillus lactis*, por ejemplo, u otros tipos de nutrientes para así ver si también traen posibles beneficios económicos o mejoras en sus características respectivamente.
3. En posteriores investigaciones sobre este innovador método se recomienda que se realicen estudios sobre el coste de mantenimientos del bioconcreto y de producción de cepas bacterianas para poder tener un dato exacto de la diferencia de costos entre un concreto convencional y uno con bacterias.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aliko, A (2017). Modelo mecano-químico-difusivo fenomenológico de autorreparación: implementación numérica y simulación con aplicación a materiales estructurales, Universidad de Sevilla. Sevilla, España.
- Ascate, Clarita; Miranda, Mary. (2019). Diseño de bioconcreto con bacillus subtilis para mejorar la resistencia en un concreto  $f'c=210\text{kg/cm}^2$ , Universidad Cesar Vallejo. Tarapoto, Perú.
- Asenjo, Dennis. (2019). Influencia de la incorporación del aditivo bacteriano en la reparación del proceso de fisuración controlada del concreto, Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca, Peru.
- Bravo, F (2015). Industrial application of biological self-healing concrete: Challenges and economical feasibility, Ghent University. Ghent, Belgium.
- Briones, G (2020). Análisis para la elaboración de mortero autorreparable con encapsulado químico de silicato de sodio y carbonato de calcio, Universidad Estatal Península de Santa Elena. La libertad, Ecuador.
- Cabezas, Nelson; Valarezo, Richard. (2019). Elaboración de hormigón autorreparable con encapsulado químico, Universidad central del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Condorchoa, F (2019). Factor clima y su relación con el deterioro de pavimentos rígidos en Ica año 2019, Universidad Ricardo Palma. Lima, Perú.
- Cuadros, J; Avalos, F; Muzquiz, E; Sosa, G. (2019). Obtención de  $\text{CaCO}_3$  con subtilis para la fabricación de concreto autorreparable, Universidad Autónoma de Coahuila. Saltillo, México.
- Daza, o; Guarnizo, f (2020). Revisión bibliográfica entre el concreto auto reparable y el concreto convencional, Universidad Católica De Colombia. Bogotá, Colombia.
- Giraldo M, Nicolas. (2017). Autorreparacion de fisuras en concreto rígido para pavimentos mediante la adición de bacterias bioprecipitadoras de carbonato de calcio, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Gonzalez, A; Corvalan, L; Parraguez, A; Struckrath, C (2018). Hormigón autorreparable con bacterias para la infraestructura vial, Pontificia Universidad Católica de Chile. Arica, Chile.
- González, A; Stukrath. C (2018) Hormigón autorreparable con bacterias para la infraestructura vial, Pontificia universidad católica de Chile. Santiago de chile, Chile.

- Guadalupe, W (2015). Hormigón autorreparable con bacterias y reforzado con fibras naturales: principios y aplicaciones en Ecuador, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.
- Hituyan, J; Valencia, L (2020). Analisis sistematico de literatura sobre patologías del concreto autoreparadas a partir de reacciones de mineralización de bacterias, Universidad Cooperativa de Colombia. Medellín, Colombia.
- Irigoin, U (2016). Universidad Católica de Santiago de guayaquil, Universidad Científica del Perú faculta de ciencias e ingeniería. Iquitos, Perú.
- Manzanares, Cristina (2017). Construcción viva sinergia entre materiales y microorganismos. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.
- Mendoza, R; Sánchez, J (2017). Análisis de la resistencia del concreto utilizando bacterias del género bacillus y biopolímeros como bioreparador, Universidad Andina del cuzco. Cuzco, Perú.
- Mihashi, H; Nishiwaki T (2012). Development of Engineered Self-Healing and Self-Repairing Concrete. Tohoku university, Japan.
- Mors, R; Jonkers, H (2019). Bacteria-based self-healing concrete –an introduction, University of Technology. Delft, Netherlands.
- Parra, Fernanda (2020). Hormigón Bacteriano. Tecnológico nacional de México. Ciudad de México, México.
- Parraguez, Araceli. (2018). Estudio sobre el rendimiento de bacterias como agente de autorreparacion en el hormigón bajo diferentes condiciones de temperatura y tipo de cemento, Universidad Técnica Federico Santa María. Valparaíso, Chile.
- Perez, L (2016). Evaluación visual de fisuras tempranas en las losas de pavimento rígido mr41 en la variante del municipio de Urrao, Universidad Nueva Granada. Bogotá, Colombia.
- Rubio, L (2016). Caracterización de la recuperación de las propiedades mecánicas en hormigones autosanables. Aplicación práctica en una nave industrial en Benifaió, Valencia, Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- Sanchez, O; Trujillo, F (2020). Revisión bibliográfica entre el concreto auto reparable y el concreto convencional. Universidad Católica de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Santos, A (2021). Aplicación del bioconcreto para reparar agrietamientos de los decantadores de la planta de tratamiento de agua La Atarjea – Lima, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima, Perú.

