



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

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

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

AUTORES:

Ruiz Humareda, Anguiela Nikol

0000-0001-5093-2824

Valverde Tapia, Emir Paul

0000-0002-5314-6447

ASESOR:

Dr. Ing. Tello Malpartida, Omart Demetrio

0000-0002-5043-6510

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño Sísmico y Estructural

LIMA – PERÚ

2020

DEDICATORIA

Queremos dedicar esta tesis a Dios, por ayudarnos a culminar esta obra e inspirarnos en este proceso.

A nuestros padres, por ser nuestro motor, por apoyarnos en cada paso, por sus consejos y por la educación que nos han brindado.

AGRADECIMIENTO

Como autores del presente trabajo de investigación, expresamos nuestro profundo agradecimiento a las personas que contribuyeron con sus valiosas sugerencias, críticas constructivas, apoyo moral e intelectual para cristalizar la presente tesis.

Agradecemos a la universidad que nos formó durante los años de estudio y en especial a nuestro asesor el Dr. Ing. Omart Demetrio Tello Malpartida, por su experiencia científica para la formulación de la tesis y valiosas críticas en la corrección de principio a fin.

A nuestros padres, por enseñarnos el significado de perseverar y luchar por nuestros sueños, por impulsarnos a seguir apostando por nuestra educación y por el acompañamiento incondicional.

Índice de contenidos

| | |
|--|------|
| Dedicatoria | ii |
| Agradecimiento | iii |
| Índice de contenidos | iv |
| Índice de tablas | v |
| Índice de gráficos | viii |
| Índice de figuras | ix |
| Resumen | xi |
| Abstract | xii |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. MARCO TEÓRICO | 5 |
| III. METODOLOGÍA | 19 |
| 3.1. Tipo y diseño de investigación | 20 |
| 3.2. Variables y operacionalización | 20 |
| 3.3. Población, muestra y muestreo | 22 |
| 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos | 24 |
| 3.5. Procedimientos | 25 |
| 3.6. Métodos de análisis de datos | 28 |
| 3.7. Aspectos éticos | 28 |
| IV. RESULTADOS | 29 |
| 4.1. Desarrollo del procedimiento | 30 |
| 4.2. Resultados | 87 |
| V. DISCUSIÓN | 93 |
| VI. CONCLUSIONES | 96 |
| VII. RECOMENDACIONES | 99 |
| REFERENCIAS | 101 |
| ANEXOS | |

Índice de Tablas

| | | |
|-----------|---|----|
| Tabla 1. | Especímenes para la inducción de fisuras | 22 |
| Tabla 2. | Especímenes para la resistencia a la compresión | 23 |
| Tabla 3. | Especímenes para la resistencia a la flexión | 23 |
| Tabla 4. | Fichas Técnicas | 24 |
| Tabla 5. | Certificados de calibración | 25 |
| Tabla 6. | Cuantificación de materiales | 25 |
| Tabla 7. | Agente bacteriano y alimentación | 26 |
| Tabla 8. | Análisis granulométrico de agregado grueso | 33 |
| Tabla 9. | Análisis granulométrico de agregado fino | 35 |
| Tabla 10. | Análisis granulométrico de arcilla expandida | 36 |
| Tabla 11. | Contenido de humedad de agregado grueso | 38 |
| Tabla 12. | Contenido de humedad de agregado fino | 38 |
| Tabla 13. | Contenido de humedad de arcilla expandida | 39 |
| Tabla 14. | Peso unitario suelto de agregado grueso | 40 |
| Tabla 15. | Peso unitario compactado de agregado grueso | 41 |
| Tabla 16. | Peso unitario suelto de agregado fino | 41 |
| Tabla 17. | Peso unitario compactado de agregado fino | 42 |
| Tabla 18. | Peso unitario suelto de arcilla expandida | 42 |
| Tabla 19. | Peso unitario compactado de arcilla expandida | 43 |
| Tabla 20. | Peso específico y absorción de agregado grueso | 43 |
| Tabla 21. | Peso específico y absorción de agregado fino | 44 |
| Tabla 22. | Cantidad de aditivo bacteriano encapsulado | 46 |
| Tabla 23. | Resumen de la caracterización de materiales | 48 |
| Tabla 24. | Resistencia a la compresión media requerida cuando no hay datos disponibles para establecer la desviación estándar | 48 |
| Tabla 25. | Requisitos aproximados de agua de mezcla y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales del agregado | 49 |
| Tabla 26. | Dependencia entre la relación agua – material cementante y la resistencia a la compresión del concreto | 50 |
| Tabla 27. | Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto | 51 |

