UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Propuesta de uso de concreto autorreparable con adición de bacteria bacillus subtilis y viruta de acero para mejorar la resistencia a la flexión de las estructuras de concreto en la construcción de centros educativos públicos en la ciudad de Ica

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR(ES)

Portilla Guevara, Nicolas Fernando	0000-0002-1730-8699
Marocho Elguera, Paola Alexandra	0000-0002-1007-4973

ASESOR(ES)

García Bedoya, Felipe Edgardo	0000-0002-2045-710x

Lima, 14 de noviembre de 2024

Tabla de contenido

Lista de figuras 6

Lista de Tablas 17

Dedicatoria 19

Agradecimientos 20

Resumen 21

Abstract 22

Capítulo 1. Identificación del problema 23

Descripción del problema 23

Delimitación del problema 26

Delimitación espacial: 26

Delimitación temporal: 26

Delimitación conceptual 27

Formulación del problema 28

Indicadores de medición del problema 28

Análisis de comportamiento de concreto simple 28

Análisis de comportamiento de concreto simple con bacteria subtilis al 1% 28

Análisis de comportamiento de concreto simple con bacteria subtilis y viruta de acero al 3%; 5% y 7% 28

Capítulo 2. Estado del arte 30

Artículos relacionados a la aparición de fisuras y la resistencia a la flexión 30

Artículos relacionados a agregados para concreto 32

Artículos relacionados a las propiedades físicas y mecánicas del concreto autoreparante 35

Artículos relacionados a estudios comparativos 37

Capítulo 3. Marco teórico 40

Aspectos biológicos 40

Selección de la especie bacteriana 40

La bacteria del género Bacillus Subtilis 41

Virutas de Acero 41

Aspectos de ingeniería 42

Fisuración en el concreto 42

Concretos Autorreparables 44

Diseño de mezclas – método ACI 45

Capítulo 4. Metodología 51

Hipótesis 51

Objetivos 51

Objetivo General 51

Objetivos Específicos 51

Limitaciones 52

Procedimiento 52

Nivel y Diseño de la Investigación 52

Procedimiento de la Investigación 53

Justificación del aporte de la investigación 57

Capítulo 5. Desarrollo de la solución ingenieril 59

Análisis de situación actual 59

Propuesta de solución 61

Definición de restricciones adquisición de materiales 61

Definición de Estándares 46

Diseño de la propuesta de solución 62

Elaboración de prototipo 71

Elaboración de mezcla 73

Elaboración de probetas 82

Ensayos 86

Capítulo 6. Análisis y validación de resultados 133

Resultados y análisis 133

Resultados de ensayos en concreto fresco 133

Resultados de ensayos en concreto endurecido 134

Validación de resultados 140

Conclusiones 141

Recomendaciones 144

Referencias bibliográficas 147

Anexos 155

Lista de figuras

Figura 1 *Árbol de problemas* 26

Figura 2 *Colegios con infraestructuras dañadas en la Ciudad de Ica* 27

Figura 3 *Comportamiento de viga sometida a flexión* 43

Figura 4 *Flujograma del proyecto* 56

Figura 5 *I.E José Toribio Polo* 59

Figura 6 *Deterioro y exposición de la infraestructura de la I.E. JOSE TORIBIO POLO* 60

Figura 7 *Deterioro y exposición de la infraestructura de la I.E. JOSE TORIBIO POLO* 60

Figura 8 *Curva granulométrica de agregado fino* 65

Figura 9 *Curva granulométrica de agregado grueso* 68

Figura 10 *Primera fase de activación de bacteria: secado por 24 horas* 75

Figura 11 *Primera fase de activación de bacteria: secado por 24 horas* 76

Figura 12 *Segunda fase de activación de bacteria: aplicación de alimento* 76

Figura 13 *Segunda fase de activación de bacteria: aplicación de alimento* 77

Figura 14 *Segunda fase de activación de bacteria: mezclado y conservación* 77

Figura 15 *Segunda fase de activación de bacteria: mezclado y conservación* 78

Figura 16 *Tercera fase de activación de bacteria: aplicación de bacteria* 78

Figura 17 *Tercera fase de activación de bacteria: aplicación de bacteria* 79

Figura 18 *Elaboración de mezclas-dosificación de material* 79

Figura 19 *Elaboración de mezclas-Preparación de mezcla para 45 L* 80

Figura 20 *Elaboración de mezclas-Obtención de mezcla*..... 80

Figura 21 *Ensayo de para determinar Slump* 81

Figura 22 *Ensayo de peso unitario de concreto fresco y cantidad de aire*..... 81

Figura 23 *Aplicación de desmoldante en los moldes*..... 84

Figura 24 *Llenado y obtención de probetas*..... 84

Figura 25 *Llenado y obtención de probetas*..... 85

Figura 26 *Desmoldado de Probetas*..... 85

Figura 27 *Curado de Probetas*..... 86

Figura 28 *Preparación de probetas para ensayo* 86

Figura 29 *Preparación Ensayo de compresión de la probeta N1 con concreto patrón luego de 7 días* 87

Figura 30 *Resultado del ensayo de compresión de la probeta N1 con concreto patrón luego de 7 días* 87

Figura 31 *Ensayo de compresión de la probeta N2 con concreto patrón luego de 7 días* 88

Figura 32 *Resultado del ensayo de compresión de la probeta N2 con concreto patrón*

luego de 7 días 88

Figura 33 *Ensayo de compresión de la probeta N3 con concreto patrón luego de 7 días* 89

Figura 34 *Resultado del ensayo de compresión de la probeta N3 con concreto patrón luego de 7 días* 89

Figura 35 *Ensayo de compresión de la probeta N1 con bacteria con adición de viruta de acero de 3% luego de 7 días* 90

Figura 36 *Resultado del ensayo de compresión de la probeta N1 con bacteria con adición de viruta de acero de 3% luego de 7 días* 90

Figura 37 *Ensayo de compresión de la probeta N2 con bacteria con adición de viruta de acero de 3% luego de 7 días* 91

Figura 38 *Resultado del ensayo de compresión de la probeta N2 con bacteria con adición de viruta de acero de 3% luego de 7 días* 91

Figura 39 *Ensayo de compresión de la probeta N3 con bacteria con adición de viruta de acero de 3% luego de 7 días* 92

Figura 40 *Resultado del ensayo de compresión de la probeta N3 con bacteria con adición de viruta de acero de 3% luego de 7 días* 92

Figura 41 *Ensayo de compresión de la probeta N1 con bacteria con adición de viruta de acero de 5% luego de 7 días* 93

Figura 42 *Resultado del ensayo de compresión de la probeta N1 con bacteria con adición de viruta de acero de 5% luego de 7 días* 93

Figura 43 *Ensayo de compresión de la probeta N2 con bacteria con adición de viruta de acero de 5% luego de 7 días* 94

Figura 44 *Resultado del ensayo de compresión de la probeta N2 con bacteria con adición de viruta de acero de 5% luego de 7 días* 94

Figura 45 *Ensayo de compresión de la probeta N3 con bacteria con adición de viruta de acero de 5% luego de 7 días* 95

Figura 46 *Resultado del ensayo de compresión de la probeta N3 con bacteria con adición de viruta de acero de 5% luego de 7 días* 95

Figura 47 *Ensayo de compresión de la probeta N1 con bacteria con adición de viruta de acero de 7% luego de 7 días* 96

Figura 48 *Resultado del ensayo de compresión de la probeta N1 con bacteria con adición de viruta de acero de 7% luego de 7 días* 96

Figura 49 *Ensayo de compresión de la probeta N2 con bacteria con adición de viruta de acero de 7% luego de 7 días* 97

Figura 50 *Resultado del ensayo de compresión de la probeta N2 con bacteria con adición de viruta de acero de 7% luego de 7 días* 97

Figura 51 *Ensayo de compresión de la probeta N3 con bacteria con adición de viruta de acero de 7% luego de 7 días* 98

Figura 52 *Resultado del ensayo de compresión de la probeta N3 con bacteria con adición de viruta de acero de 7% luego de 7 días* 98

Figura 53 *Ensayo de flexión de la viga N1 de concreto patrón luego de 7 días.* 99

Figura 54 *Resultado del ensayo de flexión de la viga N1 de concreto patrón luego de 7 días.* 99

Figura 55 *Ensayo de flexión de la viga N1 con bacteria con adición de viruta de acero de 3% luego de 7 días* 100

Figura 56 *Resultado del ensayo de flexión de la viga N1 con bacteria con adición de viruta de acero de 3% luego de 7 días* 100

Figura 57 *Ensayo de flexión de la viga N2 con bacteria con adición de viruta de acero de 5% luego de 7 días* 101

Figura 58 *Resultado del ensayo de flexión de la viga N2 con bacteria con adición de viruta de acero de 5% luego de 7 días* 101

Figura 59 *Ensayo de flexión de la viga N3 con bacteria con adición de viruta de acero de 7% luego de 7 días* 102

Figura 60 *Resultado del ensayo de flexión de la viga N3 con bacteria con adición de viruta de acero de 7% luego de 7 días* 102

Figura 61 *Ensayo de flexión de la viga con solo bacteria luego de 7 días* 103

Figura 62 *Resultado del ensayo de flexión de la viga con solo bacteria luego de 7 días* 103

Figura 63 *Ensayo de compresión de la probeta N1 de concreto patrón* 104

Figura 64 *Resultado del ensayo de compresión de la probeta N1 de concreto patrón* . 104

Figura 65 *Ensayo de compresión de la probeta N2 de concreto patrón* 105

Figura 66 *Resultado de ensayo de compresión de la probeta N2 de concreto patrón* .. 105

Figura 67 *Ensayo de compresión de la probeta N3 de concreto patrón* 106

Figura 68 *Resultado del ensayo de compresión de la probeta N3 de concreto patrón* . 106

Figura 69 *Ensayo de compresión de la probeta N1 de concreto con bacteria Subtilis y 3% de viruta de acero.* 107

Figura 70 *Resultado ensayo de compresión de la probeta N1 de concreto con bacteria Subtilis y 3% de viruta de acero* 107

Figura 71 *Ensayo de compresión de la probeta N2 de concreto con bacteria Subtilis y 3% de viruta de acero* 108

Figura 72 *Resultado de ensayo de compresión de la probeta N2 de concreto con bacteria Subtilis y 3% de viruta de acero* 108

Figura 73 *Ensayo de compresión de la probeta N3 de concreto con bacteria Subtilis y 3% de viruta de acero* 109

Figura 74 *Resultado del ensayo de compresión de la probeta N3 de concreto con bacteria Subtilis y 3% de viruta de acero* 109

Figura 75 *Ensayo de compresión de la probeta N1 de concreto con bacteria Subtilis y 5% de viruta de acero* 110

Figura 76 *Resultado del ensayo de compresión de la probeta N1 de concreto con bacteria Subtilis y 5% de viruta de acero* 110

Figura 77 *Ensayo de compresión de la probeta N2 de concreto con bacteria Subtilis y*

5% de viruta de acero 111

Figura 78 *Resultado del ensayo de compresión de la probeta N2 de concreto con bacteria Subtilis y 5% de viruta de acero* 111

Figura 79 *Ensayo de compresión de la probeta N3 de concreto con bacteria Subtilis y 5% de viruta de acero* 112

Figura 80 *Resultado de ensayo de compresión de la probeta N3 de concreto con bacteria Subtilis y 5% de viruta de acero* 112

Figura 81 *Ensayo de compresión de la probeta N1 de concreto con bacteria Subtilis y 7% de viruta de acero* 113

Figura 82 *Resultado de ensayo de compresión de la probeta N1 de concreto con bacteria Subtilis y 7% de viruta de acero* 113

Figura 83 *Ensayo de compresión de N2 probeta de concreto con bacteria Subtilis y 7% de viruta de acero* 114

Figura 84 *Resultado de ensayo de compresión de N2 probeta de concreto con bacteria Subtilis y 7% de viruta de acero* 114

Figura 85 *Ensayo de compresión de la probeta N2 de concreto con bacteria Subtilis y 7% de viruta de acero* 115

Figura 86 *Resultado de ensayo de compresión de la probeta N2 de concreto con bacteria Subtilis y 7% de viruta de acero* 115

Figura 87 *Ensayo de compresión de la probeta N3 de concreto con bacteria Subtilis y 7% de viruta de acero* 116

Figura 88 *Resultado de ensayo de compresión de la probeta N3 de concreto con bacteria Subtilis y 7% de viruta de acero* 116

Figura 89 *Ensayo de compresión de la probeta N1 de concreto patrón* 117

Figura 90 *Resultado de ensayo de compresión de la probeta N1 de concreto patrón* .. 117

Figura 91 *Ensayo de compresión de la probeta N2 de concreto patrón* 118

Figura 92 *Resultado del ensayo de compresión de la probeta N2 de concreto patrón* . 118

Figura 93 *Ensayo de compresión de la probeta N3 de concreto patrón* 119

Figura 94 *Resultado del ensayo de compresión de la probeta N3 de concreto patrón* . 119

Figura 95 *Ensayo de compresión de la probeta N1 de concreto con bacteria Subtilis y 3% de viruta de acero* 120

Figura 96 *Resultado del ensayo de compresión de la probeta N1 de concreto con bacteria Subtilis y 3% de viruta de acero* 120

Figura 97 *Ensayo de compresión de la probeta N2 de concreto con bacteria Subtilis y 3% de viruta de acero* 121

Figura 98 *Resultado de ensayo de compresión de la probeta N2 de concreto con bacteria Subtilis y 3% de viruta de acero* 121

Figura 99 *Ensayo de compresión de la probeta N3 de concreto con bacteria Subtilis y 3% de viruta de acero* 122

Figura 100 *Resultado del ensayo de compresión de la probeta N3 de concreto con bacteria Subtilis y 3% de viruta de acero* 122

Figura 101 *Ensayo de compresión de la probeta N1 de concreto con bacteria Subtilis y 5% de viruta de acero* 123

Figura 102 *Resultado del ensayo de compresión de la probeta N1 de concreto con bacteria Subtilis y 5% de viruta de acero* 123

Figura 103 *Ensayo de compresión de la probeta N2 de concreto con bacteria Subtilis y 5% de viruta de acero* 124

Figura 104 *Resultado del ensayo de compresión de la probeta N2 de concreto con bacteria Subtilis y 5% de viruta de acero* 124

Figura 105 *Ensayo de compresión de la probeta N3 de concreto con bacteria Subtilis y 5% de viruta de acero* 125

Figura 106 *Resultado del ensayo de compresión de la probeta N3 de concreto con bacteria Subtilis y 5% de viruta de acero* 125

Figura 107 *Ensayo de compresión de la probeta N1 de concreto con bacteria Subtilis y 7% de viruta de acero* 126

Figura 108 *Resultado de ensayo de compresión de la probeta N1 de concreto con bacteria Subtilis y 7% de viruta de acero* 126

Figura 109 *Ensayo de compresión de la probeta N2 de concreto con bacteria Subtilis y 7% de viruta de acero* 127

Figura 110 *Resultado del ensayo de compresión de la probeta N2 de concreto con bacteria Subtilis y 7% de viruta de acero* 127

Figura 111 *Ensayo de compresión de la probeta N3 de concreto con bacteria Subtilis y*

7% de viruta de acero 128

Figura 112 *Resultado del ensayo de compresión de la probeta N3 de concreto con bacteria Subtilis y 7% de viruta de acero* 128

Figura 113 *Ensayo de flexión de viga N1 de concreto patrón luego de 28 días* 129

Figura 114 *Resultado del ensayo de flexión de viga N1 de concreto patrón luego de 28 días* 129

Figura 115 *Ensayo de flexión de la viga N1 con bacteria con adición de viruta de acero de 3% luego de 28 días* 130

Figura 116 *Resultado del ensayo de flexión de la viga N1 con bacteria con adición de viruta de acero de 3% luego de 28 días* 130

Figura 117 *Ensayo de flexión de la viga N2 con bacteria con adición de viruta de acero de 5% luego de 28 días* 131

Figura 118 *Resultado del ensayo de flexión de la viga N2 con bacteria con adición de viruta de acero de 5% luego de 28 días* 131

Figura 119 *Ensayo de flexión de la viga N3 con bacteria con adición de viruta de acero de 7% luego de 28 días* 132

Figura 120 *Resultado del ensayo de flexión de la viga N3 con bacteria con adición de viruta de acero de 7% luego de 28 días* 132

Figura 121 *Agrietamiento de Concreto Patrón con adición de Bacteria Sutbilis* 138

Figura 122 *Agrietamiento de Concreto Patrón con adición de Bacteria Sutbilis* 138

Figura 123 *Agrietamiento de Concreto Patrón con adición de Bacteria luego 21 días* 139

Figura 124 *Agrietamiento de Concreto Patrón con adición de Bacteria luego 28 días* 139

Lista de Tablas

Tabla 1 *Indicadores de medición del problema* 29

Tabla 2 *Dosificación para diseño de concreto patrón* 63

Tabla 3 *Dosificación para diseño con adición de bacterias* 63

Tabla 4 *Dosificación para diseño con adición de bacterias y 3% de viruta* 63

Tabla 5 *Dosificación para diseño con adición de bacterias y 5% de viruta* 64

Tabla 6 *Dosificación para diseño con adición de bacterias y 7% de viruta* 64

Tabla 7 Análisis granulométricos se agregado fino 65

Tabla 8 Obtención de humedad de agregado fino 66

Tabla 9 Obtención de absorción de agregado fino 66

Tabla 10 Obtención de peso unitario suelto de agregado fino 67

Tabla 11 *Obtención de peso unitario compactado de agregado fino* 67

Tabla 12 *Resumen de resultados de ensayos de agregado fino* 67

Tabla 13 *Análisis granulométricos se agregado grueso* 68

Tabla 14 *Obtención de humedad de agregado grueso* 69

Tabla 15 *Obtención de absorción de agregado grueso* 69

Tabla 16 *Obtención de peso unitario suelto de agregado fino* 69

Tabla 17 *Obtención de peso unitario compactado de agregado fino* 70

Tabla 18 *Resumen de resultados de ensayos de agregado grueso* 70

Tabla 19 *Resumen de las propiedades físicas de los materiales y adiciones* 71

Tabla 20 *Relación de materiales para mezcladora de 3.5 pie3*..... 72

Tabla 21 *Relación de materiales con respecto a 1 bolsa cemento* 72

Tabla 22 *Resumen de resultados de ensayos al concreto fresco* 82

Tabla 23 *Cantidad de probetas*..... 83

Tabla 24 *Resultados de ensayos realizados en concreto fresco* 133

Tabla 25 *Ensayos de Compresión a los 7 días*..... 134

Tabla 26 *Ensayos de Flexión a los 7 días*..... 135

Tabla 27 *Ensayos de Compresión a los 14 días*..... 136

Tabla 28 *Ensayos de Compresión a los 28 días*..... 137

Tabla 29 *Ensayos de flexión a los 28 días* 137

Tabla 30 *Ensayos de agrietamiento*..... 139

Dedicatoria

En este importante momento de mi vida, es imposible no mirar atrás y reconocer el inmenso papel que cada uno de ustedes ha jugado en este viaje. A mis padres, gracias por ser los primeros maestros en mi vida, por inculcarme el valor de la perseverancia, la importancia de la educación y por creer en mí incluso cuando yo mismo dudaba. Vuestra fe inquebrantable y apoyo incondicional han sido mi faro en los momentos más desafiantes.

A mis hermanos, gracias por ser mis constantes compañeros de aventuras y desventuras, por las risas que aliviaron mis momentos de estrés y por todos los momentos compartidos que sirvieron de escape y motivación a lo largo de este proceso. Vuestra presencia y apoyo han añadido color y calidez a cada paso que he dado Spac.

Esta tesis es más que un logro académico; es un testimonio del amor, sacrificio, y apoyo incondicional que he recibido de cada uno de ustedes. Sin vuestra presencia y guía, el camino hubiera sido mucho más difícil de recorrer.

Con todo mi amor y gratitud

Agradecimientos

Antes de adentrarme en los aspectos técnicos y académicos de este trabajo, quiero tomar un momento para expresar mi más profundo agradecimiento a quienes han sido mi soporte y fuente de inspiración constante: mi familia. A mis padres, por ser pilares de fortaleza, amor y sabiduría en mi vida. Gracias por enseñarme, desde pequeño, el valor del esfuerzo y la persistencia, y por brindarme las oportunidades y el apoyo necesario para seguir mis sueños, incluso cuando estos parecían lejanos o difíciles de alcanzar. Vuestra fe inquebrantable en mí ha sido la luz que me guió a través de los desafíos de este viaje.