Úbeda, C (2014). Estudio Comparativo de hormigones autosellantes, Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.

Vásquez, Aysa (2019). Concreto autocurable  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>, reemplazando un porcentaje de agregado grueso con traquita, Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca, Perú.

# ANEXOS

## Anexo 1: Matriz de consistencia

Tabla 22: Matriz de consistencia

Problema General	Objetivo General	Hipotesis General	Variables	Indicadores	Indices	Instrumento	Metodologia
¿Como la aplicación de concreto hidráulico autorreparable con bacterias mejora el pavimento hidráulico en vías urbanas?	Determinar como la aplicación de concreto hidráulico autorreparable con bacterias incide en el mejoramiento de las propiedades del concreto para pavimentos hidráulicos en vías urbanas	Con la aplicación del concreto hidráulico autorreparable con bacterias se mejora el pavimento hidráulico en vías urbanas.	Concreto hidráulico autorreparable	Contenidos de bacterias	unidad	Guías de observación de laboratorio de Recopilación de investigaciones Registro de resultados de ensayos de formatos de control de llenado operación de fisuras.	
				Metodos de autorreparacion	unidad		
				Efectividad de autorreparacion	unidad		
Problemas específicos	Objetivo Especifico	Hipotesis Especifico					
1.¿Como los métodos que se utilizaran para la autorreparacion de concreto hidráulico con adición de bacterias mejora el pavimento hidráulico en vías urbanas?	1.Determinar los métodos que se utilizaran para la óptima autorreparación de concreto hidráulico con adición de bacterias para pavimentos hidráulicos en vías urbanas.	1.Con la determinación de los métodos que se utilizan en la autorreparacion del concreto hidráulico mejora la interacción del pavimento hidráulico con la bacteria.		Resistencia a Compresión	kg/cm2	Formatos de evaluación de resistencia a la compresión según normativa ASTM C39.	<b>Metodo de Investigacion:</b> Metodo:Deductivo Orientacion:Aplicada Enfoque:Cuantitativo Recoleccion de datos:Recolectiva. <b>Tipo de Investigacion:</b> Descriptiva <b>Nivel de Investigacion</b> Explicativa-Descriptiva- Aplicativa <b>Diseño de Investigacion:</b> No experimental-Transversal-retrospectiva <b>Población:</b> Concreto hidráulico <b>Muestra</b> No parametrica y son las vias urbanas para la ciudad de Lima. <b>Técnica:</b> Recolección de investigaciones sobre concreto autoreparables con bacterias. <b>Instrumento</b> Toma de datos de publicaciones,tesis,articulos y ensayos de laboratorios.
2.¿Como la adición de bacterias es efectiva en la autorreparacion del concreto hidráulico en vías urbanas?	2.Determinar la efectividad de la adición de bacterias para lograr la autorreparacion del concreto hidraulico en vías urbanas	2.Con la adición de bacterias se efectiviza la autoreparacion del concreto hidráulico para su mejoramiento del pavimento hidráulico en vías urbanas.		Resistencia a Tracción	kg/cm2	Formatos de evaluación de resistencia a la tracción según normativa ASTM C496.	
3.¿Como influye la adición de bacterias en el comportamiento a compresion, traccion y flexion del concreto hidraulico para pavimentos en vías urbanas?	3.Analizar como influye la adición de bacterias en el comportamiento a compresion,traccion y flexion en el concreto hidraulico para pavimentos en vías urbanas	3.La adición de bacterias mejora el comportamiento a compresión, tracción y flexión en el concreto hidráulico para pavimentos en vías urbanas.	Propiedades del concreto hidráulico				
4.¿Cuanto varían los costos de elaboración en el concreto hidraulico autorreparable con bacterias para la aplicación en pavimentos hidraulicos en vías urbanas?	4.Determinar la variacion en costo de la elaboracion del concreto hidraulico con bacterias en la aplicación del pavimento hidraulico en vías urbanas	4.Existe un mayor valor de costo en la elaboración del concreto hidráulico con bacterias en la aplicación del pavimento hidráulico en vías urbanas.		Resistencia a Flexión	kg/cm2	Formatos de evaluación de resistencia a la flexión según normativa ASTM C78.	