| | | |
|-----------|---|----|
| Tabla 28. | Peso específico y volumen absoluto de agregados para un diseño patrón | 53 |
| Tabla 29. | Peso específico y volumen absoluto de agregados para un diseño con dosificación bacteriana. | 53 |
| Tabla 30. | Proporciones en peso para diseño patrón | 57 |
| Tabla 31. | Proporciones en peso para diseño con bacterias de 1×10^9 cel/ml | 57 |
| Tabla 32. | Proporciones en peso para diseño con bacterias de 1×10^{12} cel/ml | 57 |
| Tabla 33. | SLUMP obtenido | 59 |
| Tabla 34. | Resistencia a la compresión del concreto patrón | 65 |
| Tabla 35. | Resistencia a la compresión de la dosificación 1×10^9 cel/ml | 66 |
| Tabla 36. | Resistencia a la compresión de la dosificación 1×10^{12} cel/ml | 67 |
| Tabla 37. | Resistencia a la flexión del concreto patrón | 69 |
| Tabla 38. | Resistencia a la flexión de la dosificación 1×10^9 cel/ml | 70 |
| Tabla 39. | Resistencia a la flexión de la dosificación 1×10^{12} cel/ml | 71 |
| Tabla 40. | Espesor de fisuras en el concreto patrón | 73 |
| Tabla 41. | Proceso de autosellado de la fisura 0.15 mm en el concreto patrón | 74 |
| Tabla 42. | Proceso de autosellado de la fisura 0.4 mm en el concreto patrón | 75 |
| Tabla 43. | Espesor de fisuras en el concreto con dosificación 1×10^9 cel/ml | 76 |
| Tabla 44. | Proceso de autosellado de la fisura 0.3 mm en el concreto con dosificación 1×10^9 cel/ml | 77 |
| Tabla 45. | Proceso de autosellado de la fisura 0.6 mm en el concreto con dosificación 1×10^9 cel/ml | 78 |
| Tabla 46. | Espesor de fisuras en el concreto con dosificación 1×10^{12} cel/ml | 79 |
| Tabla 47. | Proceso de autosellado de la fisura 0.25 mm en el concreto con dosificación 1×10^{12} cel/ml | 80 |
| Tabla 48. | Proceso de autosellado de la fisura 0.6 mm en el concreto con dosificación 1×10^{12} cel/ml | 81 |
| Tabla 49. | Lectura de pH del concreto patrón | 85 |
| Tabla 50. | Lectura de pH del concreto con dosificación 1×10^9 cel/ml | 85 |
| Tabla 51. | Lectura de pH del concreto con dosificación 1×10^{12} cel/ml | 86 |
| Tabla 52. | Resumen del autosellado | 87 |
| Tabla 53. | Resumen del control de pH | 89 |

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabla 54. | Resumen de resistencia a la compresión | 90 |
| Tabla 55. | Resumen de resistencia a la flexión | 92 |

Índice de Gráficos

| | | |
|-------------|--|----|
| Gráfico 1. | Curva de distribución granulométrica de agregado grueso | 34 |
| Gráfico 2. | Curva de distribución granulométrica de agregado fino | 35 |
| Gráfico 3. | Curva de distribución granulométrica de la arcilla expandida | 37 |
| Gráfico 4. | Curva de resistencia a la compresión del concreto patrón | 65 |
| Gráfico 5. | Curva de resistencia a la compresión del concreto con dosificación 1×10^9 cel/ml | 66 |
| Gráfico 6. | Curva de resistencia a la compresión del concreto con dosificación 1×10^{12} cel/ml | 67 |
| Gráfico 7. | Análisis de resistencia a la flexión del concreto patrón | 69 |
| Gráfico 8. | Análisis de resistencia a la flexión del concreto con dosificación 1×10^9 cel/ml | 70 |
| Gráfico 9. | Análisis de resistencia a la flexión del concreto con dosificación 1×10^{12} cel/ml | 71 |
| Gráfico 10. | Proceso de autosellado del concreto patrón | 73 |
| Gráfico 11. | Proceso de autosellado del concreto con dosificación 1×10^9 cel/ml | 76 |
| Gráfico 12. | Proceso de autosellado del concreto con dosificación 1×10^{12} cel/ml | 79 |
| Gráfico 13. | Análisis comparativo de autosellado | 87 |
| Gráfico 14. | Análisis comparativo del control de pH | 89 |
| Gráfico 15. | Curva comparativa de resistencia a la compresión | 90 |
| Gráfico 16. | Análisis comparativo de resistencia a la flexión | 91 |