A mis hermanos, por ser mis eternos amigos y compañeros de vida. Gracias por los momentos de distracción, por hacerme reír cuando más lo necesitaba y por estar siempre interesados en mi progreso, ofreciéndome una palabra de aliento en los momentos cruciales. Vuestra energía positiva y apoyo incondicional han sido fundamentales en esta etapa de mi vida.

Este logro no es solo mío, sino también vuestro. Cada día de trabajo, cada desvelo, y cada pequeño éxito a lo largo de este camino ha sido posible gracias al amor, la paciencia y el sacrificio que todos ustedes han compartido conmigo. Este proyecto es también un tributo a ustedes, una muestra de mi gratitud y amor. Desde lo más profundo de mi corazón, gracias por ser mi constante fuente de inspiración y apoyo. Este logro es nuestro.

Por último, es importante agradecer a nuestro querido profesor y hoy asesor de tesis, quien logro sembrar en nosotros una gran curiosidad por la investigación y una perseverancia tenaz para nunca dejar de lado nuestro anhelo de seguir aprendiendo cada día más, no solo para ser bueno profesionales, sino sobre todo ser buenos ciudadanos comprometidos con las necesidades de nuestro entorno y ser agentes de cambio.

Con todo mi cariño,

Nicolas Portilla, Paola Marocho

Resumen

La investigación aborda el desarrollo del bioconcreto, un material innovador con capacidad de autorreparación ante fisuras, problema común en estructuras como vigas y columnas debido a esfuerzos de servicio o deficiencias en procesos constructivos. Este material promete reducir costos de reparación y prolongar la vida útil de las estructuras. Además, se explora la viabilidad de usar viruta de acero reciclada para aumentar la resistencia a la flexión de las vigas. El interés surge al reconocer problemas en las infraestructuras de colegios públicos, ubicados en ambientes vulnerables a humedad, variaciones climáticas, agentes externos agresivos y sismos moderados, que provocan grietas en el concreto, comprometiendo la integridad estructural y seguridad de los edificios. La metodología incluye ensayos de concreto y diseño de mezclas, evaluando resistencia a la flexión y compresión, granulometría, peso específico y humedad. Estos experimentos se realizaron en los laboratorios de Ingeniería Civil de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. El objetivo principal fue verificar si la inclusión de virutas de acero y la bacteria Bacillus subtilis mejora la resistencia y capacidad de autorreparación del concreto. El diseño del estudio se centró en una mezcla de concreto con resistencia a la compresión de 210 kg/cm², con slump entre 6” a 8”, cumpliendo con la Norma ACI 211. Los resultados obtenidos prometen marcar un precedente importante en el campo de la ingeniería civil, al ofrecer soluciones concretas y sostenibles ante desafíos estructurales críticos, contribuyendo así a la mejora continua de la infraestructura educativa y más allá.

Palabras Clave: bioreparación; autoreparación; sellado; calcita; bioconcreto; fisuras; resistencia; viruta de acero; flexión.

Abstract

The research focuses on the development of bioconcrete, an innovative material with the capacity to self-repair cracks, a common problem in structures such as beams and columns due to service stresses or deficiencies in construction processes. This material promises to reduce repair costs and extend the useful life of structures. In addition, the viability of using recycled steel shavings to increase the flexural strength of beams is being explored. The interest arises from the recognition of problems in the infrastructure of public schools, located in environments vulnerable to humidity, climatic variations, aggressive external agents and moderate earthquakes, which cause cracks in the concrete, compromising the structural integrity and safety of the buildings. The methodology includes concrete tests and mix design, evaluating flexural and compressive strength, granulometry, specific weight and humidity. These experiments were carried out in the Civil Engineering laboratories of the Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. The main objective was to verify if the inclusion of steel shavings and the bacterium Bacillus subtilis improves the strength and self-repairing capacity of concrete. The design of the study focused on a concrete mix with a compressive strength of 210 kg/cm², with slump between 6“ to 8”, complying with ACI 211 Standard. The results obtained promise to set an important precedent in the area of civil engineering by offering concrete and sustainable solutions to critical structural challenges, therefore contributing to the continuous improvement of educational infrastructure and beyond.

Keywords: biorepair; self-repair; sealed; calcite; bioconcrete; fissures; endurance; steel shavings; flexion.

u20181f157_Portilla Guevara, Nicolas Fernando_Propuesta de uso de concreto autorreparable con adición de bacteria bacillus subtilis y viruta de acero para mejorar

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%	20%	2%	9%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	7%
2	Submitted to Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas Trabajo del estudiante	4%
3	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet	2%
5	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	1%
6	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	pirhua.udep.edu.pe Fuente de Internet	<1%

Capítulo 1. Identificación del problema

A continuación, se presenta la identificación del problema, donde definiremos claramente el problema que se quiere resolver. Este proceso incluirá describir la situación actual, explicar el contexto y las circunstancias que rodean el problema, identificar señales o indicios del problema a tratar, determinar la causa raíz, investigar y analizar las posibles causas fundamentales del problema, estableciendo la importancia, para evaluar la magnitud y el impacto del problema, considerando a quiénes afecta y de qué manera, y finalmente formularemos el problema, proponiendo las soluciones del caso.

Descripción del problema

El concreto es ampliamente empleado en la construcción debido a su alta resistencia a la compresión, adaptándose a las necesidades estructurales. No obstante, las estructuras de concreto armado a menudo exhiben patologías y deficiencias estructurales ocasionadas por factores naturales, errores constructivos, falta de mantenimiento o cambios en el uso previsto de la estructura. Estos cambios pueden incrementar la carga última de la estructura, generando un aumento en la carga de flexión, manifestada a través de la aparición de fisuras.

Asimismo, según Jung et al. (2020), incluso cuando el proceso constructivo se lleva a caboadecuadamente en cada etapa, es inevitable la aparición de fisuras ya que se dan de manera natural en muchos casos, por ello es importante detectarlas para plantear un adecuado tratamiento a dichas fisuras. Además, en su estudio también menciona algunas causas comunes de presencia de fisuras como el ataque de cloruros, cambios de temperatura, rápidosecado en el proceso inicial de curado, asentamientos y sangrado del concreto, exposición ala corrosión, entre otros.

Por otro lado, es necesario precisar que esta problemática afecta directamente a las vigas,

donde estas contribuyen directamente a soportar las cargas en flexión, y juntamente con el acero. Aunque este material tiene una alta resistencia a la tensión, presenta algunas debilidades en sus propiedades, las cuales impactan directamente en su adherencia al concreto cuando se corroe. Teniendo en cuenta la premisa de Jung et al. (2020) es necesario identificar las causas que generan o agravan la aparición de fisuras en vigas considerando el lugar de estudio, el cual es la Ciudad de Ica.

Agrava la presencia de grietas y/o fisuras en el concreto, siendo el efecto de la corrosión, también llamada exfoliación, la cual consiste en la perdida de capas o laminas, donde presenta la reducción de área transversal del acero. Según Vila Carbajal (2019); esto se debe al deterioro causado por la exposición al viento, el cual transporta sales corrosivas en la zona. Durante el verano, el promedio de velocidad del viento supera los 13.5 kilómetros por hora, alcanzando incluso los 14.4 kilómetros por hora en octubre. Estas sales corrosivas penetran en las estructuras a través de las fisuras, exacerbando el deterioro. (Weather Spark, 2021).

Otra patología que se da por la presencia de fuertes vientos mayores a 8 km/h y presencia de climas cálidos conbaja humedad relativa es la retracción plástica, la cual se da producto de un aumento del fenómeno de exudación es decir una perdida rápida de agua por evaporación en el concreto provocando así fisuras en la superficie expuesta al ambiente.

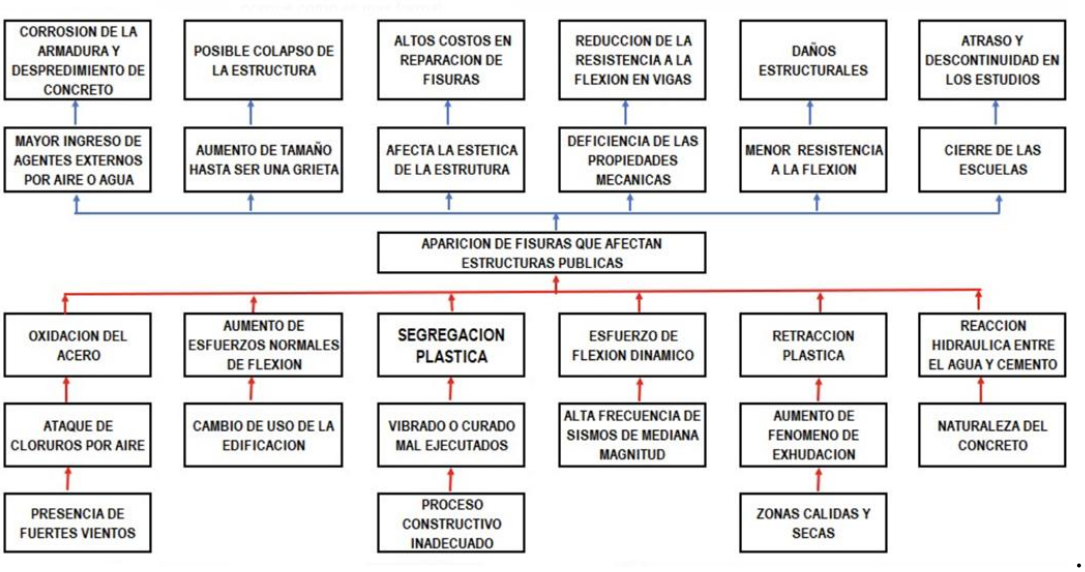
Otro factor a considera el factor tectónico de nuestro país, ya que bajo su litoral se encuentra la Placa tectónica de Nazca la cual es una de las que más acción sísmica genera, por esta razón el departamento de Ica presenta frecuente actividad sísmica, en donde un dato importante a resaltar, en base a los registros del Instituto Geofísico del Perú (IGP, 2021), es que la ciudad de Ica reporto en total 70 sismos durante el año 2021, los cuales tuvieron magnitudes de entre 3.7 y 5.8 en la escala de Richter. Este escenario es perjudicial para unaedificación ya

que genera que los esfuerzos de flexión incrementen, lo cual contribuye a la fisuración de los elementos estructurales. El impacto que generan este tipo de fallas estructurales, de manera más específica en centros educativos, en consecuencia, debe ser solucionado pues la educación es un derecho y una necesidad primaria, por tal motivo se debe garantizar su continuidad con infraestructura de calidad y segura. No obstante, según la Contraloría General de la República (CGR, 2022), durante su operativo nacional "Buen Inicio del Año Escolar 2022", más del 50% de las instituciones educativas públicas visitadas presentaron deficiencias en su infraestructura. El informe detalla que 3,455 escuelas fueron inspeccionadas durante dicho operativo. (61%) tienen techos dañados y 3.376 (59.6%) en paredes (Ministerio de educación del Perú [MINEDU], 2022). Asimismo, cabe mencionar que el Minedu (2020) en el Proyecto Educativo Nacional al 2036 - Informes y Publicaciones - Consejo Nacional de Educación - Gobierno Del Perú, tiene como uno de sus objetivos más importantes “lograr aprendizajes pertinentes en un ambiente educativo acogedor”, esto quiere decir que es necesario ofrecer a los infantes y adolescentes ambientes de calidad, para ello se exige que la infraestructura cumpla con asegurar condiciones básicas de seguridad y funcionalidad.

Basándose en lo expuesto anteriormente, en la Figura 1 se mostrará que esta investigación se centrará en la formulación de un diseño de concreto autoreparante utilizando bacterias y viruta de acero, con el objetivo de crear un material que cumpla eficazmente con los requisitos específicos de un proyecto.

Figura 1

Árbol de problemas



Delimitación del problema

Delimitación espacial:

El problema analizado esta centralizado en poder optimizar la resistencia hacia la flexión en las infraestructuras de los colegios públicos de Ica, principalmente porque en esta ciudad presenta gran sismicidad y fuertes vientos, lo que a largo plazo genera agrietamientos, por ello proponemos un diseño de un concreto autorreparante bajo en carbono, en base a una bacteria en particular y en ciertos porcentajes de virutas de acero. Asimismo, la aplicación de la propuesta esta centralizada en las escuelas públicas debido a que estas tienen un mayor porcentaje de inoperatividad por problemas de estructura a comparación de las escuelas privadas.

Delimitación temporal:

En base a una de las últimas visitas efectuada a 181 IIEE públicas en Ica, el planteamiento se centrará en mejorar la calidad de las futuras infraestructuras de centros educativos en la ciudad de Ica y así garantizar la continuidad de los estudios de los jóvenes y niños.

Delimitación conceptual

Considerando lo expuesto previamente, el objetivo central consiste en potenciar la resistencia a la flexión del concreto mediante la inclusión de la bacteria Bacillus Subtilis y la incorporación de viruta de acero, llegando así a una nueva propuesta de concreto autorreparable que ayude a extender la vidaútil de los centros educativos del distrito de Ica, tal como se muestra en la Figura 2.

Figura 2

Colegios con infraestructuras dañadas en la Ciudad de Ica

Nota. Adaptado de "Ica: Más del 50% de II. EE. públicas tienen deficiencias de infraestructura y carencia de servicios básicos", por CGR, 2022 (https://www.gob.pe/institucion/contraloria/noticias/590378-ica-mas-del-50-de-iiee-publicas-tienen-deficiencias-de-infraestructura-y-carencia-de-servicios-basicos)

Formulación del problema

¿Cuál sería el impacto potencial en la mejora de la resistencia a la flexión de las estructuras de concreto, específicamente en la construcción de centros educativos públicos en la ciudad de Ica, al implementar la propuesta de utilizar concreto autorreparable mediante la incorporación de la bacteria Bacillus Subtilis y viruta de acero?

Indicadores de medición del problema

Análisis de comportamiento de concreto simple

Es fundamental examinar los resultados de resistencia a la compresión y flexión en este concreto particular, ya que proporcionará un punto de referencia inicial para posteriormente contrastar y demostrar el impacto de los diferentes agregados propuestos en el diseño.

Análisis de comportamiento de concreto simple con bacteria subtilis al 1%

Para poder evaluar el comportamiento de las bacterias es necesario realizar ensayos en una mezcla de concreto simple con adición de bacterias encapsuladas para evidenciar y comprobar el efecto de autorreparación del concreto bacteriano.

Análisis de comportamiento de concreto simple con bacteria subtilis y viruta de acero al 3%; 5% y 7%

Con el objetivo de alcanzar un diseño optimo que ayude a mejorar la resistencia a la flexión del concreto bacteriano, se realizaran mezclas con 3 porcentajes de viruta, deesta manera se cuantificara el incremento de la flexión en cada caso.

Análisis de reparación de fisuras

Para poder identificar el efecto de autorreparación del concreto se deben fisurar la muestra de concreto y medir el ancho de las fisuras durante periodos de tiempo constantes para evaluar si las fisuras logran repararse.

Tabla 1

Indicadores de medición del problema

Indicador	Unidad de Medida	Descripción
Análisis de comportamientode concreto simple	Kg/cm2	Ensayo de resistencia a la compresión en probetas cilíndricas NTP339.034, el resultado deberá ser como mínimo de 210 kg/cm2 a los 28 días. Ensayo de resistencia a la flexión en vigas ASTM – 78, el resultado deberá estar en el rango de 20 kg/cm2 a 30 kg/cm2 cuando se llegue a los 28 días.
Análisis de comportamiento de concreto simple con bacteria Subtilis al 1%	Días / mm / Porcentaje de reparación	Ensayo de resistencia a la flexión en vigas ASTM, pero aplicando solo el 60% de la fuerza máxima, el resultado debería ser una viga ligeramente fisurada y que estas se autorreparen hasta los 28 días. Para evidenciar el efecto de autorreparación se debe tomar medidas del ancho de fisura y comparar.
Análisis de comportamiento de concreto simple con bacteria subtilis y viruta de acero al 3%	Kg/cm2	Ensayo de resistencia a la compresión en probetas cilíndricas NTP339.034, el resultado deberá ser como mínimo de 210 kg/cm2 a los 28 días. Ensayo de resistencia a la flexión en vigas ASTM – 78, el resultado deberá estar en el rango de 20 kg/cm2 a 30 kg/cm2 cuando se llegue a los 28 días.
Análisis de reparación de fisuras		

Capítulo 2. Estado del arte

A continuación, el estado del arte presenta una revisión exhaustiva de la literatura existente y de las investigaciones previas relacionadas a las propiedades del concreto. Este proceso nos permite comprender el contexto teórico y práctico del problema de las fisuraciones y resistencias del concreto, además de tener en cuenta las investigaciones de las teorías, métodos y enfoques que otros investigadores han utilizado, así como los resultados y conclusiones que han obtenido, ya que, con ello, justificaremos la necesidad del estudio presente y un diseño optimo que contribuya al avance del diseño de mezcla de concreto.

Artículos relacionados a la aparición de fisuras y la resistencia a la flexión

Teniendo en cuenta que Perú es un país es altamente sísmico, en especial la parte costa, es necesario analizar los efectos causados a las edificaciones luego de un evento sísmico.

Algo muy notorio luego de un temblor o sismos son la aparición de fisuras y grietas pero para tener una noción más clara de que es cada uno debemos definir a que llamamos fisuras y a que llamamos gritas, para ello hacemos referencia a los estudios de Gallo (2006), quien define a las fisuras como las aberturas con un ancho menor a 0.4 mm, mientras que se denominan grietas a las aberturas entre 0.4 mm y 1.00 mm. Asimismo, según el American Concrete Institute (ACI, 2001), se tiene que para climas secos los anchos de fisuras llegan hasta 0.41 mm. Además, también se sabe, por estudios realizados a cerca de las fisuras y grietas en sismos de Méndez (2024) aunque las fisuras causadas por sismos pueden inicialmente ser mayores a 0.5 mm y a menudo se consideran no críticas, según el ACI (2001), advierte que estas fisuras continúan aumentando su tamaño incluso hasta 20 años después de su formación, lo que sugiere que sí representan un riesgo significativo para la seguridad estructural, ya que con el tiempo seguirán creciendo hasta volverse grietas las cuales pueden causar la reducción de la sismo resistencia de

la edificación. Debido a lo expuesto anteriormente se concluye que es necesario tratar las fisuras que se presentan en el concreto armado para prevenir futuros daños estructurales a causa de grietas.

Además, para comprender el comportamiento ante sismos de las edificaciones, nos basaremos en el estudio de Liang y Lu (2018) el cual analiza la influencia de sub ensamblajes compuestos por vigas, columnas y losas con diferentes relaciones de resistencia a la flexión entre columnas y vigas. Según este estudio, los daños más comunes después de un evento sísmico incluyen daños graves en la conexión entre vigas y columnas, fallos en los extremos de las columnas, y falta de fluencia en el refuerzo de las vigas, etc. Como método para mitigar los efectos anteriormente mencionados se sugiere el uso de compuestos cementosos de ingeniería (ECC) en las regiones de unión y bisagra plástica de la viga, la columna y la losa. Entre los principales resultados de este análisis se tiene que la capacidad de flexión en los extremos de las vigas es mayor cuando la losa se diseña a tensiónque cuando se diseña a compresión. Asimismo, se observó que varios de los especímenes estaban cerca de alcanzar el mecanismo básico de falla "columna fuerte-viga débil cuando la resistencia a la flexión esperada oscila entre 1.4 y 1.6.

Debido a la importancia de tratar las fisuras por fallas de flexión, Faron y Rombach (2020) proponen el uso de una simulación numérica no lineales de flexión y cortante. para poder evaluar la aparición y crecimiento de grietas en vigas acorazadas y no acorazadas. Entre los resultados se encontró que el ancho promedio de las fisuras era de 0.31 mm, cifra que se obtenía con el método numérico, el cual la ser comparado con ensayos reales se apreció una compatibilidad mayor al 93% en todos los casos, por ello se valida el modelo.

Por otro lado, existe otro método para identificar grietas en concretos reforzados con fibra de acero, esto debido a que la presencia de fisuras genera que problemas como la corrosión de la

armadura generen problemas de durabilidad y resistencia a la construcción, además actualmente se realizan inspecciones de manera manual para detectar grietas, pero esta manera de detección no es eficaz, ya que depende mucho de la subjetividad de quien la realiza y necita mucho tiempo para llevarse a cabo. En vista de la ineficacia del método manual, Ding et al. (2021) propone el uso del método de aprendizaje profundo para establecer un modelo de detección de grietas, para lo cual primero prepara distintas combinaciones de concreto con variaciones de fibra de acero de 0.1%, 0.3%, 0.5%, 1%, 1.5%, 2% y 3% respectivamente, luego se procede a llevar las muestras a las pruebas de flexión de donde seobtendrán imágenes de las grietas. Luego de la obtención de imágenes estas se ingresan a lared en forma de marices vectoriales, de esta manera se va generando una base de datos sobrelas grietas encontradas. Después se procede a aplicar y método de aprendizaje profundo paradarle a la red capacidad de detección de objetos. Según los resultados se observó que el modelo puede detectar fisuras con una eficacia del 96%, sin embargo, tiene limitaciones debido a la nitidez de las imágenes y la presencia de sombras o manchas en la misma, al perfeccionar este tipo de métodos se puede prevenir accidentes debido a fallas de flexión y aparición de fisuras.