Fuente: Elaboración Propia

## INFORME TÉCNICO N° 5 - 2021

---

**PARA** : RUAG SRL  
**PROYECTO** : " IMPLEMENTACIÓN FOOD HALL LARCOMAR"  
**DE** : LEMICONS S.R.L.  
**ASUNTO** : INFORME DE DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO DOSIFICACIÓN 210 kg/cm<sup>2</sup>  
CEMENTO SOL TIPO I  
**FECHA** : 06 de setiembre del 2021

---

### DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO 210 kg/cm<sup>2</sup> (METODO ACI 211)

#### 1. CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPONENTES DEL DISEÑO DE MEZCLA

##### 1.1 AGREGADO FINO:

PROCEDENCIA	: PROPORCIONADO POR EL SOLICITANTE
PESO ESPECÍFICO DE MASA	: 2.624 g/cm <sup>3</sup>
PESO UNITARIO SUELTO SECO	: 1676 kg/m <sup>3</sup>
PESO UNITARIO SECO COMPACTADO:	1809 kg/cm <sup>3</sup>
HUMEDAD NATURAL	: 2.4 %
ABSORCIÓN	: 1.5 %
MÓDULO DE FINURA	: 2.7

##### 1.2 AGREGADO GRUESO:

PROCEDENCIA	: PROPORCIONADO POR EL SOLICITANTE
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	: 1 in
PESO ESPECÍFICO DE MASA	: 2.667 g/cm <sup>3</sup>
PESO UNITARIO SUELTO SECO	: 1495 kg/m <sup>3</sup>
PESO UNITARIO SECO COMPACTADO:	1623 kg/cm <sup>3</sup>
HUMEDAD NATURAL	: 0.5 %
ABSORCIÓN	: 0.6 %

##### 1.3 CEMENTO:

CEMENTO	: CEMENTO SOL TIPO I
PESO ESPECÍFICO	: 3.11 g/cm <sup>3</sup>

##### 1.4 AGUA:

- SE CONSIDERA EL USO DE AGUA POTABLE

  
ANGEL EDUARDO GOMEZ GARCIA  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 79951