Índice de Figuras

| | | |
|------------|--|----|
| Figura 1. | Clasificación de bacterias | 11 |
| Figura 2. | Género Bacillus | 11 |
| Figura 3. | Colonia de Bacillus Subtilis | 11 |
| Figura 4. | Partículas de arcilla expandida | 13 |
| Figura 5. | Proceso de biomineralización | 14 |
| Figura 6. | Proceso de autorreparación | 14 |
| Figura 7. | Escala de pH | 16 |
| Figura 8. | Fisuras por contracción plástica | 16 |
| Figura 9. | Diagrama del ensayo de resistencia a la compresión | 18 |
| Figura 10. | Diagrama de flexión en cuatro puntos | 18 |
| Figura 11. | Suspensión bacteriana de 1×10^9 cel/ml | 30 |
| Figura 12. | Suspensión bacteriana de 1×10^{12} cel/ml | 30 |
| Figura 13. | Materiales | 32 |
| Figura 14. | Granulometría de agregado grueso | 33 |
| Figura 15. | Granulometría de agregado fino | 34 |
| Figura 16. | Granulometría de arcilla expandida | 36 |
| Figura 17. | Contenido de humedad de agregado grueso | 37 |
| Figura 18. | Contenido de humedad de agregado fino | 38 |
| Figura 19. | Contenido de humedad de arcilla expandida | 39 |
| Figura 20. | Peso unitario de agregado grueso suelto | 40 |
| Figura 21. | Peso unitario de agregado grueso compactado | 40 |
| Figura 22. | Peso unitario de agregado fino suelto | 41 |
| Figura 23. | Peso unitario de agregado fino compactado | 42 |
| Figura 24. | Peso específico de agregado grueso | 43 |
| Figura 25. | Peso específico de agregado fino | 44 |
| Figura 26. | Secado de arcilla expandida en horno | 45 |
| Figura 27. | Secado de arcilla expandida a temperatura ambiente | 45 |
| Figura 28. | Adherencia de nutrientes | 46 |
| Figura 29. | Adherencia de microorganismos | 47 |
| Figura 30. | Almacenamiento | 47 |
| Figura 31. | Mezclado de concreto | 58 |

| | | |
|------------|---|----|
| Figura 32. | Mezcla de concreto | 58 |
| Figura 33. | Asentamiento del concreto | 59 |
| Figura 34. | Engrasado de moldes | 60 |
| Figura 35. | Varillado de especímenes cilíndricos | 61 |
| Figura 36. | Vibrado de especímenes cilíndricos | 61 |
| Figura 37. | Varillado de especímenes prismáticos | 62 |
| Figura 38. | Vibrado de especímenes prismáticos | 62 |
| Figura 39. | Enrasado de especímenes cilíndricos | 62 |
| Figura 40. | Enrasado de especímenes prismáticos | 63 |
| Figura 41. | Especímenes etiquetados | 63 |
| Figura 42. | Curado de especímenes | 63 |
| Figura 43. | Ensayo de resistencia a la compresión | 64 |
| Figura 44. | Participación en el ensayo de resistencia a la compresión | 64 |
| Figura 45. | Ensayo de resistencia a la flexión | 68 |
| Figura 46. | Participación en el ensayo de resistencia a la flexión | 68 |
| Figura 47. | Especimen prismático fisurado | 72 |
| Figura 48. | Identificación de fisuras | 72 |
| Figura 49. | Materiales para lectura de pH | 82 |
| Figura 50. | Sedimentación de muestra | 83 |
| Figura 51. | Filtración | 83 |
| Figura 52. | Peachímetro | 84 |
| Figura 53. | Solución Buffer pH7 | 84 |
| Figura 54. | Lectura de pH del concreto patrón | 85 |
| Figura 55. | Lectura de pH del concreto con dosificación 1×10^9 cel/ml | 85 |
| Figura 56. | Lectura de pH del concreto con dosificación 1×10^{12} cel/ml | 86 |