Artículos relacionados a agregados para concreto

Tomando en consideración los aportes de las fibras recicladas**,** Nanayakkara et al. (2021)investigo las propiedades de ingeniería a largo plazo (hasta un año), la resistencia a lacompresión, la contracción por secado, la difusión de cloruro, la absorción de agua, la permeabilidad y la capacidad de sorción de los hormigones de escoria alcalina activada (AAS) producidos con 100 % de árido reciclado y 100 % de árido de cantera, respectivamente. Se usó el mismo proceso de mezcla en todo momento para permitir unacomparación directa de las propiedades a realizar por medio de un microscópico detalladopara investigar los cambios de

microestructura, especialmente en la zona de transicióninterfacial y en la estructura del gel. Asimismo, Norambuena-Contreras et al. (2018) presento un extenso programa experimental llevado a cabo con el propósito de analizar el impacto de la incorporación de desechos metálicos en las características eléctricas, termo físicas y en el proceso de reparación de grietas mediante microondas de mezclas asfálticas. Con este objetivo en mente, se examinaron en un entorno de laboratorio mezclas asfálticas que contenían distintas cantidades de fibras de lana de acero y virutas de acero, ambos residuos sólidos provenientes de la industria metalúrgica. Además, se evaluó la distribución espacial de los residuos metálicos y su integridad dentro de las muestras de mezcla asfáltica mediante tomografía computarizada de rayos X. Las propiedades de curación de grietas de las muestras de asfalto usando calentamiento porradiación de microondas se midieron aplicando diferentes tiempos de calentamiento. Y a su vez, El-Dieb et al. (2018) identificó que el efecto de diferentes rellenos conductivos sobrelas propiedades del concreto fresco, las resistencias a la tracción por compresión y divisióny el rendimiento de durabilidad del concreto eléctricamente conductivo (ECC) para aplicaciones estructurales. El principal objetivo del estudio era mejorara la conductividad eléctrica del hormigón estructural y producir hormigón eléctricamente conductor (ECC) conbuenas propiedades estructurales y características de durabilidad para aplicaciones multifuncionales. Como reemplazo parcial en volumen del agregado fino (1%, 3%, 5% y 7% en volumen) se utilizaron diferentes rellenos conductores como virutas de acero, polvo de carbón y polvo de grafito. Un aditivo crucial a considerar es aquel que actúa como nutriente para las bacterias. Para abordar este aspecto, Jeong et al. (2019) llevó a cabo una investigación sobre la utilización de aditivos orgánicos, como el formiato de calcio, el acetato de calcio y el lactato de calcio. Todos los compuestos se aplicaron para una nueva bacteria aislada denominada Bacillus sp. BY1, para ver cuál era su efecto sobre

el concreto autorreparable. De lo obtenido se supo que la aplicación sola de la bacteria no era suficiente, sino que se complementa y aumenta su efecto de reparación e incremento de la resistencia a la compresión al aplicarle los diferentes compuestos de calcio. Respecto a los compuestos se observó que los biominerales producto de la aplicación de formiato de calcioy lactato de calcio presentan una geometría más angular con superficies rugosas y eran calcita en un 95%, mientras que la aplicación de acetato de calcio formaba biominerales másredondos y con superficies lisas, de los cuales un 61,5% eran calcita.

Se realizó un estudio sobre la flexión en concreto convencional, donde se sustituyó el agregado grueso por ladrillo triturado. Masías-Mogollón (2018) en su diseño experimental utilizó el método ACI-211.1 y consideró una relación agua/cemento de 0.54, evaluando tres niveles de reemplazo parcial del agregado grueso (5%, 10% y 20%) en peso, con un tamaño de partícula que varía entre 1” y el tamiz #8. Se analizaron la trabajabilidad, el peso unitario y el contenido de aire del concreto fresco, así como la resistencia a la compresión, tracción y flexión por tracción, además de la absorción del concreto endurecido a los 28 días. “Los resultados muestran que el reemplazo parcial del agregado por ladrillo triturado en estado seco mejora las propiedades mecánicas del concreto endurecido” (Masías-Mogollón, 2018, p. 9), aunque provoca una reducción considerable en la trabajabilidad. Se observaron diferencias notables entre las dos canteras, destacando un mejor comportamiento del ladrillo de Cerro Mocho, que posee mayor dureza y capacidad de absorción que el de La Huaca, tanto en el concreto fresco como en el endurecido (Masías-Mogollón, 2018). Asimismo, Rojas Dianderas (2020) propone el uso de viruta de acero debido a que gran parte de l.as edificaciones en el Perú presentan fisuras o grietas debidos a la baja resistencia a la flexión que presenta el concreto simple. Para ello serealizaron experimentos con muestras de concreto adicionadas con 4%, 6% y 8% de viruta respectivamente,

además se analizó su nivel de resistencia a los 14 y 28 días. Luego de analizar los resultados se obtuvo que el porcentaje óptimo de aplicación de este material eradel 4%, ya que con esta medida se alcanzó mejoras en la resistencia a la flexión de hasta 6.83% con respecto a un concreto simple, mientras que con los otros porcentajes sedisminuía dicha resistencia.

Artículos relacionados a las propiedades físicas y mecánicas del concreto autoreparante

En relación a las características físicas y mecánicas del concreto autorreparador, Wang et al. (2019) investigo acerca de una aplicación de un sistema de resiliencia inteligente basado en microcápsulas a la construcción de túneles en un intento de promover un mayor desarrollo del novedoso sistema de autorreparación basado en microcápsulas para su aplicación en estructuras de concreto. Enfocándose en los fundamentos para regular la resistencia y la longevidad de las estructuras de concreto, este estudio de aplicación examina el rendimiento de transporte relacionado con la resistencia y la durabilidad del hormigón autorreparable mediante el uso de un agente de curación micro encapsulado en un entorno práctico de ingeniería y la realización de pruebas de laboratorio y de campo. En primer lugar,se investigaron las propiedades físicas de las microcápsulas sintetizadas mediante un métodode polimerización in situ. Se utilizó una prueba de contracción a largo plazo para evaluar lainfluencia de las microcápsulas incrustadas en el comportamiento de contracción del hormigón autorreparable. Para investigar la recuperación del rendimiento con respecto a la resistencia y la permeabilidad del hormigón autorreparable, se realizaron una prueba de resistencia a la compresión y una prueba de migración rápida de cloruro (RCM), respectivamente. Así como también, Park y Choi, (2021) examino las propiedades de autorreparación de materiales cementosos con escoria de alto horno granulada molida (GGBS), agente de expansión agentes de expansión de sulfoaluminato de calcio (CSA) y aditivos cristalinos (CA). Para evaluar cuantitativamente la composición de fase de los productos de

autorreparación, los productos de autorreparación se recogieron utilizando el método de fisuración artificial y se analizaron realizandotermogravimetría/termogravimetría derivada (TG/DTG). Para investigar los productos de autorreparación según la posición de la grieta, los productos de autorreparación en la superficie y las grietas internas se analizaron mediante la realización de imágenes de electrones retrodispersados (BSE) y espectrometría de dispersión de energía (EDS). Los rendimientos de autocuración de los especímenes se evaluaron a través de una prueba de flujo de agua. Se analizó la correlación entre la composición de la fase y el rendimiento de autorreparación de los productos de autorreparación. Además, Xue et al. (2020) el fin de explorar los efectos de la curación de grietas en la recuperación del rendimiento de flexión del mortero autorreparable, la curación de una sola grieta se logró mediante la autocuración autógena y autónoma. Donde la autocuración, se realizó una precarga de compresión cíclicaen las muestras para inducir grietas, y luego se compararon los efectos de la curación de grietas en los índices de recuperación de daños de rigidez, módulo elástico, plástico y resistencia a la compresión. Además, se investigó la interfaz entre los productos de curacióny la superficie de la grieta para revelar el mecanismo de recuperación del rendimiento mecánico mediante la curación de grietas, y de esta manera proporcionar una idea de los comportamientos de curación de grietas de la eficiencia de autorreparación del compuesto cementoso utilizando aditivos cristalinos. De igual manera, otra investigación que se centraen las propiedades del concreto autorreparable es la tesis de los autores Daza-Sánchez y Guarnizo-Trujillo (2021) los cuales observaron una significativa problemática en términos de la resistencia y durabilidad de estructuras construidas con concreto convencional. Por consiguiente, sugieren la adopción de concreto autorreparable como una solución potencial. Los estudios indican que este material puede exhibir una resistencia a la tracción hasta 5 veces mayor que el concreto estándar, debido a

su notable ductilidad. Además, en lo que respecta a la resistencia a la compresión, se ha observado un incremento de hasta un 46.18% en comparación con el concreto convencional después de 7 días de curado. Asimismo, es muy resistente ante la presencia de agentes externos como lluvias con un altonivel de acidez y mejora la permeabilidad del concreto, sin embargo, lo que más resalta en este concreto es su capacidad de repararse a sí mismo, pues puede reparar al 100% una fisuraa los 100 días. Otra literatura acerca de este material es el artículo titulado ¿El hormigón bacteriano como material de construcción sostenible?, donde Stanaszek-Tomal (2020) habla sobre la problemática medioambiental que genera el alto consumo de cemento en concretoscomunes, ya que esto implica un alto índice de contaminación y gasto de energía. Asimismo,resalta la presencia de fisuras en el hormigón convencional, por lo cual propone el uso de concreto con bacterias, las cuales luego de ser sometidas a ensayos se determinó que según su especie cada una aporta diferentes beneficios al concreto entre los cuales resaltan la reducción de absorción de agua, aumento de la resistencia a cloruros, incrementan de la resistencia a la compresión y son muy efectivos para el tratamiento de grietas.

Artículos relacionados a estudios comparativos

Comparando algunas de las adiciones que se utilizan en un concreto autoreparante, Jin et al. (2018) formuló la hipótesis de que los hongos son más eficaces que las bacterias en la reparación de grietas biogénicas, gracias a su capacidad excepcional para favorecer la formación rápida de precipitados de carbonato de calcio. Los hongos generalmentemuestran cualquiera de los dos modos de crecimiento, similares a levaduras o filamentosos.Las células de los hongos filamentosos crecen como estructuras tubulares, alargadas y similares a hilos llamadas hifas, que contienen múltiples núcleos y crecen apicalmente con nuevos ápices que emergen de la formación de ramas laterales, creando una red 3D llamadamicelio. Se cree ampliamente que los hongos

filamentosos poseen ventajas distintivas sobreotros grupos microbianos para ser utilizados en una variedad de aplicaciones de tecnologíasbasadas en biomineralización debido a su capacidad superior de unión a la pared celular y su extraordinaria capacidad de absorción de metales. Juntamente con la investigación de Estrada y Junior (2021) la investigación se centró en la reparación de los agrietamientos de los decantadores de la Atarjea utilizando un material de construcción innovador, conocido como bioconcreto, que representa la principal causa de gastos en reparaciones. Todos los datos necesarios para llevar a cabo este estudio se obtuvieron mediante la elaboración de protocolos de diseño, tanto biológicos (aislamiento, cultivo, reproducción y esporulación de bacterias) como ingenieriles (diseño de mezcla y ensayos de concreto para determinar resistencia a la compresión, granulometría, humedad, etc.). Se estableció un diseño de mezcla con una resistencia característica a compresión de 210 kg/cm², un asentamiento de 4 pulgadas y se cumplió con los estándares establecidos por el ACI (1991). Los resultados demostraron que el bioconcreto alcanza su resistencia a partir de los 28 días y es capaz de auto reparar fisuras y grietas de manera efectiva, con una reducción de 0.20 mm en el ancho de las mismas por mes. Esto indica que la hipótesis inicial es factible y viable. Sumando a ello Pariona Tunque (2021) el propósito de esta investigación es analizar el rol de las bacterias alcalófilas *Bacillus cohnii* en el proceso de auto-reparación de fisuras en concretos sostenibles. Se busca identificar el medio de cultivo líquido que favorezca la mayor cantidad de unidades formadoras de colonias, así como evaluar cómo estas bacterias afectan la recuperación de la resistencia a la compresión a través de la auto-reparación de fisuras en concretos sostenibles. Además, se pretende determinar el ancho máximo de fisura que puede ser reparado de manera autónoma durante un período de 28 días.

Complementando a los estudios anteriores, es necesario también analizar el tipo de aplicación adecuado de bacterias, para ello Intarasoontron et al. (2021) compara los métodos de células vegetativas bacterianas, que implica la utilización de una solución que contiene células bacterianas, urea y un compuesto de calcio (MICP) los cuales se aplican sobre superficies agrietadas, y el método de esporas bacterianas micro encapsulada, el cual consiste en introducir capsulas de bacteriasen el concreto las cuales permanecen inactivas hasta la aparición de alguna grieta. Luego deanalizar ambos métodos concluyo que es recomendable utilizar el método de células vegetativas ya que estas presentan una mejora en la resistencia a la compresión y es más rápida en la reparación de fisuras, sin embargo, solo se puede aplicar en grietas superficiales, mientras que con las microcápsulas se podía reparar el concreto a nivel interno y externo, pero es más lento debido a que las bacterias demoran más tiempo en activarse y además puede generar en algunos casos una reducción de la capacidad de carga dependiendo de cómo se desarrolle la dosificación. Por otro lado, respecto a la aplicación de concreto autorreparable, Davies et al. (2018) presenta un estudio sobre el uso de 5 técnicas diferentesde autorepación del concreto aplicadas a 5 paneles para evaluar el efecto de cada una, las técnicas empleadas fueron: adición de microcápsulas, tendones de polímero, bacteriasconcretas, redes de flujo y en un panel no se aplicó nada para que sirviera de punto de comparación. Luego de la experimentación se concluyó que la aplicación de las técnicas erasencilla, pero en cuanto a propiedades cada método aporta algo de manera más resaltante que otros, por ello es necesario identificar el agente o problema que se quiere combatir y deacuerdo a eso escoger el método más adecuado, sin embargo, si se obtuvieron resultados exitosos en todos los casos. Complementando a lo anterior Amran et al. (2022) llevo a cabo un análisis económico de esta aplicación, concluyendo que el empleo de concreto convencional resulta en costos más elevados en comparación con el concreto

autorreparable. Esto se debe a que las reparaciones necesarias tras las fallas del material convencional implican gastos considerablemente altos. En vista de esta situación, el autor sugiere que la adopción de materiales innovadores como el concreto autorreparable sería una solución eficaz para reducir los costos asociados con la detección y el tratamiento de fisuras. ya que según estudios de su aplicación se concluyó que dicho material ayuda a la durabilidad y resistencia de las edificaciones, pues demostró una alta eficiencia en reparación de grietas. Asimismo, el autor menciona que es posible mejorar las propiedades de este material mediante el uso de nanopartículas de carbono y nano fibras para aumentar la resistencia.

Capítulo 3. Marco teórico

En este capítulo, se detalla el sustento teórico y las diversas teorías que fundamentan tanto el proyecto como la solución propuesta. Se llevará a cabo un análisis crítico de los enfoques, teorías o paradigmas principales que han abordado el problema desde las disciplinas correspondientes. Además, se expondrá la perspectiva teórica adoptada por el investigador para el desarrollo de su Proyecto de Capstone.

Aspectos biológicos

Selección de la especie bacteriana

Las bacterias son increíblemente diversas, siendo numerosas especies bacterianas que participan en la precipitación de carbonatos minerales en su gran mayoría en entornos naturales, incluidos suelos, formaciones geológicas, biopelículas de agua dulce, océanos y lagos salinos. En este estudio se ha desarrollado una técnica innovadora para la remediación de estructuras dañadas mediante la aplicación de un proceso selectivo de taponamiento microbiano. Este proceso implica el uso de actividades metabólicas que fomentan la precipitación de carbonato de calcio en forma de calcita Siddique y Chahal (2011). Entre las bacterias que pueden ser utilizadas

en este contexto, todas pertenecientes al género Bacillus, se incluyen las siguientes:

- Pasteurii
- Escherichia Coli
- Subtilis, Halodurans
- Pseudoformis,
- Sphaericus

La bacteria del género Bacillus Subtilis

Dentro del género Bacillus, se identifican más de 30 especies de bacilos Gram-positivos, los cuales pueden alcanzar longitudes de hasta 12 micrómetros y poseen la capacidad de formar esporas. De estas especies, aproximadamente 20 muestran una mejor adaptación a condiciones aeróbicas. Notablemente, la especie Bacillus Subtilis ha demostrado ser particularmente eficaz, mejorando la resistencia a la compresión y la resistencia a la tracción del concreto en más de un 15% comparado con el concreto convencional a los 28 días. Este microorganismo no solo juega un papel crucial en el aumento de la resistencia del concreto tradicional, sino también en la autocuración de grietas. Por lo tanto, la aplicación de estas bacterias ofrece una estrategia viable para la gestión de microfisuras y la mejora en la durabilidad del concreto según Nain et al. (2019).

Virutas de Acero

La viruta de acero se produce como un subproducto delgado y alargado durante el proceso de torneado de metales, específicamente del acero. Aunque inicialmente pueda parecer un desecho, este material permite la fabricación de piezas con formas complejas, tolerancias ajustadas y acabados superficiales de alta calidad. Es crucial comprender la composición química de la viruta para optimizar su reutilización o reciclaje. Dado que el laboratorio que suministra la

viruta trabaja con diversos tipos de acero sin realizar una clasificación específica de estas, es esencial determinar el tipo de acero y sus propiedades correspondientes. Para esto, se recomienda llevar a cabo análisis mediante técnicas como la espectrometría de absorción atómica, la combustión de materiales orgánicos e inorgánicos, y análisis gravimétricos. Estos estudios proporcionan una base sólida para la identificación precisa de las características del material según Gonzáles (2018). Sin embargo, una de las desventajas de acero hormigón reforzado con fibra es la corrosión y su deterioro en entornos hostiles como las zonas costeras. Corrosión causada por iones de cloro en el metal fibras provocando deterioro y desmantelamiento temprano de estructuras en ambientes corrosivos. En este estudio, el efecto de la dosis de acero y relación de aspecto de fibras sobre la resistencia a la compresión y a la flexión de muestras de hormigón (Ansari & Safiey, 2020).

Aspectos de ingeniería

Fisuración en el concreto

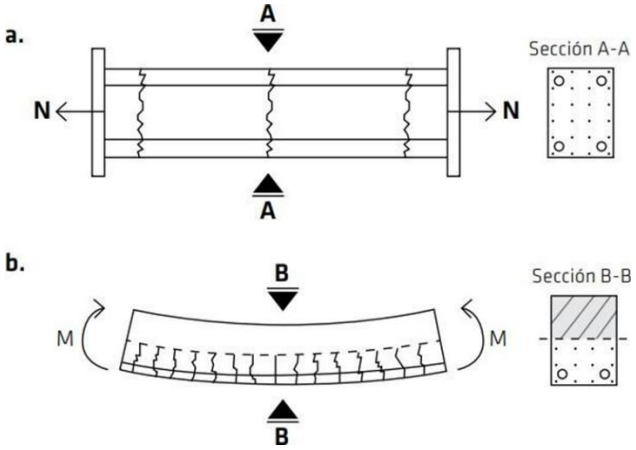
Las grietas y fisuras en el concreto representan fracturas que se manifiestan cuando las tensiones internas superan la capacidad resistente del material. Este problema puede tener múltiples causas, incluyendo factores químicos, como las reacciones químicas resultantes de la hidratación del cemento o la oxidación del acero de refuerzo. Por otro lado, las causas físicas comúnmente se asocian con dos tipos de acciones mecánicas: las expansiones y las contracciones. Estas ocurren cuando los elementos de hormigón están sometidos a restricciones físicas; la expansión genera esfuerzos de compresión y la contracción, esfuerzos de tracción. El concreto, siendo particularmente vulnerable a los esfuerzos de tracción, tiende a agrietarse cuando estos esfuerzos exceden su umbral de resistencia (Toirac Corral, 2004).

Es ampliamente reconocido que el concreto posee limitada capacidad de resistencia bajo

tensión, aproximadamente una décima parte de su resistencia a compresión, como se muestra en la Figura 3. Por esta razón, se incorporan barras de acero en su estructura, que tienen la función principal de absorber las fuerzas de tensión. Esto confiere al concreto la capacidad de deformarse bajo cargas impuestas, incrementando su ductilidad. Cuando la tensión aplicada a un elemento de concreto reforzado excede su capacidad resistente a la tensión, se generan fisuras (Sika, 2013).