## 2. CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO

- RELACIÓN AGUA CEMENTO : 0.56
- RESISTENCIA DE DISEÑO : 210 kg/cm<sup>2</sup>
- ASENTAMIENTO : 3-4 in

## 3. VALORES DE DISEÑO POR m<sup>3</sup> DE CONCRETO

### 3.1 VALORES DE DISEÑO SECO:

CEMENTO	:	356	kg
AGREGADO FINO SECO	:	677	kg
AGREGADO GRUESO SECO	:	1104	kg
AGUA DE MEZCLA	:	199	l

### 3.1 VALORES DE DISEÑO CORREGIDOS POR HUMEDAD:

CEMENTO	:	356	kg
AGREGADO FINO HÚMEDO	:	693	kg
AGREGADO GRUESO HÚMEDO	:	1110	kg
AGUA EFECTIVA	:	194	l

## 4. DOSIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL CONCRETO:

### 4.1 PROPORCIONES EN PESO:

CEMENTO	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	AGUA/BOLSA DE CEMENTO
1	1.9	3.1	23.2 litros

### 4.2 PROPORCIONES EN VOLUMEN:

CEMENTO	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	AGUA/BOLSA DE CEMENTO
1	1.6	3.1	23.2 litros

## OBSERVACIONES:

- MUESTRA Y PROCEDENCIA DE LOS AGREGADOS PROPORCIONADO POR EL SOLICITANTE.
- EN CASO DE NO USAR AGUA POTABLE SE RECOMIENDA REALIZAR LOS ENSAYOS DE CALIDAD CORRESPONDIENTES.

  
ANGEL EDUARDO GOMEZ GARCIA  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 79951

Fuente: RUAG SRL

**ANALISIS GRANULOMETRICO - MALLA # 200**  
(NORMA TECNICA PERUANA NTP 400.012 - NTP 400.018)

DATOS DE LA MUESTRA			
PROCEDENCIA AGREGADO	: PROPORCIONADO POR EL SOLICITANTE	N° DE SOLICITUD	: LEM2108181
TIPO DE AGREGADO	: AGREGADO GRUESO	CODIGO DE MUESTRA	: LEM2108181/001
SOLICITANTE	: RUAG SRL	FECHA DE EMISION	: 2021-09-08

**I - GRANULOMETRIA (NTP 400.012)**

Peso muestra seca inicial	17034.0
Peso muestra seca total	17034.0

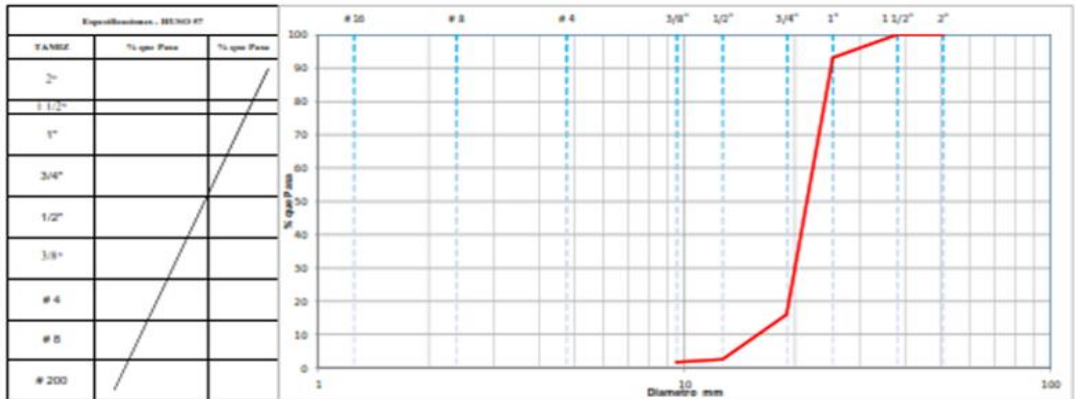
Tamiz		Peso Retenido Parcial	% Retenido Parcial	% Material acumulado	% Acumulado que pasa
mm	N°				
36.1	1 1/2"		0.0	0.0	100.0
25.4	1"	1105	7.0	7.0	93.0
19.05	3/4"	6580	38.5	45.5	54.5
12.7	1/2"	6549	38.4	83.9	16.1
9.52	3/8"	1742	10.2	94.1	5.9
4.75	N°4	543	3.2	97.3	2.7
2.38	# 8	93.0	0.5	97.8	2.1
1.19	# 16	55.0	0.3	98.2	1.8
0.60	# 200	168.0	1.1	99.3	0.7
Residuo		7.0	0.0	99.3	
Fino eliminado en lavado		112.0	0.7	100.0	
Modulo de Finura				7.3	
Tamaño Máximo				1 1/2 in	
Tamaño Máximo Nominal				1 in	