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo determinar en qué manera la incorporación de bacterias *Bacillus Subtilis* mejorará la capacidad autorreparable del concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ analizando los efectos de autosellado y su reacción en el pH, asimismo, evaluar los efectos producidos en la resistencia a la compresión y flexión. La metodología empleada fue de tipo aplicada y de diseño cuasi-experimental, la población fue indeterminada y como muestra un total de 78 especímenes. Se adicionó las bacterias encapsulándolas en arcilla expandida la cual sustituyó un porcentaje del agregado fino, las suspensiones bacterianas empleadas fueron $1 \times 10^9 \text{cel/ml}$ y $1 \times 10^{12} \text{cel/ml}$ con la adición de lactato de calcio y extracto de levadura como nutrientes. Los resultados para la dosificación $1 \times 10^9 \text{cel/ml}$ fue de una autorreparación al 100% en fisuras máximas de 0.3mm mientras se mantuvo el pH en 12.74, la resistencia a la compresión y flexión disminuyó en 18.8% y 14% respectivamente; en la concentración $1 \times 10^{12} \text{cel/ml}$ se logró autorreparar fisuras hasta 0.25mm, el pH se mantuvo en 12.79 y la resistencia a la compresión y flexión disminuyó en 19.3% y 14%, respectivamente. Determinándose finalmente una mejora en la capacidad autorreparable del concreto incorporando la bacteria *Bacillus Subtilis* en una concentración de $1 \times 10^9 \text{cel/ml}$ la cual tuvo un mejor comportamiento.

Palabras claves: Concreto autorreparable, bacteria *Bacillus Subtilis*, autosellado, encapsulación.

ABSTRACT

The objective of the research was to determine in what way the incorporation of *Bacillus Subtilis* bacteria will improve the self-healing capacity of concrete $f'_c=210\text{kg/cm}^2$ by analyzing the effects of self-sealing and its reaction on pH, as well as evaluating the effects produced on resistance to compression and flexion. The methodology used was of an applied type and of quasi-experimental design, the population was indeterminate and as a sample a total of 78 specimens. Bacteria were added by encapsulating them in expanded clay which replaced a percentage of the fine aggregate, the bacterial suspensions used were $1 \times 10^9 \text{cel/ml}$ and $1 \times 10^{12} \text{cel/ml}$ with the addition of calcium lactate and yeast extract as nutrients. The results for the $1 \times 10^9 \text{cel/ml}$ dosage was a 100% self-repair in maximum cracks of 0.3mm while the pH was maintained at 12.74, the compressive and flexural strength decreased by 18.8% and 14% respectively; At the $1 \times 10^{12} \text{cel/ml}$ concentration, it was possible to self-repair cracks up to 0.25mm, the pH was maintained at 12.79 and the compressive and flexural strength decreased by 19.3% and 14%, respectively. Finally, an improvement in the self-healing capacity of the concrete was determined by incorporating the *Bacillus Subtilis* bacteria in a concentration of $1 \times 10^9 \text{cel/ml}$ which had a better performance.

Keywords: Self-healing concrete, *Bacillus Subtilis* bacteria, self-sealing, encapsulation.

I. INTRODUCCIÓN

I. INTRODUCCIÓN

El concreto es el material con mayor demanda en el rubro de la construcción a nivel mundial, debido a su gran trabajabilidad y beneficio, en los países en desarrollo el crecimiento acelerado de infraestructuras aumenta aún más la demanda de este material, a tal punto que el uso y producción de concreto a nivel mundial pronto supere los 10 mil millones de toneladas por año. En el 2004, en Estados Unidos casi se duplicó la producción de 170 millones de metros cúbicos que se registró a inicios de 1990 a más de 330 millones.²⁹ El concreto, como cualquier otro material posee diversas patologías, uno de las más comunes es la aparición de fisuras que normalmente necesitan de una reparación, para lo cual se utiliza distintos tipos de sistemas y combinaciones que no son completamente efectivas para solucionarlas.¹⁸ La aparición de grietas y fisuras en el concreto permite el ingreso de agentes nocivos como la humedad, produciendo una reacción química negativa en el interior, como resultado de todo esto se da una reducción de durabilidad; y en el aspecto económico, costos de mantenimiento y/o reparación. Únicamente en Estados Unidos se invierten alrededor de 20 millones de dólares anuales en la reparación de estructuras de concreto.³⁶ Para el caso de Europa los recursos que se destinan con este fin alcanzan la mitad del presupuesto anual de construcción.¹⁶