Figura 3

Comportamiento de viga sometida a flexión



Nota. En una viga que está soportada en ambos extremos, las fisuras tienden a aparecer en la parte inferior, que es la zona sujeta a tensión, como se ilustra en la figura 2b. Si la carga aplicada es uniforme a lo largo de toda la sección, las fisuras que emergen seguirán un patrón uniforme a lo largo del elemento. Adaptado de “Rehabilitación de fisuras en el concreto reforzado”, por Desarrollo Regulatorio SAC, 2019 (http://www.deresac.com/boletin-de-seguridad-primera-semana-de-julio-2019/).

El concreto reforzado puede presentar fisuración debido a múltiples factores. En el caso de estructuras nuevas, las causas incluyen: exceso de agua en la mezcla, inadecuada curación del concreto, desmoldado prematuro, dimensiones insuficientes de elementos estructurales como vigas, columnas, losas y muros, cantidad inadecuada de acero de refuerzo, y mala colocación del

acero de refuerzo. En estructuras existentes, el motivo más común de fisuración es el incremento en las cargas de servicio, que incluyen las cargas verticales (cargas muertas y vivas) y cargas eventuales, como las producidas por sismos. Es habitual la aparición de fisuras en estructuras de concreto reforzado sometidas a cargas de servicio, que comprenden la carga muerta (el peso propio y cargas permanentes) y la carga viva (peso de mobiliario y ocupantes). De acuerdo con las normativas, como la American Concrete Institute. (2001). *ACI 224R-07: Control of cracking in concrete structures.* Farmington Hills, MI: American Concrete Institute. siempre que los anchos de las fisuras no excedan ciertos límites establecidos, se considera que esta condición es aceptable y forma parte del comportamiento normal de las estructuras de concreto reforzado.

Concretos Autorreparables

El hormigón autorreparable a base de bacterias es una técnica relativamente nueva, por lo que es importante recopilar más resultados en condiciones reales simuladas antes de aplicarlo a mayor escala. El cierre de grietas y la eficiencia de autocuración del compuesto cementoso inteligente pueden revelar de manera efectiva el mecanismo de recuperación delrendimiento de autocuración. La capacidad de curación de grietas de estos compuestos cementosos autorreparables ya ha sido confirmada consistentemente por pruebas de permeabilidad al agua. Sin embargo, los efectos de la curación de grietas en la recuperacióndel rendimiento mecánico de las muestras curadas por grietas son controvertidos, particularmente para los compuestos autógenos autorregenerables. Por otro lado, la curaciónde grietas causadas por la carga de compresión rara vez está dentro del alcance de la investigación sobre compuestos cementosos autorreparables. Grietas de tensión de forma diferente, las grietas de compresión en los especímenes suelen ser invisibles. Eso significa que hay dos desafíos en los estudios sobre la curación de estas grietas internas: formación de productos de autorreparación dentro de la matriz

y evaluación de la cicatrización de grietas. Teóricamente, los productos de compuestos cementosos autorreparables con mezclacristalina pueden formarse en grietas internas con la condición de que haya humedad disponible. Por lo tanto, encontrar el índice de recuperación del rendimiento mecánico efectivo para detectar la curación invisible de grietas es esencial para investigar el comportamiento de autorreparación según Xue et al. (2020).

Diseño de mezclas – método ACI

El diseño de mezclas de concreto consiste en aplicar de manera técnica y práctica los conocimientos científicos sobre sus componentes y sus interacciones, con el fin de obtener un material que satisfaga de forma óptima los requisitos específicos de un proyecto de construcción. Según Neville (1999), el diseño de mezcla del método del Comité 211 de la ACI, se basa en el método del módulo de fineza para la combinación de agregados, el cual es un procedimiento sencillo que, utilizando tablas previamente desarrolladas, facilita la determinación de los valores de los diferentes materiales para cada unidad cúbica de concreto. El método ACI 211 (American Concrete Institute) propone nueve pasos esenciales para cumplir eficientemente con los requisitos específicos del proyecto constructivo:

1. Diseño de mezcla y determinación del slump.
2. Selección del mayor tamaño del agregado para la mezcla.
3. Elaboración de una tabla con los contenidos de agua recomendados, en función del slump deseado y el tamaño máximo del agregado.
4. Uso de una tabla proporcionada por el ACI que indica la relación agua/cemento necesario para alcanzar la resistencia a la compresión deseada a los 28 días.
5. Cálculo de la cantidad de cemento basándose en la cantidad de agua que se utilizará.
6. Utilización de una tabla del ACI para determinar el volumen de agregados gruesos por

volumen unitario de concreto.

7. Estimación de todos los insumos del concreto, excepto del agregado fino, cuya proporción se calcula por diferencia.
8. Ajuste de las mezclas obtenidas en función de la humedad de los agregados.
9. Ajuste final en el laboratorio de las mezclas de prueba.

Estos pasos constituyen un marco estructurado para diseñar mezclas de concreto que se adecúen a las necesidades específicas de cada proyecto, asegurando su eficacia y durabilidad.

Definición de Estándares

Método ACI 211 para diseño de concreto. En el proceso de diseño de mezclas, se sigue el procedimiento establecido por el comité 211 de la ACI, el cual ha desarrollado un método relativamente sencillo que se basa en tablas predefinidas derivadas de ensayos de agregados para determinar las proporciones de los diferentes componentes en la unidad cúbica de concreto. Es común que las características específicas de la obra impongan restricciones al diseñador de la mezcla. Estas limitaciones pueden incluir la relación agua-cemento, el contenido máximo de cemento, la incorporación de aire, los asentamientos posibles, el tamaño máximo del agregado grueso, así como la resistencia mínima a compresión y requisitos adicionales como la resistencia promedio, el uso de aditivos o la selección de tipos especiales de cemento.

El proceso de diseño se inicia con la selección de la resistencia promedio basada en la resistencia a compresión especificada y la desviación estándar del productor. Posteriormente, se selecciona el tamaño máximo del agregado y el volumen de agua de diseño. A continuación, se establece el contenido de aire necesario para luego elegir adecuadamente la relación agua-cemento en función de la resistencia y durabilidad requeridas. Luego se calcula el factor de cemento y se determinan los contenidos de agregado grueso, los volúmenes absolutos de

cemento, agua de diseño, aire y agregado grueso. Finalmente, se establecen los valores de diseño para cemento, agua, aire y agregados finos y gruesos (Cementos Mexicanos [CEMEX], 2020).

Norma Tecnica peruana E060. Esta normativa define los requisitos y las condiciones esenciales para el análisis, diseño, selección de materiales, construcción, control de calidad y supervisión de estructuras de concreto armado, pretensado y simple. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006).

Norma Tecnica peruana E030. Esta Norma establece las condiciones mínimas para el Diseño Sismorresistentede las edificaciones (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006).

Ensayo de revenimiento. Este método de ensayo, que se ajusta a los lineamientos de la norma ASTM C-143, abarca la determinación del revenimiento del concreto tanto en laboratorio como en campo. Las medidas establecidas en unidades de libras-pulgadas son consideradas el estándar, y sus equivalentes métricos pueden ser aproximados. Originalmente, este método fue diseñado para ofrecer una técnica que permita monitorear la consistencia del concreto fresco. En condiciones de laboratorio, donde se mantiene un control estricto sobre todos los componentes del concreto, se ha observado que el revenimiento tiende a incrementarse proporcionalmente con el aumento del contenido de agua en una mezcla específica, lo cual suele indicar una relación inversa con la resistencia del concreto. Sin embargo, bajo condiciones de campo, esta correlación entre el revenimiento y la resistencia del concreto no siempre es clara ni consistente. Por lo tanto, se recomienda precaución al interpretar los resultados de revenimiento en relación con la resistencia observada en condiciones de campo (American Society for Testing and Materials [ASTM], 2018).

Ensayo de granulometría. Para garantizar un concreto con propiedades óptimas, es crucial seleccionar cuidadosamente los agregados finos y gruesos. Por esta razón, se propone utilizar ensayos granulométricos, siguiendo el procedimiento establecido en la Norma Técnica Peruana NTP 400.012. (INACAL, 2013a). El cual, tiene como proceso primero seleccionar las muestras obtenidas, se proceden a secar, se seleccionan los diferentes tamaños de tamices y se procede a realizar dicho ensayo, para luego calcular el módulo de fineza mediante ecuaciones con los datos obtenidos.

Ensayo de porcentaje de absorción. Para asegurar un concreto de características óptimas, es imprescindible realizar una selección específica de los agregados, tanto finos como gruesos. Continuando con los ensayos, se procederá a describir el método para determinar el porcentaje de absorción de acuerdo con la Norma Técnica Peruana NTP 400.021. (INACAL, 2013b). Para este ensayo se seca la muestra, se pesa antes y su después de dicha acción, para luego calcular la absorción mediante la ecuación, obteniendo datos porcentuales.

Ensayo de contenido humedad. A continuación, se detallará el procedimiento de ensayo para determinar el contenido de humedad, conforme a lo establecido en la Norma Técnica Peruana NTP 339.185. (INACAL, 2021). Se procede a secar la muestra, con mucho cuidado de causar algún daño en las partículas del material, no excediendo un calor no más de 0.1%, y al igual que el ensayo de absorción se realiza la resta entre el peso húmedo menos el seco, entre el seco y multiplicarlo por cien, obteniendo un resultado porcentual.

Ensayo de contenido humedad. El ensayo de compactación de agregados, destinado a determinar su peso unitario, se realiza según la Norma Técnica Peruana NTP 400.021 (INACAL, 2013b). El procedimiento comienza con el secado de la muestra a una temperatura de entre 110 y 5 ºC. Posteriormente, la muestra se sumerge en agua durante 24 horas. Tras este período, se seca superficialmente con un trapo para eliminar la humedad externa y luego se pesa en estado saturado. Estos datos se registran cuidadosamente. La muestra se somete nuevamente a secado a la misma temperatura por un período de 1 a 3 horas, con el objetivo de eliminar el aire y agua atrapados. Después de este proceso, se realiza una nueva pesada y se procede a efectuar los cálculos correspondientes.

Ensayo de resistencia a la compresión. La Norma Técnica Peruana NTP 339.034 establece el método de ensayo estandarizado para la determinación de la resistencia a la compresión de muestras cilíndricas de concreto, incluyendo cilindros moldeados y extracciones diamantinas de concreto. Este método consiste en aplicar una carga de compresión axial a los cilindros a una velocidad que se mantiene dentro de un rango prescrito, hasta que se produce la falla del espécimen INACAL (2015).

Ensayo de resistencia a la flexión. La resistencia a la flexión representa la capacidad del concreto para resistir tensiones de tracción y es evaluada como la resistencia al momento de falla en vigas o losas de concreto, expresada comúnmente como el módulo de rotura. Esta propiedad se determina a través de ensayos estandarizados, específicamente los métodos ASTM C78 o ASTM C293, y típicamente varía entre el 10 y el 20% de la resistencia a compresión del concreto, dependiendo de la naturaleza de los agregados gruesos y finos utilizados.

Ensayo de fisuración. Se sugiere un modelo de fisuración que alcanza el 60%, fundamentado en principios de Mecánica de Fractura aplicables al concreto, diseñado para analizar el comportamiento de secciones bajo flexión. Este modelo involucra la aplicación de una carga que induce una fisuración inicial modesta. La metodología desarrollada facilita la determinación de la relación entre el momento aplicado a la sección y la correspondiente apertura de la fisura, alcanzando el 60% de su capacidad. Este enfoque es particularmente útil para evaluar la eficacia de la bacteria en la mitigación del daño en el concreto.

Capítulo 4. Metodología

Este cuarto capítulo presenta cuatro partes: Hipótesis, Objetivos, Procedimiento y Justificación, los cuales se muestran a continuación:

Hipótesis

La viruta de acero añadida a la mezcla permitirá evitar que se produzcan ciertas fisuras por cargas estáticas o dinámicas, mientras que la bacteria Bacillus Subtilis, también añadida, podrá reparar las fisuras que se lleguen a presentar en las vigas de los centros educativos en Ica

Objetivos

Objetivo General

Demostrar que el concreto adicionado con la viruta reducen la probabilidad de aparición de fisuras al mejorar su resistencia a la flexión, asimismo la bacteria Subtilis actuará reparando las fisuras que pudieran aparecer, en base a una medición constante con un fisurómetro, de esta manera las estructuras de concreto desarrollan una mayor durabilidad en los colegios en Ica.

Objetivos Específicos

- Diseñar la mezcla de concreto patrón para obtener una resistencia a la compresión de 210 kg/cm2 con un slump de 6” a 8”;
- Diseñar la proporción de materiales en la mezcla de concreto autoreparante adicionada con 1% de bacteria y porcentajes de 3%, 5% y 7% de viruta de acero;
- Realizar una fisuración en la muestra de concreto adicionado con bacteria subtilis al 1% para poder evaluar la autorreparación del concreto en un tiempo determinado.
- Analizar los resultados de los ensayos a la resistencia a la flexión y compresión a los 7, 14 y 28 días de secado de las muestras;
- Analizar los resultados de los ensayos de fisuración en 4 periodos de 7 días durante un mes;

- Elegir el diseño de mezcla más optimo.

Limitaciones

Los resultados de la investigación no se aplicaron in situ. Es decir, la construcción de un colegio diseñado con la adición de bacteria y viruta de acero porque es una obra pública y no se cuenta con los permisos necesarios.

En los diseños solo se realizaron pruebas de resistencia a la compresión y flexión porque son las principales variables para considerar al establecer cada uno de los objetivos.

El diseño de un concreto patrón con 1% de bacteria subtillis respecto al peso del cemento, en base a estudios previos de Ruiz Humareda y Valverde Tapia (2020) indicando que es lo más optimo, por ello la variación en los diseños se centra en los diferentes porcentajes de adición de viruta de acero de 3%, 5% y 7%.

Procedimiento

Nivel y Diseño de la Investigación

La presente investigación tiene un nivel explicativo y demostrativo. En primer lugar, se considera explicativo porque está basado en la relación causa – efecto, esto debido a que durante el proceso experimental los cambios en la variable dependiente son causados por la variable independiente.

En segundo lugar, es demostrativo debido a se utilizarán herramientas que permitan demostrar y validar la propuesta que se plantea en la hipótesis. Asimismo, este proyecto se llevará a cabo bajo un diseño experimental, ya que, según Ruiz (2012) indica que este tipo de investigaciones son aquellas que agrupan diferentes actividades técnicas y metódicas para obtener información y datos sobre el tema de la investigación. Asimismo, a diferencia de otro

tipo de investigaciones, las de tipo experimental tienen un grado de control máximo por parte del investigador, pues según las decisiones que tome durante su experimentación los resultados serán variables.

Por consiguiente, esta investigación requiere la obtención de datos experimentales que evalúen la influencia de los agregados, la viruta de acero y la bacteria Bacillus subtilis en las propiedades del concreto. Para ello primero se elaborarán probetas con un diseño de mezcla basado en la norma ACI. Luego las probetas se someterán a diferentes ensayos, a los 7 y 28 días de curado, bajo las normativas respectivas para asegurar un buen nivel de confiabilidad de los datos. Además, se llevará a cabo una revisión continua de las muestras para monitorear el proceso de reparación de fisuras en el concreto. Finalmente, se analizará toda la información recopilada con el fin de determinar el diseño más adecuado.

Procedimiento de la Investigación

Con el objetivo de alcanzar las metas establecidas, es necesario implementar la siguiente serie de procesos en la investigación:

Análisis de la problemática. Aparición de fisuras en el concreto, en elementos estructurales de concreto.

- revisar bibliografía sobre fisuración en obras de concreto armado;
- revisar investigaciones y artículos sobre la resistencia a la flexión;

Revisar informes. sobre evaluación del estado de centros educativos en la actualidad a nivel nacional.

- analizar los informes de las infraestructuras en colegios en la ciudad de Ica.

Identificar. Tipo de fisura más frecuente y establecer las causas más frecuentes que ocasionan la aparición de estas en las estructuras de concreto en los centros educativos en la

ciudad de Ica.

- investigar casos de centros educativos con esta problemática en la zona;
- analizar el impacto y consecuencias de las causas encontradas;
- determinar la causa de mayor impacto: Poca resistencia a la flexión en elementos estructurales
- investigar la causa principal y las posibles soluciones para su tratamiento.

Revisar estudios. Sobre aplicación de adiciones al concreto que mejoran la resistencia a la flexión.

- revisar literatura sobre aditivos o métodos que permitan evitar, reducir o mitigar la aparición de fisuras en el concreto;
- analizar y comparar los resultados de las investigaciones sobre causas y posibles soluciones.

Desarrollar diseño de mezcla. Proponer una solución: Adición de bacterias y viruta de acero al concreto. Determinar el porcentaje adecuado de aplicación de la Bacteria Subtilis y de la viruta de acero. Elaborar los diseños de mezcla necesarios para la experimentación

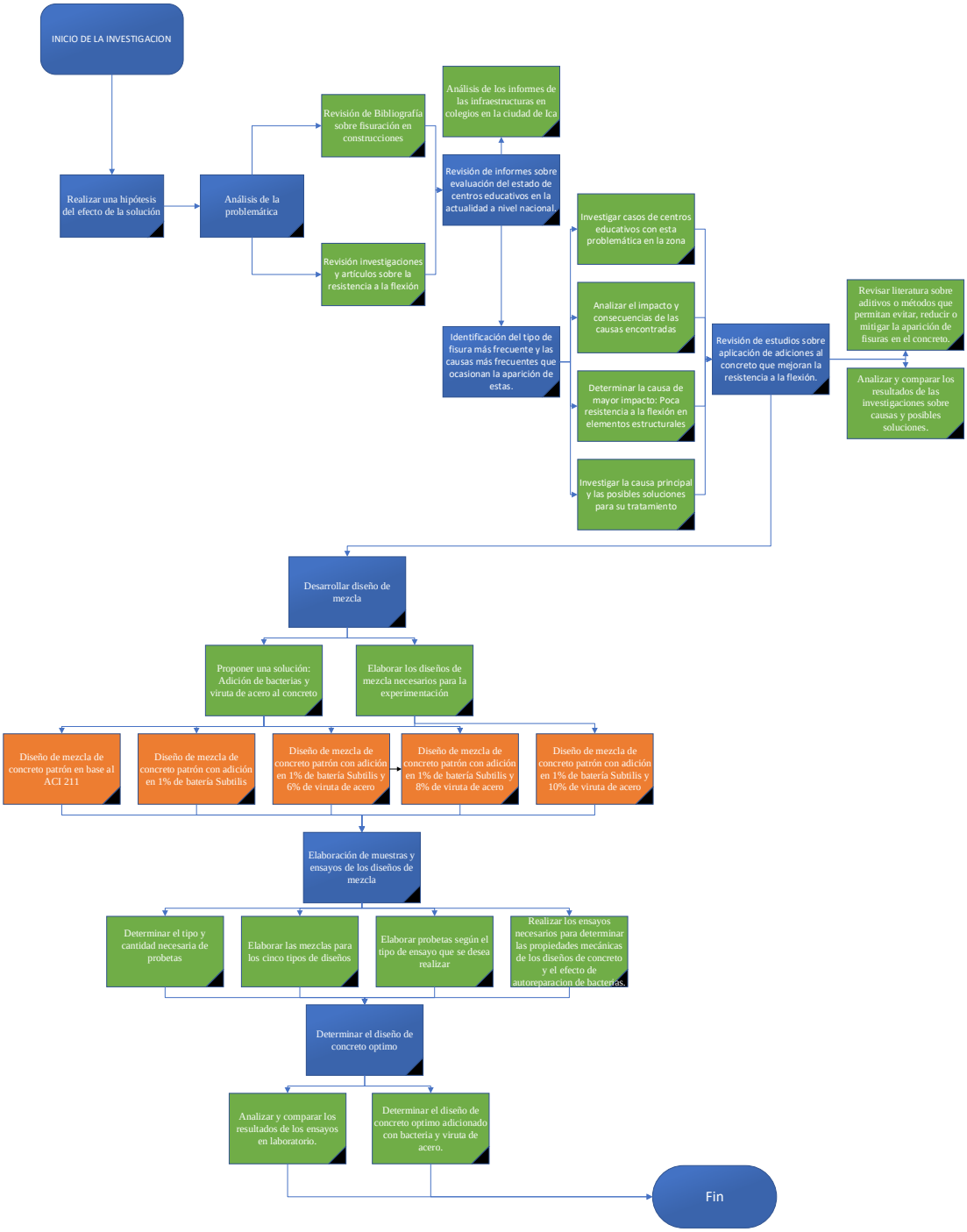
- diseño de mezcla de concreto patrón basados al ACI 211;
- diseño de mezcla de concreto patrón con adición en 1% de bateríaSubtilis;
- diseño de mezcla de concreto patrón con adición en 1% de bateríaSubtilis y 3% de viruta de acero;
- diseño de mezcla de concreto patrón con adición en 1% de bateríaSubtilis y 5% de viruta de acero;
- diseño de mezcla de concreto patrón con adición en 1% de bateríaSubtilis y 7% de viruta de acero.