**II - MATERIAL MAS FINO QUE LA MALLA # 200 (NTP 400.018)**

Peso material seco sucio aprox. 0.1gr (1)	17034.0
Peso material seco lavado aprox. 0.1gr (2)	16922.0
Fino por lavado - aprox. 0.5% = (1-2)/1x100	0.70

**III - SECADO A MASA CONSTANTE : (NTP 339.185-2002)**

	Material sucio	Material lavado
Peso humedo	17115	
Peso seco 1		
Peso seco 2		
Peso seco 3	17034	
Diferencia 1 - 2 (%)		
Diferencia 2 - 3 (%)		
Humedad (%)	0.5	
Hora		



Procedimiento de lavado: Manual  Mecanico  N° Balanza: ... BL-1 Procedimiento de Secado: Horno Secado  Cocina

  
**ANGEL EDUARDO GOMEZ GARCIA**  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 79951

Fuente: RUAG SRL

**DETERMINACION DEL PESO UNITARIO**  
(NORMA PERUANA NTP 400.017.1999)

DATOS DE LA MUESTRA			
PROCEDENCIA AGREGADO	: PROPORCIONADO POR EL SOLICITANTE	N° DE SOLICITUD	: LEM2100181
TIPO DE AGREGADO	: AGREGADO GRUESO	CODIGO DE MUESTRA	: LEM2100181/001
SOLICITANTE	: RUAG SRL	FECHA DE EMISION	: 2021-09-08

**PESO UNITARIO COMPACTADO**

		1	2
A	Peso muestra Compactado (g)	11304	11411
B	Capacidad Volumetrica de la medida (cm <sup>3</sup> )	7000	7000
C	Peso Unitario Compactado (Kg/m <sup>3</sup> )	1615	1630
PROMEDIO P.U.C (Kg/m <sup>3</sup> )		1623	

Procedimiento por Apisonado

Procedimiento por Percusion

**PESO UNITARIO SUELTO**

		1	2
A	Peso muestra Compactado (g)	10469	10457
B	Capacidad Volumetrica de la medida (cm <sup>3</sup> )	7000	7000
C	Peso Unitario Suelto (Kg/m <sup>3</sup> )	1496	1494
PROMEDIO P.U.S (Kg/m <sup>3</sup> )		1495	

N° Balanza : 81-01

Procedimiento de Secado : Horno Secado

Cocina

  
**ANGEL EDUARDO GOMEZ GARCIA**  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 79951

Fuente: RUAG SRL

**DETERMINACION PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO**  
(NORMA PERUANA NTP 400,021:2002)

DATOS DE LA MUESTRA			
PROCEDENCIA AGREGADO	: PROPORCIONADO POR EL SOLICITANTE	N° DE SOLICITUD	: LEM2108101
TIPO DE AGREGADO	: AGREGADO GRUESO	CODIGO DE MUESTRA	: LEM2108101/001
SOLICITANTE	: RUAG SRL	FECHA DE EMISION	: 2021-09-06

GRAVA - AGREGADO > a 4,76 mm
------------------------------

		1	2	
A	Peso muestra Sat. Sumergido (g)	3600.0		
B	Peso muestra Sat. Sup. Seca (g)	5738.0		
C	Peso muestra Seco (g)	5703.0		PROMEDIO
	Peso especifico Sat. Sup. Seca = B/B-A (g/cm <sup>3</sup> )	2.684		2.684
	Peso especifico de masa = C/B-A (g/cm <sup>3</sup> )	2.667		2.667
	Peso especifico aparente = C/C-A (g/cm <sup>3</sup> )	2.712		2.712
	Absorción de agua = ((B - C)/C)*100 (%)	0.6		0.6