En el Perú no se pueden establecer indicadores sobre el costo que demanda el mantenimiento y/o reparación de proyectos estatales y privados con concreto a pesar que es el material más utilizado en el campo de la construcción, debido a que no existe un análisis estadístico nacional de acceso público. Sin embargo, es visible que nuestro país invierte mucho dinero anualmente en temas de mantenimiento de infraestructura y edificación, como se pueden apreciar esporádicamente en los medios de comunicación.³⁵ Bajo ese criterio surge la necesidad de reinventar los materiales con los que se están trabajando, con ello nació el “bioconcreto”, cuyo principio consiste en la incorporación de bacterias que tengan la capacidad junto a un alimento necesario actuar como reparador de fisuras producidas en el concreto.²⁴ Lo que se quiere lograr con este tipo de innovación es poder evitar patologías en el concreto ocasionadas por factores externos y así poder disminuir costos en reparaciones. En marco de lo anteriormente planteado, es necesario

determinar como la incorporación de bacterias mejora la capacidad de autorreparación del concreto.

Entonces el problema general es; ¿En qué manera la incorporación de bacterias *Bacillus Subtilis* mejorará la capacidad autorreparable del concreto $f'c=210$ kg/cm², Lima - 2020?

La incorporación de bacterias en el concreto ayudará principalmente a minimizar las fisuras, con ello se logrará evitar el ingreso de agentes agresivos y por consecuencia poder prevenir problemas como la carbonatación propia del concreto y la corrosión del acero de refuerzo. De esta manera se plantea la autorreparación del concreto con la incorporación de agentes bacterianos como un estudio anticipado a la aplicación práctica.

Desde un punto de vista social un concreto capaz de autorrepararse beneficiaría directamente a toda la población, el control de la fisuración en las estructuras las dotaría de una mayor durabilidad y por consecuencia se reducirían costos por mantenimiento o reparación, es decir, las personas serian beneficiadas en cuanto a inversión en nuevas edificaciones y por otro lado se daría la confianza de que no se podrán suscitar eventos de colapso o cualquier otra índole por este tipo de problemas.

Se estableció como objetivo general determinar en qué manera la incorporación de bacterias *Bacillus Subtilis* mejorará la capacidad autorreparable del concreto $f'c=210$ kg/cm², Lima - 2020.

De igual modo se delimitaron los siguientes objetivos específicos; determinar en qué manera la incorporación de bacterias *Bacillus Subtilis* influirá en el autosellado del concreto $f'c=210$ kg/cm², determinar en qué medida la incorporación de bacterias *Bacillus Subtilis* mantendrá óptimo el pH del concreto $f'c=210$ kg/cm², determinar en qué medida la incorporación de bacterias *Bacillus Subtilis* influirá en la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210$ kg/cm² y por último, determinar en qué medida la incorporación de bacterias *Bacillus Subtilis* influirá en la resistencia a la flexión del concreto $f'c=210$ kg/cm².

Por esta razón se abordó como hipótesis general, que la incorporación de bacterias Bacillus Subtilis mejorará la capacidad autorreparable del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, Lima - 2020.

De igual manera se establecieron las siguientes hipótesis específicas; la incorporación de bacterias Bacillus Subtilis influirá de manera positiva en el autosellado del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, la incorporación de bacterias Bacillus Subtilis mantendrá óptimo el pH del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, la incorporación de bacterias Bacillus Subtilis influirá de manera positiva en la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y la incorporación de bacterias Bacillus Subtilis influirá de manera positiva en la resistencia a la flexión del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$.