Elaborar muestras y ensayos de los diseños de mezcla

- Determinar el tipo y cantidad necesaria de probetas;
- Elaborar las mezclas para los cinco tipos de diseños;
- Elaborar probetas según el tipo de ensayo que se desea realizar;
- Realizar los ensayos necesarios para determinar las propiedades mecánicas de losdiseños de concreto y el efecto de autorreparación de bacterias;
- Determinar el diseño de concreto optimo adicionado con bacteria y viruta de acero.

Figura 4

Flujograma del proyecto



Justificación del aporte de la investigación

Tras revisar diversos estudios acerca de técnicas que potencialmente mejoren la resistencia a la flexión del concreto, se ha identificado que el uso de fibras de distintos materiales puede incrementar la flexibilidad del mismo. Específicamente, esta investigación se enfocará en el uso de Viruta de Acero, seleccionada por su capacidad para mejorar significativamente la resistencia máxima a la flexión y por ser un material coste-efectivo, al tratarse de un residuo industrial. Además, se contempla la aplicación de la bacteria Bacillus Subtilis, que según investigaciones como la de Stanaszek-Tomal (2020), funciona como un agente capaz de cerrar completamente las fisuras. Además, esta bacteria proporciona protección al concreto contra ataques de cloruros y sulfatos, y mejora su resistencia a la compresión y flexión, con efectos que varían según el tipo de bacteria empleada.

En consecuencia, ambos métodos son fundamentales para abordar el problema de las fisuras, dado que cada uno contribuye de manera distinta y sus efectos se complementan. En el caso de que se emplee concreto con adición de bacterias y viruta de acero, es esencial considerar el comportamiento esperado de este material en la estructura. Por un lado, al tener la bacteria de tipo Bacillus Subtilis, se espera que esta actúe sellando fisuras menores que se dan por deficiencias en los procesos constructivos o presencia de agentes externos como la acción conjunta de los vientos y los sulfatos que generan fisuras internas que afloran, entre otros, ya que esta adición funcionara como una barrera de protección. Por otro lado, al implementar el uso de viruta de acero se espera que esta sea otra barrera ante la aparición de fisuras por acción de esfuerzos estáticos y dinámicos de flexión, ya que este material le da una mayor flexibilidad al concreto y evita así la aparición de fisuras.

Por último, demostraremos en la presente investigación el impacto económico, ecológico

y social favorable que se generara al usar el material propuesto. Al respecto algunos análisis de costos realizados indican que la producción de este concreto con bacterias podría tener un costo de hasta 3.9 veces mayor que la producción de un concreto simple convencional. Sin embargo, Daza-Sánchez y Guarnizo-Trujillo (2021) opina que el concreto con bacterias es más económico, ya que una estructura construida con concreto simple necesitara un mayor número de reparaciones que una estructura elaborada con concreto bacteriano, en este sentido afirma que, considerando el proceso de producción y el tiempo de vida útil de la estructura, el concreto con bacteria es más económico y conveniente para la construcción.

Aun cuando la aplicación de concreto simple resulta más económica que la de un concreto autorreparable, luego a futuro las construcciones con concreto simple sufren daños estructurales que implican un gran costo y también necesitan mantenimiento en determinado intervalo de tiempo, sin embargo, el concreto autoreparante tiene mayor durabilidad ya es más resistente y no necesita tantos mantenimientos, por ello al final resulta ser más económico que la primera opción. Por otro lado, en relación al impacto ambiental es necesario recalcar que el concreto autorreparable es un material sostenible, ya que las bacterias al sellar las grietas también absorben CO2 en dicho proceso, mientras que la viruta de acero es un residuo industrial el cual se reutiliza. Finalmente, se tiene que el impacto social de esta propuesta es que la obtención de un concreto de mayor calidad permita tener construcciones más seguras y duraderas, en especial tratándose de edificaciones de uso público, ya que estas constituyen servicios básicos que no deberían dejar de funcionar por problemas estructurales, como es el caso de los centros educativos, de esta manera aseguraremos la continuidad de estudios para niños y adolescentes en la región de Ica, de un ambiente seguro, confortable y de fácil mantenimiento.

Capítulo 5. Desarrollo de la solución ingenieril

El presente capítulo mostrará la situación actual de los centros educativos de la ciudad de Ica. A partir de esta evaluación, se definirán propuestas de solución, teniendo en cuenta las restricciones existentes y los estándares necesarios, con el objetivo de elaborar un prototipo que represente la solución más óptima, respaldado por ensayos y pruebas que sustenten su viabilidad.

Análisis de situación actual

Durante los últimos años se evidencia que uno de los colegios emblemáticos de la ciudad de Ica la I.E JOSE TORIBIO POLO, ubicado en Abraham Valdelomar 427, Ica, teniendo una capacidad de alumnado de 700, tiene una infraestructura dañada y en deterioro, tal como se muestra en las siguientes Figuras: Figura 4, Figura 5 y Figura 6.

Figura 5

I.E José Toribio Polo

Figura 6

Deterioro y exposición de la infraestructura de la I.E. JOSE TORIBIO POLO

Figura 7

Deterioro y exposición de la infraestructura de la I.E. JOSE TORIBIO POLO

Mediante las presentes Figura 4, Figura 5, Figura 6, se observa que el acero está expuesto a agentes externos (lluvias, vientos, etc.), esto debido a que el concreto se fue desprendiendo por fisuras internas causadas por la penetración de sales en el concreto por acción de los vientos que transportan este tipo de material. Asimismo, también se observan diferentes tipos de fisuras a causa de fallas en la resistencia a la flexión.

Propuesta de solución

Restricciones

Definición de restricciones adquisición de materiales

Debido a que la investigación incluye el uso de materiales novedosos y poco comunes comola bacteria Subtilis a través de un suplemento que contiene dicha bacteria y sus complementos alimenticios que son el lactato de calcio y el extracto de levadura, la disponibilidad de dichos componentes en el mercado peruano es reducida, esto debido a que no hay mucha demandade estos materiales y para su distribución es necesario contar con permiso especiales como Notificación Sanitaria Obligatoria (NSO) para poder comercializar dichos productos, la cualtiene una vigencia de 7 años y también un Autorización sanitaria, según la categoría de riesgo, en este caso es la categoría III (ligeramente peligroso) la cual es vigente durante 3 años.

Zona de aplicación de la solución

Otro limitante que presenta la investigación es la aplicación que se le dará a la solución, ya que solo se abarcara el uso del concreto con bacteria y viruta en la ciudad de Ica, la cual presenta características particulares de clima y agentes externos los cuales fueron considerados para el diseño de mezcla, sin embargo para ciudades que se encuentren en regiones como la sierra o selva es necesario realizar más estudios a fondo sobre las características de esos lugares para poder adaptar o mejorar la solución con el fin de obtener buenos resultados en esas zonas.

Tipo de producción

Respecto a la producción de esta nueva mezcla de concreto se propone que su elaboración se dé in situ, es decir preparada en obra, esto debido a que se cuenta con la suficiente información sobre este tipo de producción y dicho proceso no afecta a la bacteria contenidaen la mezcla, sin embargo si se deseara plantear en el futuro su producción para un tipo de concreto

premezclado se debe considerar que el encapsulamiento de bacterias puede dañarsedebido al proceso de transporte del concreto premezclado, esto conlleva a que la bacteria no actúe como debería y no se obtengan los resultados esperados.

Ensayos y análisis de resultados

Actualmente, existen numerosos ensayos y estudios destinados a evaluar las mezclas de concreto para analizar los resultados de su diseño. No obstante, este proyecto se centra específicamente en el ensayo de las propiedades de los materiales y la resistencia a la flexión del concreto, dado que el problema específico que se busca mitigar es la aparición de fisuras, en línea con las consideraciones previamente mencionadas.

Diseño de la propuesta de solución

La propuesta de solución frente al problema de la fisuración en las estructuras es el uso de un bioconcreto con adición de viruta de acero para ello es necesario elaborar 3 tipos de diseños de mezcla: un diseño patrón, es decir una mezcla simple de concreto, un diseño de concreto con bacteria y un diseño de concreto simple con adición de bacteria y viruta de acero, para comparar los resultados de la acción de las adiciones y obtener un diseño de concreto optimo que presente el mayor porcentaje de mejoras en comparación al diseño patrón.

Diseño de mezcla.

La formulación de las mezclas para el concreto estándar y el bioconcreto se realiza conforme al método ACI 211. Para ambos tipos de concreto, se planifica desarrollar una mezcla con una resistencia a la compresión f´c de 210 kg/cm² y un asentamiento (Slump) de 6 a 7 pulgadas.

Tabla 2

Dosificación para diseño de concreto patrón

Material	Peso (kg)	Volumen (m3)
Cemento Andino V	368.344	0.123
Agua	196.254	0.196
Arena	748.102	0.285
Piedra	1006.22	0.376

Tabla 3

Dosificación para diseño con adición de bacterias

Material	Peso (kg)	Volumen (m3)
Cemento Andino V	368.34	0.123
Agua	205.061	0.2051
Arena	531.211	0.2021
Piedra	1006.22	0.3761
Arcilla expandida	35.329	0.0987
Basillus Subtilis	3.683	0.0037
Extracto de Levadura	0.037	0.0001
Lactato de Calcio	0.368	0.0004
	2150.3	1

Tabla 4

Dosificación para diseño con adición de bacterias y 3% de viruta

Material	Peso (kg)	Volumen (m3)
Cemento Andino V	368.344	0.123
Agua	212.936	0.213
Arena	517.285	0.197
Piedra	1035.87	0.387
Arcilla expandida	35.329	0.099
Basillus Subtilis	3.683	0.004
Extracto de Levadura	0.037	0.0001
Lactato de Calcio	0.368	0
Viruta de acero 3%	46.595	0.006
	2220.4	1

Tabla 5

Dosificación para diseño con adición de bacterias y 5% de viruta

Material	Peso (kg)	Volumen (m3)
Cemento Andino V	368.344	0.123
Agua	212.936	0.213
Arena	517.285	0.197
Piedra	1035.87	0.387
Arcilla expandida	35.329	0.099
Basillus Subtilis	3.683	0.004
Extracto de Levadura	0.037	0.0001
Lactato de Calcio	0.368	0
Viruta de acero 5%	77.658	0.01
	2251.5	1

Tabla 6

Dosificación para diseño con adición de bacterias y 7% de viruta

Material	Peso (kg)	Volumen (m3)
Cemento Andino V	368.344	0.123
Agua	212.936	0.213
Arena	517.285	0.197
Piedra	1035.87	0.387
Arcilla expandida	35.329	0.099
Basillus Subtilis	3.683	0.004
Extracto de Levadura	0.037	0.0001
Lactato de Calcio	0.368	0
Viruta de acero 7%	108.721	0.014
	2282.6	1

Información base de materiales y agregados.

Para la obtención de datos sobre las propiedades físicas de los agregados y adiciones para el cálculo de la dosificación del diseño de mezcla, se realizaron ensayos a algunos materiales y en el caso de otros se obtuvo la información de las respectivas fichas técnicas de los productos. Los datos tomados de laboratorio se muestran a continuación:

Ensayos para agregado fino

Tabla 7

Análisis granulométricos se agregado fino

PULG	(MM)	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00
N°4	4.75	7.90	1.31	1.31	98.69
N°8	2.38	119.00	19.76	21.08	78.92
N°16	1.19	135.30	22.47	43.55	56.45
N°30	0,59	129.20	21.46	65.01	34.99
N°50	0.29	107.00	17.77	82.78	17.22
N°100	0.15	61.60	10.23	93.01	6.99
	FONDO	42.10	6.99	100.00	0.00
TOTAL		602.10			

Figura 8

Curva granulométrica de agregado fino

Tabla 8

Obtención de humedad de agregado fino

DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDO + RECIPIENTE	0.75	kg
PESO DEL RECIPIENTE	0.15	kg
PESO DE LA MUESTRA HUMEDO	0.61	kg
PESO DE MUESTRA SECA + RECIPIENTE	0.75	kg
PESO DE MUESTRA SECA	0.6	kg
PESO DEL AGUA	0.01	kg
PORCENTAJE DE HUMEADAD	0.90%	%

Tabla 9

Obtención de absorción de agregado fino

DESCRIPCION	SIMBOLO	CANTIDAD	UNIDAD
PESO DE LA FIOLA	A	169.7	gr
PESO DE LA ARENA SUPERFICIALMENTE SECA	B=C-A	500	gr
PESO DE LA ARENA SUPERFICIALMENTE SECA + PESO DE LA FIOLA	C	669.7	gr
PESO DE LA ARENA SUPERFICIALMENTE SECA + PESO DE LA FIOLA + AGUA	D	977.9	gr
PESO DEL AGUIA	E=D-C	308.2	gr
PESO DE LA ARENA SECA	F	499.1	gr
VOLUMEN DE LA FIOLA	G	498.1	cm3
PESO ESPECIFICO SECO	kg/m3	2628.23	kg/m3
PESO ESPECIFICO SSS	kg/m3	2632.96	kg/m3
ABSORCION	%	0.180324584	%

Tabla 10

Obtención de peso unitario suelto de agregado fino

DESCRIPCION	SIMBOLO	CANTIDAD	UNIDAD
PESO DE LA MUESTRA SUELTA + RECIPIENTE		5.87	kg
PESO DEL RECIPIENTE		1.46	kg
PESO DE LA MUESTRA SUELTA	W/s	4.41	kg
VOLUMEN	V	0.00	m-3
PESO UNITARIO SUELTO	PUS	1531.25	kg/m3

Tabla 11

Obtención de peso unitario compactado de agregado fino

DESCRIPCION	SIMBOLO	CANTIDAD	UNIDAD
PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA + RECIPIENTE		6.71	kg
PESO DEL RECIPIENTE		1.46	kg
PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA	W/s	5.25	kg
VOLUMEN	V	0.00	m-3
PESO UNITARIO SUELTO	PUS	1822.92	kg/m3

Tabla 12

Resumen de resultados de ensayos de agregado fino

Descripción	Cantidad	Unidad
Módulo de fineza	3.07	-
Peso unitario suelto	1531.25	kg/m3
Peso unitario compactado	1822.92	kg/m3
Peso específico seco	2628.23	kg/m3
Peso específico sumergido	2632.96	kg/m3
Porcentaje de humedad	0.009	%
Porcentaje de absorción	0.1803	%

Ensayos para agregado grueso

Tabla 13

Análisis granulométricos se agregado grueso

PULG	(MM)	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
2"	50.8	0	0	0	100
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	179.80	2.89	2.89	97.11
1/2"	12.70	3210.90	51.60	54.49	45.51
3/8"	9.53	1781.60	28.63	83.12	16.87
N°4	4.75	1025.50	16.48	99.60	0.39
N°8	2.38	8.40	0.14	99.74	0.26
N°16	1.19	0.00	0.00	99.74	0.26
N°30	0.59	0.00	0.00	99.74	0.26
N°50	0.29	0.00	0.00	99.74	0.26
N°100	0.15	0.00	0.00	99.74	0.26
FONDO		16.00	0.26	100.00	0.00
TOTAL		6222.20			

Figura 9

Curva granulométrica de agregado grueso

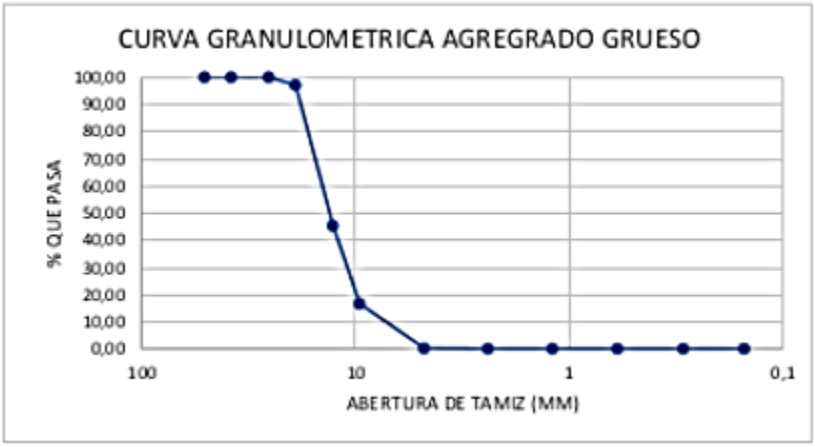


Tabla 14

Obtención de humedad de agregado grueso

DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDO + RECIPIENTE	4.63	kg
PESO DEL RECIPIENTE	0.67	kg
PESO DE LA MUESTRA HUMEDO	3.95	kg
PESO DE MUESTRA SECA + RECIPIENTE	4.62	kg
PESO DE MUESTRA SECA	3.95	kg
PESO DEL AGUA	0	kg
PORCENTAJE DE HUMEADAD	0.001	%

Tabla 15

Obtención de absorción de agregado grueso

DESCRIPCION	SIMBOLO	CANTIDAD	UNIDAD
PESO DE LA MUESTRA SAT. SUP. SECA	A	3000	gr
PESO (MUESTRA+CANASTILLA) SUMERGIDO	B	3347	gr
PESO CANASTILLA SUMERGIDA	C	1461.4	gr
PESO MUESTRA SECA	D	2980.3	gr
PESO MUESTRA SUMERGIDA	E=B-C	1886	gr
VOLUMEN DE LA MUESTRA	F=A-E	1114	cm3
PESO ESPECIFICO SECO	D/F	2675.31	kg/m3
PESO ESPECIFICO SSS	A/F	2693	kg/m3
ABSORCION	((A-D)/D)*100	0.006	%

Tabla 16

Obtención de peso unitario suelto de agregado fino

DESCRIPCION	SIMBOLO	CANTIDAD	UNIDAD
PESO DE LA MUESTRA SUELTA + RECIPIENTE		25.37	kg
PESO DEL RECIPIENTE		4.88	kg
PESO DE LA MUESTRA SUELTA	Ws	20.49	kg
VOLUMEN	V	0.01	m-3
PESO UNITARIO SUELTO	PUS	1440.90	kg/m3

Tabla 17

Obtención de peso unitario compactado de agregado fino

DESCRIPCION	SIMBOLO	CANTIDAD	UNIDAD
PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA + RECIPIENTE		26.90	kg
PESO DEL RECIPIENTE		4.88	kg
PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA	W/s	22.02	kg
VOLUMEN	V	0.01	m-3
PESO UNITARIO SUELTO	PUS	1548.51	kg/m3

Tabla 18

Resumen de resultados de ensayos de agregado grueso

Descripción	Cantidad	Unidad
Módulo de fineza	6.84	-
Peso unitario suelto	1440.9	kg/m3
Peso unitario compactado	1548.51	kg/m3
Peso específico seco	2675.31	kg/m3
Peso específico sumergido	2693	kg/m3
Porcentaje de humedad	0.0007	%
Porcentaje de absorción	0.0066	%

Para el caso de la arcilla expansiva, lactato de calcio, levadura y bacteria Subtilis, se utilizó la información brindada por los proveedores de dichos productos, cuyos informes se encuentran en la parte de Anexos.

Tabla 19

Resumen de las propiedades físicas de los materiales y adiciones

Material	Peso E. seco	P. unitario suelto	P. unitario compactado	Módulo de fineza	% Absorción	% Humedad
Cemento Andino V	3000	-	-	-	-	-
Agua	1000	-	-	-	-	-
Arena	2628.23	1575	1761	2.81	1.6	1.7
Piedra	2675.31	1433	1581	6.74	0.8	0.4
Arcilla expandida	358	7.6 % peso de cemento			26.2	-
Basillus Subtilis	1003	1% peso de cemento			-	-
Extracto de Levadura	500	0.01% peso de cemento			-	-
Lactato de Calcio	850	0.1% peso de cemento			-	-
Viruta de acero	7850	3%, 5%, 7% peso de agregado fino + grueso			-	-

Relación de materiales para aplicación en obra.

Para realizar la preparación de mezcla in situ se debe determinar la relación de las cantidadesde los materiales a partir de las dosificaciones por metro cúbico. Asimismo, también se presenta la relación de materiales para cada mezcla elaborados en laboratorio.