N° Balanza : BL-02  
 Procedimiento de Secado : 

X

  
 Cocina

  
 ANGEL EDUARDO GOMEZ GARCIA  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 79951

Fuente: RUAG SRL

**ANALISIS GRANULOMETRICO - MALLA # 200 - IMPUREZAS ORGANICAS**

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 400.012 - NTP 400.018 - NTP 400.024)

DATOS DE LA MUESTRA			
PROCEDENCIA AGREGADO	: PROPORCIONADO POR EL CLIENTE	N° DE SOLICITUD	: LEM2108101
TIPO DE AGREGADO	: AGREGADO FINO	CODIGO DE MUESTRA	: LEM2108101.002
SOLICITANTE	: RUAG SRL	FECHA DE ENSAYO	: 2021-09-06

**L - GRANULOMETRIA (NTP 400.012)**

Peso muestra seca inicial	516.8
Peso muestra seca total	516.8

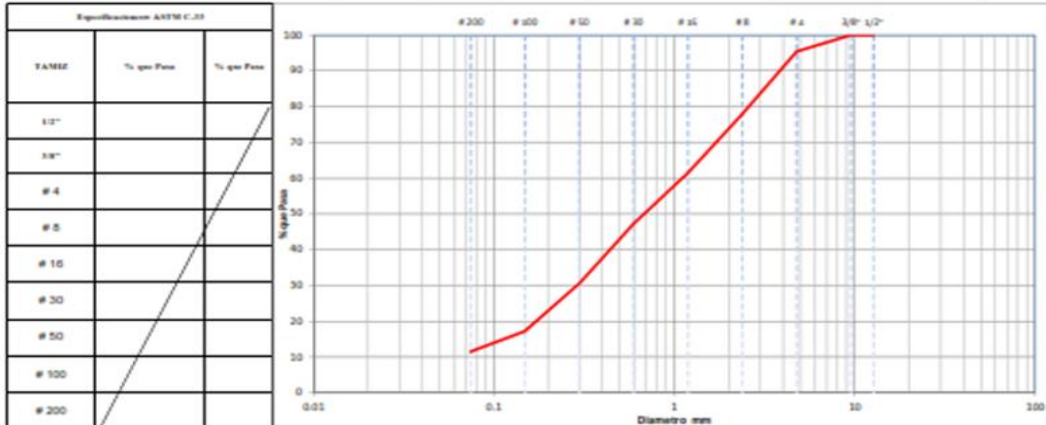
**E- MATERIAL MAS FINO QUE LA MALLA # 200 (NTP 400.018)**

Peso material seco sucio aprox. 0,1gr (1)	516.8
Peso material seco lavado aprox. 0,1gr (2)	460.9
Fino por lavado - aprox. 0.1% = (1-2)/1x100	11.0

Tamiz	Peso Retenido Parcial	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Acumulado que pasa
9.52		0.0	0.0	100.0
4.75	23.7	4.6	4.6	95.4
2.35	99.1	17.4	22.0	78.0
1.18	85.0	16.5	38.6	61.4
0.60	73.3	14.2	52.7	47.3
0.30	66.2	12.7	65.4	34.6
0.15	69.1	13.4	82.8	17.2
0.07	29.4	5.7	88.5	11.5
Residuo	2.7	0.5	89.0	11.0
Fino eliminado en lavado	56.6	11.0	100.0	
Modulo de Finura		2.7		
Tamano Maximo		3/8 in		
Tamano Maximo Nominal		N° 4		

**III - SECADO A MASA CONSTANTE : (NTP 339.185-2002)**

	Material sucio	Material lavado
Peso humedo	529.8	
Peso seco 1		
Peso seco 2		
Peso seco 3	516.8	
Diferencia 1 - 2 (%)		
Diferencia 2 - 3 (%)		
Humedad (%)	2.4	
Hora		



Procedimiento de lavado : Manual  Mecanico  N° Balanza : ..... Procedimiento de Secado : Horno Secado  Cocina

  
**ANGEL EDUARDO GOMEZ GARCIA**  
**INGENIERO CIVIL**  
**Reg. CIP N° 79951**

Fuente: RUAG SRL

**DETERMINACION DEL PESO UNITARIO**  
(NORMA PERUANA NTP 400.017:1999)

DATOS DE LA MUESTRA			
PROCEDENCIA AGREGADO	: PROPORCIONADO POR EL CLIENTE	N° DE SOLICITUD	: LEM2108101
TIPO DE AGREGADO	: AGREGADO FINO	CODIGO DE MUESTRA	: LEM2108101/002
SOLICITANTE	: RUAG SRL	FECHA DE ENSAYO	: 2021-09-06

**PESO UNITARIO COMPACTADO**

		1	2
A	Peso muestra Compactado (g)	5122	5129
B	Capacidad Volumétrica de la medida (cm <sup>3</sup> )	2833	2833
C	Peso Unitario Compactado (kg/m <sup>3</sup> )	1808	1810
PROMEDIO P.U.C (kg/m <sup>3</sup> )		1809	

Procedimiento por Apilado

Procedimiento por Percusión

**PESO UNITARIO SUELTO**

		1	2
A	Peso muestra Compactado (g)	4731	4763
B	Capacidad Volumétrica de la medida (cm <sup>3</sup> )	2833	2833
C	Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1670	1681
PROMEDIO P.U.S (kg/m <sup>3</sup> )		1676	

  
 ANGEL EDUARDO GOMEZ GARCIA  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 79951

N° Balanza :           81-001          

Procedimiento de Secado : Horno Secado

<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>

Cocina

Fuente: RUAG SRL

**DETERMINACION PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO FINO**  
(NORMA PERUANA NTP 400,022:2002)

DATOS DE LA MUESTRA			
PROCEDENCIA AGREGADO	: PROPORCIONADO POR EL CLIENTE	N° DE SOLICITUD	: LEM2108181
TIPO DE AGREGADO	: AGREGADO FINO	CODIGO DE MUESTRA	: LEM2108181/002
SOLICITANTE	: RUAG SRL	FECHA DE ENSAYO	: 2021-09-06

**ARENA - AGREGADO < a 5 mm**

		1	2	
A	Peso muestra Sel. Sup. Seca (g)	591.0	/	
B	Peso Frasco + Agua + Arido (g)	970.4		
C	Peso muestra seca (g)	493.8		
D	Peso frasco + agua (g)	657.6		<b>PROMEDIO</b>
	Peso específico Sel. Sup. Seca = A/D*A-B (g/m <sup>3</sup> )	2.662		2.662
	Peso específico de masa = C/D*A-B (g/m <sup>3</sup> )	2.624		2.624
	Peso específico aparente = C/D*C-B (g/m <sup>3</sup> )	2.728		2.728
	Absorción de agua = ((A - C)/C)*100 %	1.5		1.5

  
**ANGEL EDUARDO GOMEZ GARCIA**  
**INGENIERO CIVIL**  
**Reg. CIP N° 79951**

N° Balanza : BL-04

Procedimiento de Secado : Horno Secado

Cocina

Fuente: RUAG SRL

### Anexo 3: Autorización del uso del diseño de mezcla.



Estimados tesisistas :  
Se autoriza el uso del diseño de mezcla del proyecto FOOD HALL-CC LARCOMAR para uso en tesis mencionada Sin otro particular

Saludos cordiales



Edwin Oscco Guillén  
Área de Operaciones  
Av. Ricardo Palma 341 of 903  
Torre Platino. Miraflores, Perú  
(+511)3709463 / (+511)993926114  
www.ruag.pe



Fuente: Elaboración Propia