En base al paper “Hormigón eléctricamente conductivo multifuncional utilizando diferentes rellenos”, nos indicó que utilizaron solo en 1%, 3%, 5% y 7% de viruta de acero, mejorando la mezcla en diferentes proporciones en cada uno de los casos.

Tabla 20

Relación de materiales para mezcladora de 3.5 pie3

Material	Concreto Patrón	Concreto + Bacteria	Concreto + Bacteria + Viruta al 3%	Concreto + Bacteria + Viruta al 5%	Concreto + Bacteria + Viruta al 7%
Cemento Andino V	16.92	7.39	16.12	16.12	16.12
Agua	9.01	4.12	9.32	9.32	9.32
Arena	34.36	10.66	22.63	22.63	22.63
Piedra	46.21	20.2	45.32	45.32	45.32
Arcilla expandida		0.71	1.55	1.55	1.55
Basillus Subtilis		0.07	0.16	0.16	0.16
Extracto de Levadura		0.0007	0	0	0
Lactato de Calcio		0.0074	0.02	0.02	0.02
Viruta de acero			2.04	3.4	4.76

Tabla 21

Relación de materiales con respecto a 1 bolsa cemento

Material	Concreto Patrón	Concreto + Bacteria	Concreto + Bacteria + Viruta al 3%	Concreto + Bacteria + Viruta al 5%	Concreto + Bacteria + Viruta al 7%
Cemento Andino V	1	1	1	1	1
Agua	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Arena	2	1.4	1.4	1.4	1.4
Piedra	2.7	2.7	2.8	2.8	2.8
Arcilla expandida		0.1	0.1	0.1	0.1
Basillus Subtilis		0.01	0.01	0.01	0.01
Extracto de Levadura		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Lactato de Calcio		0.001	0.001	0.001	0.001
Viruta de acero			0.19	0.28	0.37

Elaboración de prototipo

Elaboración de mezcla

Precauciones de uso para suplemento de bacteria Subtilis

- almacenar el producto en un lugar cálido y seco sin contacto con la luz solar;
- mantener alejado el producto de áreas de comida o bebida;
- evitar consumir, inhalar o tener contacto directo con la sustancia;
- usar quipo de protección personal, mantener ventilación en el lugar de aplicación.

Equipos utilizados en la prueba

- mezcladora (3.5 pie3);
- balanza;
- recipientes de plástico (bateas);
- bolsas herméticas;
- carretilla;
- pala;
- balde de 20L.

Procedimiento para elaboración de concreto patrón.

Siguiendo el protocolo establecido por la normativa correspondiente, el proceso de preparación de la mezcla se organiza en los siguientes pasos:

1. Se preparan todos los componentes necesarios para la mezcla, incluyendo agregados (gruesos y finos), cemento (Portland tipo V) y agua.
2. Se inspecciona el equipo de mezcla (mezclador de laboratorio tipo trompo) para asegurar que se encuentre en óptimo estado.
3. Se procede a la dosificación precisa de los materiales según los pesos especificados.

4. La adición de los materiales en la mezcladora se realiza en el siguiente orden:

- Se introduce primero la mitad del agua destinada para la mezcla.
- Se añade el agregado grueso al agua, mezclando brevemente.
- Se incorpora el agregado fino, continuando con el proceso de mezcla para asegurar la homogeneidad.
- Se agrega el cemento y se mezcla por unos segundos adicionales.
- Finalmente, se vierte el resto del agua y se mezcla durante 1.5 minutos para completar el proceso.

Este procedimiento garantiza la preparación adecuada y homogénea de la mezcla de concreto.

Procedimiento elaboración de concreto con bacteria y viruta de acero.

La elaboración del concreto con adiciones cuenta con 2 fases, la primera consiste en la encapsulación de la bacteria, mientras que la segunda fase consiste en mezclar todos los materiales en el equipo de laboratorio.

Para la primera fase se debe realizar primero un secado de la arcilla expandida en horno a 60°C durante 24 horas. Una vez que la arcilla esta seca se coloca en un recipiente y se mezcla con el lactato de calcio y el extracto de levadura para luego colocar la muestra en una bolsa sellada y dejar reposar por cinco días. Transcurrido el tiempo de reposo, la mezcla se vacía en un recipiente amplio y se divide en 4 partes para mezclarlo de manera homogénea con la suspensión de bacteria para después sellarla nuevamente en una bolsa hermética y esperar 5 días a se activen los microorganismos. Tras la preparación de la mezcla con bacterias encapsuladas en arcilla expandida, el procedimiento para la dosificación y mezclado de los componentes se lleva a cabo de la siguiente manera:

1. Inicialmente, se añade la mitad del total del agua prevista para la mezcla.
2. A continuación, se incorpora el agregado grueso al agua, agitando brevemente para iniciar la mezcla.
3. Se añade el agregado fino, continuando el proceso de mezclado para asegurar una distribución uniforme de los materiales.
4. Posteriormente, se introduce el cemento, mezclando por unos instantes adicionales.
5. Se vierte el resto del agua y se prosigue con el mezclado durante 3 minutos.
6. Finalmente, se integra la arcilla expandida activada y la viruta, mezclando brevemente para distribuir homogéneamente estos componentes en la mezcla.

1. Este método asegura una integración adecuada de todos los materiales, logrando una mezcla uniforme y eficaz para las aplicaciones deseadas.

Figura 10

Primera fase de activación de bacteria: secado por 24 horas

Figura 11

Primera fase de activación de bacteria: secado por 24 horas

Figura 12
Segunda fase de activación de bacteria: aplicación de alimento

Figura 13

Segunda fase de activación de bacteria: aplicación de alimento

Figura 14

Segunda fase de activación de bacteria: mezclado y conservación

Figura 15

Segunda fase de activación de bacteria: mezclado y conservación

Figura 16

Tercera fase de activación de bacteria: aplicación de bacteria

Figura 17

Tercera fase de activación de bacteria: aplicación de bacteria

Figura 18

Elaboración de mezclas-dosificación de material

Figura 19

Elaboración de mezclas-Preparación de mezcla para 45 L

Figura 20

Elaboración de mezclas-Obtención de mezcla

Figura 21

Ensayo de para determinar Slump

Figura 22

Ensayo de peso unitario de concreto fresco y cantidad de aire

Tabla 22

Resumen de resultados de ensayos al concreto fresco

Tipo de mezcla	Temperatura (°C)	Slump (pulg)	Peso U, (kg/m3)	Porcentaje de Aire (%)
Concreto Patrón	26.1	6	2414.88	1.1
Concreto + Bacteria	28.6	7.5	2327.61	0.5
Concreto + Bacteria + Viruta al 3%	26.1	8	2304.72	0.7
Concreto + Bacteria + Viruta al 5%	29.9	8	2247.5	1.4
Concreto + Bacteria + Viruta al 7%	29.4	7.5	2237.48	1.8

Elaboración de probetas

Equipos utilizados.

- Cono de Abrams, de 4” de diámetro superior, 8” de diámetro inferior y 12” dealtura.
- Varilla de compactado de 60 cm, de 5/8” de diámetro de punta
- Plancha metálica de 1/4” de espesor
- Regla metálica de 1/4” de espesor
- Probetas cilíndricas de 4” de diámetro y 8” de altura
- Probetas prismáticas de 6” por 6” y 18” de altura
- Martillo de goma

Procedimiento

En primer lugar, se debe realizar la prueba de revenimiento cuya finalidad es determinar el slump de la mezcla elaborada y verificar si cumple con el diseño propuesto. Para ello se coloca el cono de Abrams sobre la placa metálica y se llena en tres capas cada una de un tercio del volumen aproximadamente, cada capa se compacta con 25 golpes de varilla. Después se levanta el cono para dejar que la mezcla se expanda y se coloca la varilla encimadel molde de cono invertido a un lado de la mezcla y con una wincha se mide desde el centrode la mezcla hasta la parte inferior de la varilla.

Una vez confirmado que el slump está conforme con los requisitos del diseño, se procede a la preparación de los moldes para las probetas aplicando desmoldante, con el fin de facilitar el posterior desmoldeo. El llenado de los moldes se realiza en tres capas de volumen equitativo. En el caso de las probetas cilíndricas, cada capa requiere ser compactada mediante 25 golpes verticales con varilla y entre 10 a 15 golpes horizontales con un mazo de goma en los costados del molde, esto con el objetivo de eliminar las burbujas de aire y asegurar una compactación adecuada.

Por otro lado, para las probetas prismáticas se debe considerar en la compactación realizar entre 50a 55 golpes con varilla y dar golpes a todo el borde del molde con el maso de goma. Finalmente, con ayuda de una lámina metálica se enrasa la parte superior de las probetas para eliminarlos excesos y te colocan etiquetas para identificar la probeta con información sobre la fechade elaboración, tipo de mezcla que contiene y el proyecto al que pertenece. Asimismo, dicho llenado debe seguir la siguiente relación:

Tabla 23

Cantidad de probetas

	Probetas cilíndricas			**Pobretas prismáticas**	
	Ensayo de resistencia a la compresión			**Ensayo de resistencia a la flexión**	
	7 días	14 días	28 días	7 días	28 días
Concreto patrón	3	3	3	2	2
Concreto patrón + B	-	-	-	2	-
Concreto patrón + B + 3 %VA	3	3	3	2	2
Concreto patrón + B + 5 %VA	3	3	3	2	2
Concreto patrón + B + 7 %VA	3	3	3	2	2

Después de 24 horas se desmoldan todas las probetas y media hora después se inicia con

el curado en una poza de agua del laboratorio, algunas probetas se sacan de la poza a los 7, 14, y 28 días, dependiendo de las especificaciones que se tiene para la muestra.

Figura 23

Aplicación de desmoldante en los moldes

Figura 24

Llenado y obtención de probetas

Figura 25

Llenado y obtención de probetas

Figura 26

Desmoldado de Probetas

Figura 27

Curado de Probetas

Ensayos

Luego de una semana de curado, se procedió a realizar los primeros ensayos de flexión y compresión a los 7 días.

Figura 28

Preparación de probetas para ensayo

Se sacan de la poza 3 probetas para cada porcentaje de viruta de acero, de 3%, 5% y 7% y las probetas de concreto patrón. Pasado aproximadamente entre 2 a 3 horas de secado de las probetas se inicia el proceso de los ensayos de compresión.

Figura 29

Preparación Ensayo de compresión de la probeta N1 con concreto patrón luego de 7 días

Figura 30

Resultado del ensayo de compresión de la probeta N1 con concreto patrón luego de 7 días

Figura 31

Ensayo de compresión de la probeta N2 con concreto patrón luego de 7 días

Figura 32

Resultado del ensayo de compresión de la probeta N2 con concreto patrón luego de 7 días

Figura 33

Ensayo de compresión de la probeta N3 con concreto patrón luego de 7 días

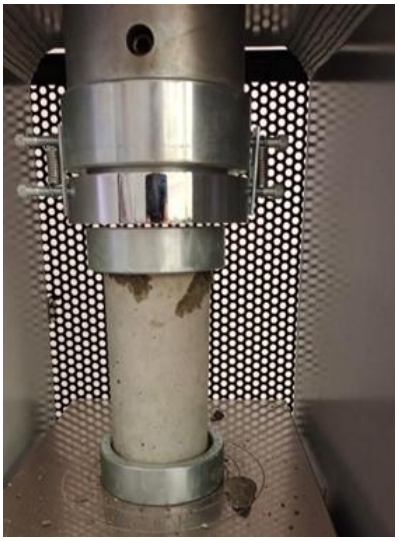


Figura 34

Resultado del ensayo de compresión de la probeta N3 con concreto patrón luego de 7 días

Pasamos a ensayar las probetas de bacteria con adición de viruta de acero de 3% por compresión.

Figura 35

Ensayo de compresión de la probeta N1 con bacteria con adición de viruta de acero de 3% luego de 7 días

Figura 36

Resultado del ensayo de compresión de la probeta N1 con bacteria con adición de viruta de acero de 3% luego de 7 días

Figura 37

Ensayo de compresión de la probeta N2 con bacteria con adición de viruta de acero de 3% luego de 7 días

Figura 38

Resultado del ensayo de compresión de la probeta N2 con bacteria con adición de viruta de acero de 3% luego de 7 días

Figura 39

Ensayo de compresión de la probeta N3 con bacteria con adición de viruta de acero de 3% luego de 7 días

Figura 40

Resultado del ensayo de compresión de la probeta N3 con bacteria con adición de viruta de acero de 3% luego de 7 días

Pasamos a ensayar las probetas de bacteria con adición de viruta de acero de 5% por compresión.

Figura 41

Ensayo de compresión de la probeta N1 con bacteria con adición de viruta de acero de 5% luego de 7 días

Figura 42

Resultado del ensayo de compresión de la probeta N1 con bacteria con adición de viruta de acero de 5% luego de 7 días

Figura 43

Ensayo de compresión de la probeta N2 con bacteria con adición de viruta de acero de 5% luego de 7 días

Figura 44

Resultado del ensayo de compresión de la probeta N2 con bacteria con adición de viruta de acero de 5% luego de 7 días

Figura 45

Ensayo de compresión de la probeta N3 con bacteria con adición de viruta de acero de 5% luego de 7 días

Figura 46

Resultado del ensayo de compresión de la probeta N3 con bacteria con adición de viruta de acero de 5% luego de 7 días

Por último, ensayamos las probetas de bacteria con adición de viruta de acero de 7% por compresión.

Figura 47

Ensayo de compresión de la probeta N1 con bacteria con adición de viruta de acero de 7% luego de 7 días

Figura 48

Resultado del ensayo de compresión de la probeta N1 con bacteria con adición de viruta de acero de 7% luego de 7 días

Figura 49

Ensayo de compresión de la probeta N2 con bacteria con adición de viruta de acero de 7% luego de 7 días

Figura 50

Resultado del ensayo de compresión de la probeta N2 con bacteria con adición de viruta de acero de 7% luego de 7 días

Figura 51

Ensayo de compresión de la probeta N3 con bacteria con adición de viruta de acero de 7% luego de 7 días

Figura 52

Resultado del ensayo de compresión de la probeta N3 con bacteria con adición de viruta de acero de 7% luego de 7 días

Terminando de ensayar las probetas por compresión, pasamos a ensayar las vigas por flexión luego de 7 días.

Figura 53

Ensayo de flexión de la viga N1 de concreto patrón luego de 7 días.

Figura 54

Resultado del ensayo de flexión de la viga N1 de concreto patrón luego de 7 días.

Figura 55

Ensayo de flexión de la viga N1 con bacteria con adición de viruta de acero de 3% luego de 7 días

Figura 56

Resultado del ensayo de flexión de la viga N1 con bacteria con adición de viruta de acero de 3% luego de 7 días

Figura 57

Ensayo de flexión de la viga N2 con bacteria con adición de viruta de acero de 5% luego de 7 días

Figura 58

Resultado del ensayo de flexión de la viga N2 con bacteria con adición de viruta de acero de 5% luego de 7 días

Figura 59

Ensayo de flexión de la viga N3 con bacteria con adición de viruta de acero de 7% luego de 7 días

Figura 60

Resultado del ensayo de flexión de la viga N3 con bacteria con adición de viruta de acero de 7% luego de 7 días

Figura 61

Ensayo de flexión de la viga con solo bacteria luego de 7 días

Figura 62

Resultado del ensayo de flexión de la viga con solo bacteria luego de 7 días

Pasamos a los ensayos de compresión de las probetas de concreto patrón a los 14 días.

Figura 63

Ensayo de compresión de la probeta N1 de concreto patrón

Figura 64

Resultado del ensayo de compresión de la probeta N1 de concreto patrón

Figura 65

Ensayo de compresión de la probeta N2 de concreto patrón

Figura 66

Resultado de ensayo de compresión de la probeta N2 de concreto patrón

Figura 67

Ensayo de compresión de la probeta N3 de concreto patrón

Figura 68

Resultado del ensayo de compresión de la probeta N3 de concreto patrón

Se presenta a continuación los ensayos de compresión de las probetas con bacteria Subtilis y 3% de viruta de acero a los 14 días.

Figura 69

Ensayo de compresión de la probeta N1 de concreto con bacteria Subtilis y 3% de viruta de acero.

Figura 70

Resultado ensayo de compresión de la probeta N1 de concreto con bacteria Subtilis y 3% de viruta de acero

Figura 71

Ensayo de compresión de la probeta N2 de concreto con bacteria Subtilis y 3% de viruta de acero

Figura 72

Resultado de ensayo de compresión de la probeta N2 de concreto con bacteria Subtilis y 3% de viruta de acero

Figura 73

Ensayo de compresión de la probeta N3 de concreto con bacteria Subtilis y 3% de viruta de acero

Figura 74

Resultado del ensayo de compresión de la probeta N3 de concreto con bacteria Subtilis y 3% de viruta de acero

Se presenta a continuación los ensayos de compresión de las probetas con bacteria Subtilis y 5% de viruta de acero a los 14 días.

Figura 75

Ensayo de compresión de la probeta N1 de concreto con bacteria Subtilis y 5% de viruta de acero

Figura 76

Resultado del ensayo de compresión de la probeta N1 de concreto con bacteria Subtilis y 5% de viruta de acero

Figura 77

Ensayo de compresión de la probeta N2 de concreto con bacteria Subtilis y 5% de viruta de acero

Figura 78

Resultado del ensayo de compresión de la probeta N2 de concreto con bacteria Subtilis y 5% de viruta de acero

Figura 79

Ensayo de compresión de la probeta N3 de concreto con bacteria Subtilis y 5% de viruta de acero

Figura 80

Resultado de ensayo de compresión de la probeta N3 de concreto con bacteria Subtilis y 5% de viruta de acero

Se presenta a continuación los ensayos de compresión de las probetas con bacteria Subtilis y 7% de viruta de acero a los 14 días.

Figura 81

Ensayo de compresión de la probeta N1 de concreto con bacteria Subtilis y 7% de viruta de acero

Figura 82

Resultado de ensayo de compresión de la probeta N1 de concreto con bacteria Subtilis y 7% de viruta de acero

Figura 83

Ensayo de compresión de N2 probeta de concreto con bacteria Subtilis y 7% de viruta de acero

Figura 84

Resultado de ensayo de compresión de N2 probeta de concreto con bacteria Subtilis y 7% de viruta de acero

Figura 85

Ensayo de compresión de la probeta N2 de concreto con bacteria Subtilis y 7% de viruta de acero

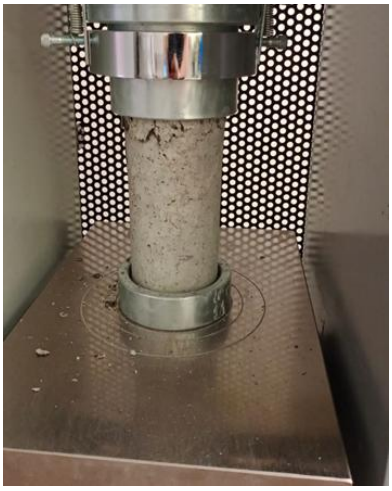


Figura 86

Resultado de ensayo de compresión de la probeta N2 de concreto con bacteria Subtilis y 7% de viruta de acero

Figura 87

Ensayo de compresión de la probeta N3 de concreto con bacteria Subtilis y 7% de viruta de acero

Figura 88

Resultado de ensayo de compresión de la probeta N3 de concreto con bacteria Subtilis y 7% de viruta de acero

Luego de 28 días se procede a realizar los ensayos de compresión a las probetas patrón 3%, 5% y 7%.

Ensayo de compresión a las probetas de concreto patrón luego de 28 días de curado.

Figura 89

Ensayo de compresión de la probeta N1 de concreto patrón

Figura 90

Resultado de ensayo de compresión de la probeta N1 de concreto patrón

Figura 91

Ensayo de compresión de la probeta N2 de concreto patrón

Figura 92

Resultado del ensayo de compresión de la probeta N2 de concreto patrón

Figura 93

Ensayo de compresión de la probeta N3 de concreto patrón

Figura 94

Resultado del ensayo de compresión de la probeta N3 de concreto patrón

Ensayo de compresión a las probetas de concreto con adición de 3% de viruta de acero.

Figura 95

Ensayo de compresión de la probeta N1 de concreto con bacteria Subtilis y 3% de viruta de acero

Figura 96

Resultado del ensayo de compresión de la probeta N1 de concreto con bacteria Subtilis y 3% de viruta de acero

Figura 97

Ensayo de compresión de la probeta N2 de concreto con bacteria Subtilis y 3% de viruta de acero

Figura 98

Resultado de ensayo de compresión de la probeta N2 de concreto con bacteria Subtilis y 3% de viruta de acero

Figura 99

Ensayo de compresión de la probeta N3 de concreto con bacteria Subtilis y 3% de viruta de acero

Figura 100

Resultado del ensayo de compresión de la probeta N3 de concreto con bacteria Subtilis y 3% de viruta de acero

Ensayo de compresión a las probetas de concreto con adición de 5% de viruta de acero.

Figura 101

Ensayo de compresión de la probeta N1 de concreto con bacteria Subtilis y 5% de viruta de acero

Figura 102

Resultado del ensayo de compresión de la probeta N1 de concreto con bacteria Subtilis y 5% de viruta de acero

Figura 103

Ensayo de compresión de la probeta N2 de concreto con bacteria Subtilis y 5% de viruta de acero

Figura 104

Resultado del ensayo de compresión de la probeta N2 de concreto con bacteria Subtilis y 5% de viruta de acero

Figura 105

Ensayo de compresión de la probeta N3 de concreto con bacteria Subtilis y 5% de viruta de acero

Figura 106

Resultado del ensayo de compresión de la probeta N3 de concreto con bacteria Subtilis y 5% de viruta de acero

Ensayo de compresión a las probetas de concreto con adición de 5% de viruta de acero.

Figura 107

Ensayo de compresión de la probeta N1 de concreto con bacteria Subtilis y 7% de viruta de acero

Figura 108

Resultado de ensayo de compresión de la probeta N1 de concreto con bacteria Subtilis y 7% de viruta de acero

Figura 109

Ensayo de compresión de la probeta N2 de concreto con bacteria Subtilis y 7% de viruta de acero

Figura 110

Resultado del ensayo de compresión de la probeta N2 de concreto con bacteria Subtilis y 7% de viruta de acero

Figura 111

Ensayo de compresión de la probeta N3 de concreto con bacteria Subtilis y 7% de viruta de acero

Figura 112

Resultado del ensayo de compresión de la probeta N3 de concreto con bacteria Subtilis y 7% de viruta de acero

Terminando de ensayar las probetas por compresión, pasamos a ensayar las vigas por flexión luego de 28 días.

Figura 113

Ensayo de flexión de viga N1 de concreto patrón luego de 28 días

Figura 114

Resultado del ensayo de flexión de viga N1 de concreto patrón luego de 28 días

Figura 115

Ensayo de flexión de la viga N1 con bacteria con adición de viruta de acero de 3% luego de 28 días

Figura 116

Resultado del ensayo de flexión de la viga N1 con bacteria con adición de viruta de acero de 3% luego de 28 días

Figura 117

Ensayo de flexión de la viga N2 con bacteria con adición de viruta de acero de 5% luego de 28 días

Figura 118

Resultado del ensayo de flexión de la viga N2 con bacteria con adición de viruta de acero de 5% luego de 28 días

Figura 119

Ensayo de flexión de la viga N3 con bacteria con adición de viruta de acero de 7% luego de 28 días

Figura 120

Resultado del ensayo de flexión de la viga N3 con bacteria con adición de viruta de acero de 7% luego de 28 días

Capítulo 6. Análisis y validación de resultados

Este sexto capítulo presenta el Análisis de los resultados, y comprende:

Resultados y análisis

Los resultados de los ensayos realizados al concreto, tanto en estado fresco como endurecido, serán expuestos en las siguientes tablas. Esta información es esencial para evaluar la eficacia de la incorporación de viruta de acero y la bacteria Subtilis, basándose en los indicadores de medición definidos para el problema en estudio.

Resultados de ensayos en concreto fresco

Los ensayos que se realizaron al concreto en estado fresco fueron los siguientes:

- Determinación de la temperatura de la mezcla ASTM C-1064
- Ensayo de revenimiento ASTM C-143
- Determinación del peso unitario del concreto fresco ASTM C-138
- Contenido de aire del concreto fresco ASTM C-231

A continuación, se muestran los resultados de los ensayos realizados a todas las mezclas de concreto elaboradas con diferentes dosificaciones de viruta.

Tabla 24

Resultados de ensayos realizados en concreto fresco

Tipo de mezcla	Temperatura (°C)	Slump (pulg)	Peso U. (kg/m3)	Porcentaje de Aire (%)
Concreto Patrón	26.1	6	2414.88	1.1
Concreto + Bacteria	28.6	7.5	2327.61	0.5
Concreto + Bacteria + Viruta al 3%	26.1	8	2304.72	0.7
Concreto + Bacteria + Viruta al 5%	29.9	8	2247.5	1.4
Concreto + Bacteria + Viruta al 7%	29.4	7.5	2237.48	1.8

Los resultados de los ensayos en el concreto fresco indican variaciones en la temperatura de las mezclas, fluctuando entre 26.1 °C y 29.9 °C, atribuibles a los distintos horarios de elaboración. En relación con la consistencia del concreto, se constata que todas las mezclas cumplen con el criterio establecido, alcanzando un slump de entre 6” y 8”. Adicionalmente, los datos revelan que los pesos unitarios y los porcentajes de aire en las mezclas varían entre 0.5 y 1.8 %, cumpliendo con el límite máximo de 2% de contenido de aire especificado en el diseño de las mezclas.

Resultados de ensayos en concreto endurecido

Prueba de resistencia a la compresión a los 7 días. Se realizaron pruebas de resistencia a la compresión en dos variantes de concreto, el concreto patrón y el bioconcreto, a los 7 días de curado. De acuerdo con los datos de la Tabla 14, el concreto patrón alcanzó la resistencia especificada en el diseño de la mezcla de 210 kg/cm². En contraste, el bioconcreto mostró una resistencia a la compresión de entre 60 y 90 kg/cm² a los 7 días. Además, se incluyen los resultados de las pruebas de flexión realizadas a vigas después de 7 días de curado.

Tabla 25

Ensayos de Compresión a los 7 días

	Peso de fuerza/área kg	**Resistencia a la compresión obtenida kg/cm2**
Concreto patrón 1	16.760,00	213,40
Concreto patrón 2	17.200,00	219,00
Concreto patrón 3	17.894,00	227,80
Concreto con 3% de viruta de acero 1	7.175,00	91,40
Concreto con 3% de viruta de acero 2	7.429,00	94,60
Concreto con 3% de viruta de acero 3	7.679,00	97,80
Concreto con 5% de viruta de acero 1	5.502,00	70,10
Concreto con 5% de viruta de acero 2	5.143,00	65,60
Concreto con 5% de viruta de acero 3	5.062,00	64,50

Concreto con 7% de viruta de acero 1	4.694,00	59,80
Concreto con 7% de viruta de acero 2	5.148,00	65,50
Concreto con 7% de viruta de acero 3	5.161,00	65,70

Prueba de resistencia a la flexión a los 7 días. Se evaluó la resistencia a la flexión de ambos tipos de concreto, el concreto patrón y el bioconcreto, a los 7 días de curado. Los resultados indicaron que tanto el concreto patrón como el bioconcreto alcanzaron la resistencia esperada de 210 kg/cm². Posteriormente, se detallarán los resultados de los ensayos de compresión realizados en las probetas después de 7 días de curado.

Tabla 26

Ensayos de Flexión a los 7 días

	Peso de fuerza/ distancia kg	**Carga puntual por distancia kg/cm2**	**Resistencia a la compresión obtenida kg/cm2**
Concreto patrón 1	1.955,00	24,70	210,00
Concreto con 3% de viruta de acero 1	1.855,00	24,70	220,00
Concreto con 5% de viruta de acero 1	1.755,00	23,70	215,00
Concreto con 7% de viruta de acero 1	1.628,00	21,70	212,30

Prueba de resistencia a la compresión a los 14 días. Se realizó la prueba de resistencia a la compresión a los 14 días en dos tipos de concreto: el concreto patrón y el bioconcreto. Los resultados mostraron que el concreto patrón alcanzó la resistencia especificada en el diseño de mezcla de 210 kg/cm², como se indica en la tabla 14. Por otro lado, el bioconcreto, en su diseño de mezcla con un 3% de viruta de acero, superó las expectativas en dos de las probetas ensayadas a los 14 días.

Tabla 27

Ensayos de Compresión a los 14 días

	Peso de fuerza/área kg	**Resistencia a la compresión obtenida kg/cm2**
Concreto patrón 1	20.053,00	255,30
Concreto patrón 2	20.434,00	260,20
Concreto patrón 3	20.760,00	264,30
Concreto con 3% de viruta de acero 1	44.764,00	253,30
Concreto con 3% de viruta de acero 2	43.113,00	244,00
Concreto con 3% de viruta de acero 3	8.713,00	110,90
Concreto con 5% de viruta de acero 1	6.867,00	87,40
Concreto con 5% de viruta de acero 2	6.740,00	89,80
Concreto con 5% de viruta de acero 3	6.663,00	84,80
Concreto con 7% de viruta de acero 1	5.275,00	67,20
Concreto con 7% de viruta de acero 2	5.883,00	74,90
Concreto con 7% de viruta de acero 3	6.132,00	78,10

Prueba de resistencia a la compresión a los 28 días. Se evaluó la resistencia a la compresión de dos variedades de concreto, el concreto patrón y el bioconcreto, a los 28 días. Según los resultados reflejados en la tabla 18, el concreto patrón alcanzó una resistencia superior a los 210 kg/cm², cumpliendo con los requisitos establecidos en su diseño de mezcla. Por otro lado, el bioconcreto, enriquecido con un 3% de viruta de acero, exhibió un rendimiento superior al esperado en todas las tres probetas ensayadas, logrando resistencias que excedieron los 300 kg/cm².

Tabla 28

Ensayos de Compresión a los 28 días

	Peso de fuerza/área kg	Resistencia a la compresión obtenida kg/cm2
Concreto patrón 1	20.434,00	260,00
Concreto patrón 2	20.760,00	264,00
Concreto patrón 3	20.053,00	255,30
Concreto con 3% de viruta de acero 1	43.113,00	358,00
Concreto con 3% de viruta de acero 2	51.396,00	360,80
Concreto con 3% de viruta de acero 3	42.113,00	348,00
Concreto con 5% de viruta de acero 1	8.713,00	110,00
Concreto con 5% de viruta de acero 2	7.679,00	92,80
Concreto con 5% de viruta de acero 3	7.429,00	94,80
Concreto con 7% de viruta de acero 1	5.502,00	80,10
Concreto con 7% de viruta de acero 2	5.143,00	85,52
Concreto con 7% de viruta de acero 3	5.161,00	85,70

Prueba de resistencia a la flexión a los 28 día. Se realizaron ensayos de resistencia a la flexión en dos variedades de concreto, el concreto patrón y el bioconcreto, a los 28 días de curado. En ambos casos, tanto el concreto patrón como el bioconcreto alcanzaron una resistencia superior a los 210 kg/cm², cumpliendo con las expectativas de desempeño establecidas.

Tabla 29

Ensayos de flexión a los 28 días

	Peso de fuerza/ distancia kg	Carga puntual por distancia kg/cm2	Resistencia a la compresión obtenida kg/cm2
Concreto patrón 1	**1.955,00**	**24,70**	**210,00**
Concreto con 3% de viruta de acero 1	**1.855,00**	**28,70**	**225,00**
Concreto con 5% de viruta de acero 1	**1.755,00**	**27,70**	**220,00**
Concreto con 7% de viruta de acero 1	**1.628,00**	**27,50**	**218,00**

Prueba a los 14 días de resistencia a la flexión del bioconcreto luego de haberlo ensayado a los 7 días.

Figura 121

Agrietamiento de Concreto Patrón con adición de Bacteria Sutbilis

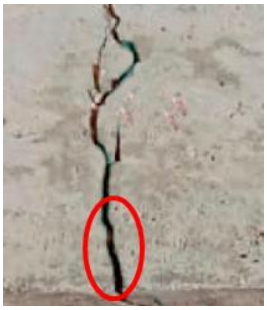
Figura 122

Agrietamiento de Concreto Patrón con adición de Bacteria Sutbilis

Como se puede observar en la presente imagen hay dos segmentos, una línea más gruesa con plumón y la más delgada con lápiz para poder diferenciar cual es el efecto de la disminución de la grieta en el concreto. Donde la grieta tiene un ancho de 1.542 mm como se ve en la imagen. Luego de 14 días ha disminuido su ancho a 1.016 mm.

Figura 123

Agrietamiento de Concreto Patrón con adición de Bacteria luego 21 días



La foto tomada luego de 21 días medido en campo se observó que de tener un ancho de 1.016 mm pasamos a tener 0.985 mm.

Figura 124

Agrietamiento de Concreto Patrón con adición de Bacteria luego 28 días

La foto tomado luego de 28 días medido en campo se observó que de tener un ancho de 0.985 mm paso a tener 0.880 mm.

Tabla 30

Ensayos de agrietamiento

Concreto Patrón con adición de Bacteria Sutbilis	**14 días**	**21 días**	**28 días**
Resultados acumulado por dias	**1.016 mm**	**0.985 mm**	**0.880 mm**

Validación de resultados

Conforme a los datos presentados en la Tabla 1, se efectuaron validaciones de los resultados de la investigación mediante tres indicadores clave de medición. Las técnicas, herramientas y argumentos experimentales aplicados han permitido una evaluación detallada del comportamiento de los distintos tipos de concreto:

1. Análisis de Comportamiento del Concreto Estándar: Los ensayos de compresión y resistencia a la flexión realizados a los 7, 14 y 28 días de curado demostraron que se alcanzó una resistencia superior a 210 kg/cm², evidenciando un diseño de mezcla adecuado y un slump de 6 pulgadas.
2. Análisis de Comportamiento del Concreto con Bacteria Subtilis al 1%: Aplicando solo el 60% de la fuerza máxima para inducir fisuras en las vigas, se observó, según la Figura 60, una reducción significativa del ancho de fisura a los 14 días de ensayo. Asimismo, la Figura 61 muestra que, a los 28 días de activación de la bacteria, el ancho de la fisura se redujo a 0.880 mm, alcanzando el objetivo de minimizar la fisura efectivamente.
3. Análisis de Comportamiento del Concreto con Bacteria Subtilis al 1% y Viruta de Acero al 3%, 5% y 7%: Los ensayos de compresión y resistencia a la flexión a los 14 días de curado indicaron que la mezcla con 3% de viruta de acero y bacteria Subtilis logró una resistencia superior a 210 kg/cm², demostrando ser la formulación más eficiente. Posteriormente, a los 28 días de curado, el bioconcreto con 3% de viruta de acero superó los 300 kg/cm², mostrando un rendimiento excepcional.

Estos análisis confirman la eficacia de las adiciones estudiadas en la mejora de las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto.

Conclusiones

En la conclusión, de esta investigación, se presentan los siguientes hallazgos clave relativos al desempeño del concreto estándar y las mezclas diseñadas con adiciones de viruta de acero y bacteria:

Objetivo específico 1: Diseñar la mezcla de concreto patrón para obtener un f'c = 210 kg/cm2 con un slump de 6" a 8"

- al cierre del estudio, se observa que el concreto modificado con adición de viruta de acero y bacteria exhibe una resistencia a la flexión comparable al concreto patrón según los datos de la Tabla 16. Se anticipó que, al cumplir 28 días de curado, los resultados podrían mostrar una superioridad en la resistencia a la flexión del concreto modificado;
- el diseño de mezcla del concreto patrón alcanzó y superó una resistencia a la compresión de 210 kg/cm², con un slump de 6 pulgadas, corroborado por los ensayos presentados en las Tablas 12 y 15 sobre el concreto fresco y endurecido;
- se controló la dosificación de materiales en base a la tabla 5, lo que logro garantizar una resistencia estructural requerida y una buena trabajabilidad, lo que evito problemas de segregación.
- Se concluyo que el concreto patrón logra tener su resistencia optima desde los 7 primeros días luego de su secado, esto se repitió tanto a los 14 y 28 días.

Objetivo específico 2: Diseñar la proporción de materiales en la mezcla de concreto autoreparante adicionada con 1% de bacteria y porcentajes de 3%, 5% y 7% de viruta de acero

- Se identificó que existe una combinación adecuada de materiales (cemento, arena, grava, bacteria y viruta de acero) que maximiza tanto la capacidad auto reparadora como las

propiedades mecánicas del concreto con 1% de bacteria y porcentajes de 3%, 5% y 7% de viruta de acero.

- La combinación de viruta de acero en 3%, 5% y 7% con 1% de bacteria en la mezcla de concreto autoreparante genera una sinergia que mejora no solo la resistencia mecánica, sino también la capacidad de reparación del material, aumentando su durabilidad en estructuras expuestas a condiciones adversas.
- la proporción óptima de materiales en la mezcla del concreto patrón con un 1% de adición de bacteria Subtilis se estableció satisfactoriamente, como se ilustra en las Figuras 12 y 13, donde se preparó la mezcla y se evaluó el slump estimado.

Objetivo específico 3: Analizar los resultados de los ensayos a la resistencia a la flexión y compresión a los 7, 14 y 28 días de secado de las muestras

- Las vigas ensayadas de bioconcreto de 3%, 5% y 7% a los 7 días llegaron a alcanzar una resistencia promedio de 210 kg/cm2, respetando un slump promedio entre 6 a 8” y a los 28 días llegaron a alcanzar una resistencia promedio de 215 kg/cm2.
- las vigas de concreto patrón con un 3% de viruta de acero fueron las que mejor registraron una resistencia a la flexión mayor de 210 kg/cm² a los 7 días de curado, y este valor fue superado tras 28 días, como se detalla en la Tabla 19.
- las probetas de bioconcreto con un 3% de viruta de acero mostraron, después de 14 días, una resistencia a la compresión de 253.3 y 244 kg/cm², y tras 28 días, los valores de resistencia ascendieron a 348 y 360 kg/cm²

Objetivo específico 4: Analizar los resultados de los ensayos de fisuración en 4 periodos de 7 días durante un mes

- el análisis del concreto patrón con solo un 1% de bacteria mostró una reducción progresiva

del ancho de las grietas: de 1.542 mm a 1.016 mm a los 14 días, observado en la Figura 119.

- a los 21 días el concreto patrón con la adición de 1% de bacteria mostro reducir de 1.016 a 0.985 mm, teniendo resultados positivos como se muestra en la Figura 120.
- Por último, se reduzco de 0.985 a 0.880 mm a los 28 días, evidenciando un diseño óptimo en términos de mitigación de grietas, tal como se mostro en la Figura 121.

Objetivo específico 5: Elegir el diseño de mezcla más optimo.

- Por todo lo anterior mencionado se tiene que el diseño de mejor proporción fue el concreto patrón adicionado con 1% de bacteria y 3% de viruta de acero.
- Se concluye que el concreto patrón adicionado de 1% de bacteria y 3% de viruta de acero obtuvo las mejores resistencias tanto en los ensayos de flexión y compresión en los diferentes días de curado, sea 7, 14 y 28 días, tal como se demuestra desde la tabla 15 a la 19.
- Finalmente, la proporción de 1% de bacteria como se mostro en los ensayos de fisuración fue la proporción ideal que reduce las grietas a lo largo de los días luego de su exposición a la intemperie.

Estos resultados subrayan la eficacia de las adiciones de viruta de acero y bacteria en la mejora de las propiedades mecánicas del concreto, tanto en términos de resistencia a la compresión como en la capacidad de control de fisuración y resistencia a la flexión.

Recomendaciones

Objetivo específico 1: Diseñar la mezcla de concreto patrón para obtener un f'c = 210 kg/cm2 con un slump de 6" a 8"

- En base a las nuevas tecnologías que existen en el mundo ingenieril se recomienda tener una investigación de propuestas innovadoras similares que ayuden a tener una mayor información del tema en centros de salud, albergues u otras infraestructuras públicas.
- Realizar pruebas adicionales para determinar el porcentaje exacto de viruta de acero que maximiza la resistencia mecánica y la durabilidad del concreto autoreparante, considerando diferentes condiciones ambientales y ciclos de carga.
- Implementar un estricto control de calidad para asegurar la viabilidad y eficacia de la bacteria agregada al concreto. Esto puede incluir métodos de almacenamiento y aplicación que preserven la actividad biológica de la bacteria.

Objetivo específico 2: Diseñar la proporción de materiales en la mezcla de concreto autoreparante adicionada con 1% de bacteria y porcentajes de 3%, 5% y 7% de viruta de acero

- Dada que esta investigación se ha dado para la ciudad de Ica, se recomienda poder hacer nuevas propuestas de diseño en lugares con mayor incidencia de agentes externos, como en la sierra o en la selva, donde se pueda ver si es óptimo tener un uso de la bacteria Subtilis con adición de viruta de acero.
- Realizar estudios a largo plazo para evaluar la durabilidad del concreto autoreparante en condiciones reales de exposición, monitoreando la eficacia de autoreparación con el tiempo y bajo diferentes tipos de daños estructurales.
- Investigar otras cepas de bacterias que puedan tener una mayor eficacia en el proceso de

autoreparación, así como su capacidad para trabajar en conjunto con los componentes del concreto.

Objetivo específico 3: Analizar los resultados de los ensayos a la resistencia a la flexión y compresión a los 7, 14 y 28 días de secado de las muestras

- Realizar ensayos de resistencia a compresión y tracción en diferentes condiciones ambientales (humedad, temperatura) para evaluar el comportamiento del concreto en situaciones reales.
- Debido a que nuestra investigación se basó en adicionar a la mezcla de concreto patrón un 3% de viruta de acero con la bacteria Subtilis, se invita a los nuevos investigadores a diseñar entre 1.5% a 3%, ya que en investigaciones recopiladas de la sola adición de viruta de acero, mencionan que con 1.5% de viruta de acero se logra obtener una buena resistencia a la flexión, sin embargo, al agregar la bacteria Subtilis, la arcilla expandida que se utilizó genera que disminuya la resistencia a la flexión, es por ello que nosotros propusimos aumentar el porcentaje de viruta de acero, para tener un diseño optimo.
- Establecer protocolos claros y prácticos para la mezcla y aplicación del concreto autoreparante, incluyendo la mezcla de viruta de acero y bacterias para garantizar una distribución homogénea de los materiales.

Objetivo específico 4: Analizar los resultados de los ensayos de fisuración en 4 periodos de 7 días durante un mes

- Implementar sistemas de monitoreo para detectar fisuras en tiempo real, de modo que se pueda evaluar la eficacia del proceso de autoreparación y hacer ajustes en la composición del concreto si es necesario.
- Realizar un análisis de costos para evaluar la viabilidad económica de utilizar este tipo de

concreto en comparación con el concreto convencional, teniendo en cuenta su durabilidad y potencial para reducir costos de mantenimiento.

- Capacitar a los trabajadores de la construcción sobre las propiedades y beneficios del concreto autoreparante para asegurar una correcta aplicación y maximizar su rendimiento en proyectos.

Objetivo específico 5: Elegir el diseño de mezcla más optimo.

- Colaborar con universidades o centros de investigación para llevar a cabo estudios más profundos sobre las propiedades del concreto autoreparante y su comportamiento en diferentes entornos.
- Asegurarse de que los materiales utilizados cumplen con las normativas y especificaciones necesarias para garantizar la calidad del concreto.
- Se recomienda que en futuras investigaciones se estudie más a fondo la posibilidad de fabricar este tipo de concreto como premezclado, ya que esto ampliaría la aplicación de este material en edificaciones de grandes dimensiones.

Referencias bibliográficas

American Concrete Institute. (2001). *ACI 224R-01: Control de grietas en estructuras de concreto reforzado*. https://www.studocu.com/cl/document/universidad-de-chile/hormigon-estructural/aci-224/11571430

Amran, M., Onaizi, A. M., Fediuk, R., Vatin, N. I., Rashid, R. S. M., Abdelgader, H., y Ozbakkaloglu, T. (2022). Self-Healing Concrete as a Prospective Construction Material: A Review. *Materials*, *15*(9), 3214. https://doi.org/10.3390/MA15093214

Ansari, M., y Safiey, A. (2020). Corrosion effects on mechanical behavior of steel fiber reinforced concrete, including fibers from recycled tires. *Computers and Concrete*, *26*(4), 367–375. https://doi.org/10.12989/CAC.2020.26.4.367

American Society for Testing and Materials. (2018). *ASTM C 143: Asentamiento*. Scribd. https://www.scribd.com/document/375822278/ASTM-C-143-Asentamiento

Colegio de Ingenieros del Perú (2020). *Resistencia a flexión del concreto*. National Ready Mixed Concrete Association. https://www.nrmca.org/wp-content/uploads/2020/04/CIP16es.pdf

Contraloría General de la República. (2022, 23 de marzo). *Ica: Más del 50% de II. EE. públicas tienen deficiencias de infraestructura y carencia de servicios básicos*. Gobierno del Perú. https://www.gob.pe/institucion/contraloria/noticias/590378-ica-mas-del-50-de-iiee-publicas-tienen-deficiencias-de-infraestructura-y-carencia-de-servicios-basicos

Davies, R., Teall, O., Pilegis, M., Kanellopoulos, A., Sharma, T., Jefferson, A., Gardner, D., Al- Tabbaa, A., Paine, K., & Lark, R. (2018). Large scale application of self-healing concrete: Design, construction, and testing. *Frontiers in Materials*, 5, 51.

https://doi.org/10.3389/FMATS.2018.00051/XML/NLM

Daza-Sánchez, O. E., & Guarnizo-Trujillo, F. (2021). *Revisión bibliográfica entre el concreto auto reparable y el concreto convencional* [Trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia] Repositorio Institucional UCC. https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/25914

Desarrollo Regulatorio SAC (2019). *Rehabilitación de fisuras en el concreto reforzado.* Recuperado el 18 de marzo de 2023, de http://www.deresac.com/boletin-de-seguridad-primera-semana-de-julio-2019/

Ding, Y., Zhou, S. X., Yuan, H. Q., Pan, Y., Dong, J. L., Wang, Z. P., Yang, T. L., & She, A. M. (2021). Crack Identification Method of Steel Fiber Reinforced Concrete Based on Deep Learning: A Comparative Study and Shared Crack Database. *Advances in Materials Science and Engineering*. https://doi.org/10.1155/2021/9934250

Durand Diaz, R., & Leiva Mora, D. K. (2018). *Evaluación de las propiedades mecánicas del concreto, reemplazando el agregado fino por viruta de acero en porcentajes de7 %,8 % y 9 % con respecto de un concreto patrón, con agregados de las canteras de Vicho y Cunyac*. [Trabajo de grado, Universidad Andina Del Cusco]. Repositorio Institucional UAC. https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/1599

El-Dieb, A. S., El-Ghareeb, M. A., Abdel-Rahman, M. A. H., & Nasr, E. S. A. (2018). Multifunctional electrically conductive concrete using different fillers. *Journal of Building Engineering*, *15*, 61–69. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.10.012

Estrada, S., & Junior, A. (2021). *Aplicación del bioconcreto para reparar agrietamientos de los decantadores de la planta de tratamiento de agua La Atarjea-Lima* [Tesis de Licenciatura, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Institucional UPC.

http://hdl.handle.net/10757/655332

Faron, A., & Rombach, G. A. (2020). Simulation of crack growth in reinforced concrete beams using extended finite element method. *Engineering Failure Analysis*, *116*, 104698. https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104698

Gallo, W. M. (2006). *Inspecciones técnicas de seguridad estructural en edificaciones de concreto armado* [Tesis de Licenciatura, Universidad de Piura]. Repositorio Institucional PIRHUA. https://hdl.handle.net/11042/1363

González, M, (2018). Evaluación de la viruta de acero como agregado fino para concreto estructural, [Trabajo de grado, Universidad Católica Andrés Bello, Guayana]. Repositorio Institucional UCAB http://catalogo-gy.ucab.edu.ve/documentos/tesis/33251.pdf

Instituto Geofísico del Perú (IGP). (2021). *CENSIS*. Recuperado el 19 de mayo de 2024 de https://ultimosismo.igp.gob.pe

Instituto Nacional de Calidad (2013a). *Agregados: análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global* (Norma Técnica Peruana 400.012 – Revisada el 2018). https://es.scribd.com/document/405322425/26423-400-012

Instituto Nacional de Calidad (2013b). *Agregados: método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso* (Norma Técnica Peruana 400.021). https://es.slideshare.net/slideshow/ntp-400021-2013-densidad-relativa-peso-especfico-y-absorcin-agreg-grueso-grupo-4/250634558

Instituto Nacional de Calidad (2015). *Concreto: Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas* (Norma Técnica Peruana

339.034). https://es.scribd.com/document/417389764/Ntp-339-034-Metodo-de-Ensayo-Normalizado-Para-La-Determinacion-de-La-Resistencia-a-La-Compresion-Del-Concreto-en-Muestras-Cilindricas

Instituto Nacional de Calidad (2021). *Agregados: Determinación del contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Método de ensayo* (Norma Técnica Peruana 339.185). https://es.scribd.com/document/649882034/NTP-339-185

Intarasoontron, J., Pungrasmi, W., Nuaklong, P., Jongvivatsakul, P., & Likitlersuang, S. (2021). Comparing performances of MICP bacterial vegetative cell and microencapsulated bacterial spore methods on concrete crack healing. *Construction and Building Materials, 302,* 124227. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124227

Investigación Experimental (2007, 25 de junio). Monografias.com. https://www.monografias.com/trabajos14/investigacion/investigacion

Jeong, B., Jho, E. H., Kim, S. H., & Nam, K. (2019). Effect of calcium organic additives on the self-healing of concrete microcracks in the presence of a new isolate *Bacillus sp. BY1*. *Journal of Materials in Civil Engineering, 31*(10), 04019227. https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002711

Jin, C., Yu, R., & Shui, Z. (2018). Fungi: A neglected candidate for the application of self-healing concrete. *Frontiers in Built Environment, 4,* 62. https://doi.org/10.3389/fbuild.2018.00062

Jung, S., Lee, S., & Yu, J. (2020). Ontological approach for automatic inference of concrete crack cause. *Applied Sciences, 11*(1), 252. https://doi.org/10.3390/app11010252

Liang, X., & Lu, T. (2018). Seismic evaluation of engineered cementitious composites beam–column–slab subassemblies with various column-to-beam flexural strength ratios. *Structural Concrete, 19*(3), 735–746. https://doi.org/10.1002/suco.201600119

Méndez, C. (2024, 22 de mayo). *¿Cuántos tipos de grietas existen?* Recuperado el 19 de diciembre de 2023, de https://www.nosotros-los-arquitectos.com/2020/06/24/cuantos-tipos-de-grietas-existen/

Ministerio de Educación del Perú. (2022). *Orientaciones para el buen inicio del año escolar 2022, Educación primaria.R.M.N.°531-2021-MINEDU.* https://repositorio.minedu.gob.pe/handle/20.500.12799/7770

Ministerio de Educación del Perú. (2020). *Proyecto Educativo Nacional, PEN 2036: el reto de la ciudadanía plena*. https://repositorio.minedu.gob.pe/handle/20.500.12799/6910

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006). *Reglamento nacional de edificaciones*. https://www.gob.pe/institucion/sencico/informes-publicaciones/887225-normas-del-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne

Masías–Mogollón, A. (2018). *Resistencia a la flexión y tracción en el concreto usando ladrillo triturado como agregado grueso*. [Tesis de Licenciatura, Universidad de Piura]. Repositorio Institucional PIRHUA. https://hdl.handle.net/11042/3484

Nain, N., Surabhi, R., Yathish, N. V., Krishnamurthy, V., Deepa, T., & Tharannum, S. (2019). Enhancement in strength parameters of concrete by application of *Bacillus* bacteria. *Construction and Building Materials, 202,* 904–908. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.059

Nanayakkara, O., Gunasekara, C., Sandanayake, M., Law, D. W., Nguyen, K., Xia, J., & Setunge, S. (2021). Alkali activated slag concrete incorporating recycled aggregate concrete: Long term

performance and sustainability aspect. *Construction and Building Materials, 271*, 121512. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121512

Norambuena-Contreras, J., Gonzalez, A., Concha, J. L., Gonzalez-Torre, I., & Schlangen, E. (2018). Effect of metallic waste addition on the electrical, thermophysical and microwave crack-healing properties of asphalt mixtures. *Construction and Building Materials, 187*, 1039–1050. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.053

Pariona Tunque, J. F. K. (2021). *Bacterias alcalófilas en la auto-reparación de fisuras en concretos sostenibles*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional UNCP. http://hdl.handle.net/20.500.12894/6905

Park, B., & Choi, Y. C. (2021). Effect of healing products on the self-healing performance of cementitious materials with crystalline admixtures. *Construction and Building Materials, 270*, 121389. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121389

Perez Veli, R. Y. (2021). *La Viruta de Acero como Sustituto del Agregado Fino y Sus Propiedades en el Concreto.* [Tesis de Licenciatura, Universidad Peruana los Andes]. Repositorio Institucional UPLA. https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/3080

Rojas Dianderas, A. L. (2020). *Influencia a la resistencia a flexión en vigas de concreto con adición de viruta de acero.* [Tesis de Licenciatura, Universidad Peruana los Andes]. Repositorio Institucional UPLA. http://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/2147

Cementos Mexicanos (2020). *Diseño de mezclas de concreto ACI COMITÉ 211*. https://www.academia.edu/40296179/Dise%C3%B1o_de_mezclas_de_Concreto_ACI_COMIT

%C3%89_211

Ruiz, J. (2012). *Metodología de la investigación cualitativa*. [Trabajo de grado, Universidad Tecnica de Machala]. Repositorio Institucional UTMACH https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/12501/1/Tecnicas-y-MetodoscualitativosParaInvestigacionCientifica.pdf

Ruiz Humareda, A.N & Valverde Tapia, E. (2020). *Incorporación de bacterias Bacillus Subtilis para mejorar la capacidad autorreparable del concreto F'c = 210 kg/cm^2, Lima 2020* [Tesis de licenciatura, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/65432

Siddique, R., & Chahal, N. K. (2011). Effect of ureolytic bacteria on concrete properties. *Construction and Building Materials*, *25*(10), 3791–3801. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.04.010

Sika. (2013). *Manual de productos Sika*. Sika AG. Recuperado el 10 de mayo de 2023, de https://mex.sika.com/es/manual-de-productos.html

Stanaszek-Tomal, E. (2020). Bacterial concrete as a sustainable building material? *Sustainability*, *12*(2), 696. https://doi.org/10.3390/su12020696

Toirac Corral, M. (2004). La resistencia a compresión del hormigón, condición necesaria pero no suficiente para el logro de la durabilidad de las obras. *Ciencia y sociedad, 34(4).* https://www.redalyc.org/pdf/870/87014516001.pdf

Vila Carbajal, E. G. (2019*). Análisis comparativo del comportamiento estructural en flexion, entre vigas reforzadas con varillas de vidrio frente a las reforzadas con acero*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio Institucional UFV.

https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/3349

Wang, X., Huang, Y., Huang, Y., Zhang, J., Fang, C., Yu, K., Chen, Q., Li, T., Han, R., Yang, Z., Xu, P., Liang, G., Su, D., Ding, X., Li, D., Han, N., & Xing, F. (2019). Laboratory and field study on the performance of microcapsule-based self-healing concrete in tunnel engineering. *Construction and Building Materials, 220,* 90–101. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.017

Weather Spark (2021). *El clima en Ica, el tiempo por mes, temperatura promedio (Perú)*. Recuperado de 03 de abril de 2023, de https://es.weatherspark.com/y/22218/Clima-promedio-en-Ica-Per%C3%BA-durante-todo- el-a%C3%B1o

Xue, C., Li, W., Qu, F., Sun, Z., & Shah, S. P. (2020). Self-healing efficiency and crack closure of smart cementitious composite with crystalline admixture and structural polyurethane. *Construction and Building Materials, 260,* 119955. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119955

Anexos

DROKASA
PERU

BIOCILLUS®

FICHA TÉCNICA

IDENTIDAD

Nombre común:	Bacillus thuringiensis var. Kurstaki
Concentración:	32000 unidades internacionales de potencia por mg

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Composición:	Bacillus thuringiensis var. Kurstaki 6.4%
Formulación:	Polvo mojable – WP
Apariencia:	Polvo marrón claro con olor característico
Densidad:	1.06 – 1.1 g/ml a 20ºC
pH:	4.6-5.0
Solubilidad:	Soluble en agua
Estabilidad:	2 años en condiciones normales de almacenamiento.

REGISTRO SENASA: Reg. PBUA N° 149 - SENASA

TOXICOLOGÍA

DL50 oral aguda:	>10,516 mg/kg
DL50 dermal aguda:	7,200 mg/kg

Categoría Toxicológica: Ligeramente Peligroso - Cuidado

Banda Toxicológica: Verde

Jr. Mariscal La Mar N° 991 piso 9 – Magdalena del Mar Teléfono: 501-1000 Versión 1
www.drokasa.com.pe

Agriplant S.R.L.

FICHA TÉCNICA

ARCITEK

Arcilla expandida

IMPORTANCIA

La *ARCITEK* es un agregado de arcilla de peso ligero, tiene una forma redondeada con poros muy pequeños que permite una buena absorción de agua y de excelente durabilidad. Ideal para plantas ornamentales, así como la horticultura o hidropónica de alto rendimiento.

DESCRIPCIÓN

Este material aislante derivado de una expansión en un horno rotatorio a 1200 °C es un producto natural, ligero, incombustible, no inflamable e inalterable con el tiempo. Posee una estructura interna formada por una espuma cerámica con micropóros. Es de baja densidad y alta resistencia superficial y rígida. No acumula sales, por lo tanto, su conductividad eléctrica es de baja y pH neutro.

APLICACIONES

Excelente en geotecnia, agricultura y paisajismo, en particular drenaje, vertederos, floreras y cubiertas ajardinadas.

CARACTERÍSTICAS		DETALLES		
Procedencia		PORTUGAL		
Composición		Agregado de arcilla.		
Apariencia		Redondeada		
Granulometría	mm	FINA 4.0 - 8.0	MINI 8.0- 12.5	PLUS 8.0-16.0
Densidad aparente seca	(± 15%) kg/m³	358	287	274
Superficies aplastadas y salidas*	(% masa)	NA	7	12
Resistencia al aplastamiento (± 10%)	MPa	4.8	1.8	1.3
Conductividad térmica	(W/m° C)	0.11	0.11	0.10
Absorción de agua	(% masa seca)	26.2	22.7	22.8
Resistencia al fuego		Incombustible Euro Clase A1		
Presentación		Bolsa de 50L		

*Porcentaje de partículas machacadas de un total del 100%.

Recomendaciones: Al añadir agua, la superficie del sustrato tiene que permanecer granulosa y estable, pero sin compactación. Las recomendaciones de uso se han de entender como indicativas y se deben adecuar a las condiciones "in situ". Esta información se suministra de buena fe, es precisa y confiable según mejor conocimiento; pero debe considerarse solo como una guía en la selección del producto no como garantía de funcionaria. • MARUPLAST INTERNACIONAL E.I.R.L. declina toda responsabilidad por resultados obtenidos mediante el uso de esta información.

CHEMILAB

SOLUCIONES Y REACTIVOS

FICHA TECNICA DEL EXTRACTO DE LEVADURA EN POLVO

ESPECIFICACIONES:

APARIENCIA: SOLIDO EN POLVO MARRON AMBAR

PRESENTACION: FRASCO X 50 GRS PLASTICO

USO: EXCLUSIVO PARA LABORATORIO

FECHA DE FABRICACION:29/03/2023

FECHA DE VENCIMIENTO:29/032025

ESPECIFICACIONES DEL REACTIVO.

. NITROGENO AMINICO: MINIMO 4.5%

· NITROGENO TOTAL: MINIMO 10%

. SOLUBILIDAD EN AGUA: SOLUBLE

· PERDIDA EN EL SECADO: MAXIMO 5%

· CENIZAS: MAXIMO 15%

· PH (EN SOLUCION 2%) ENTRE 6.0 Y 7.2

· MANTENER EN LUGAR SECO Y FRESCO

· REACTIVO ESTABLE EN CONDICIONES NORMALES DE ALMACENAMIENTO

REACTIVO DE FABRICACION NACIONAL

HOJA TECNICA

CHEMILAB

SOLUCIONES Y REACTIVOS

FICHA TECNICA DEL LACTATO DE CALCIO

ESPECIFICACIONES:

APARIENCIA: SOLIDO EN POLVO BLANCO O GRANULAR

PRESENTACION: FRASCO X 350 GR FRASCO DE PLASTICO NATURAL

USO: EXCLUSIVO PARA LABORATORIO

FORMULA: C6H10Ca06.5H2O P.M308.82g/mol

FECHA DE FABRICACION: 26/03/2023

FECHA DE VENCIMIENTO: 26/03/2028

REACTIVO REENVASADO NACIONAL

ESPECIFICACIONES DEL REACTIVO.

. PUREZA: 99%

. OLOR: SIN OLOR

. DENSIDAD(20°C): 0.85g/cm3

. PH: 2-4 (SOLUCION ACUOSA AL 10°)

. INFLAMABILIDAD: EL REACTIVO NO ES INFLAMABLE NI COMBUSTIBLE

· SOLUBILIDAD EN AGUA A 20°C: SOLUBLE EN AGUA A300°C

.REACTIVO NO ES EXPLOSIVO

.REACTIVO ESTABLE EN CONDICIONES NORMALES DE ALMACENAMIENTO

. MANIPULAR CON GUANTES Y LENTES DE SEGURIDAD

.REACTIVO PARA USO DE LABORATORIO

REACTIVO DE FABRICACION NACIONAL