II. MARCO TEÓRICO

II. MARCO TEÓRICO

Chunxiang Qian et al. (2015), en su investigación *Self-healing of early age cracks in cement based materials by mineralization of carbonic anhydrase microorganism*. Tuvo como principal objetivo investigar el potencial de autorreparación de fisuras a temprana edad en concretos con la adición de bacterias del tipo *Bacillus Musilanguinous L3* con una concentración de 1×10^9 cel/ml. Fue un estudio de diseño experimental el cual tuvo como muestras dos tipos de probetas; las cilíndricas de un diámetro de 110 mm para medir la permeabilidad del agua y los prismas de 40 x 40 x 160 mm para investigar el área de curación de las fisuras. Los resultados que se obtuvieron son los siguientes; la tasa de autorreparación fueron distintas, para la edad de 5 días las fisuras con espesor de 0.3mm tuvo un autosellado de casi el 100%, mientras que para 0.5mm se reparó al 100% a los 10 días, así mismo para las fisuras de 0.6mm a 0.8mm se tuvo un promedio de autorreparación que variaba del 60% al 80% y para las que tenían un espesor de 0.9mm el agente curativo se limitó al 30% después de los 30 días, en lo que se refiere a la permeabilidad las muestras que contenían el aditivo bacteriano mejoraron considerablemente pudiéndose así reducir el coeficiente de permeabilidad a 1.28×10^{-8} m/s. Finalmente se concluyó que la adición de bacterias mostraron una excelente reparación para fisuras pequeñas, así mismo la efectividad es muy alta cuando estas fisuras se generan a tempranas edades en materiales a base de cemento. [17]

Lakshmi et al. (2016), en su investigación titulada *Durability and Self- Healing Behaviour of Bacterial Impregnated Concrete*. Tuvo como objetivo general, determinar el efecto de la bacteria *Bacillus Subtilis jc3* en la producción de carbonato de calcio por medio del test de durabilidad con combinaciones de ácido sulfúrico y sal, resistencia a la compresión y absorción. Fue un estudio aplicado de diseño experimental, como muestra se elaboraron 12 especímenes prismáticos para determinar la resistencia, autosellado y absorción de agua. La suspensión bacteriana con la que se trabajó fue de 10^5 cel/ml, del cual los resultados fueron los siguientes; se obtuvo un autosellado del 100% en fisuras de 0.1 mm, de 16% en fisuras de 0.5mm, 11.11% en fisuras de 0.45 mm y 31.82% en 0.22. Se concluyó que el autosellado en mayor porcentaje se daba en fisuras que estaban por debajo

de los 0.2 mm de espesor, cuanto mayor era la dimensión de la fisura la autorreparación perdía efecto. [26]

Parraguez (2018), en su investigación *Estudio sobre el rendimiento de bacterias como agente de autorreparación en el hormigón bajo diferentes condiciones de temperatura y tipo de cemento*. Tuvo como objetivo general analizar el efecto de la temperatura y el tipo de cemento en la capacidad de precipitación de calcio con la adición de la bacteria *Bacillus Pseudofirmus* con una concentración celular inicial de 3.53×10^8 cel/ml para la autorreparación de fisuras. Fue un estudio aplicado y de diseño experimental, se utilizaron muestras de tipo cilíndrica y prismática para la verificación de la autorreparación. Los principales resultados fueron: en cuanto al estudio de biorreparación por efecto de la temperatura se pudo verificar una autorreparación eficiente del 100% a los 23 °C de hasta 0.38 mm de espesor, en el caso de temperaturas mayores a los 30°C se observaron un autosellado mínimo el cual fue igualado por las mezclas de control y por debajo de los 4°C las bacterias del tipo *Bacillus Pseudofirmus* no tienen efecto alguno, las máximas fisuras reparadas se dieron en el concreto que contenía el aditivo bacteriano. Para los estudios de resistencia a la compresión se tuvo una reducción de 0.49% para el bioconcreto mientras que para el concreto con adición de lactato decayó en 3.31%. Se concluyó que la temperatura si es un factor que puede influir en la autorreparación del concreto ya sea un autosellado por medio de la incorporación de bacterias o por un autosellado autógeno, así mismo, se pudo deducir que el bioconcreto tiene un buen comportamiento en cuanto a resistencia a la compresión ya que se tuvo una disminución insignificante. [34]

Mera y Subha (2016), en su artículo científico *Strength and Durability assessmentn of bacteria based self-healing concrete*, tuvo como objetivo descubrir la cantidad óptima de contenido bacteriano y posteriormente describir el efecto de la bacteria *Bacillus Subtilis* en las propiedades mecánicas del concreto y así mismo demostrar el ataque acido que se desarrolla. La metodología empleada fue de tipo aplicada con un diseño experimental. La muestra estuvo compuesta por cubos y cilindros de concreto con y sin adición de microorganismos, con concentraciones de 10^3 , 10^4 , 10^5 y 10^6 cel/m; las muestras en forma de cubos fueron de 150mm x 150mm x 150 mm, y los cilindros de 100 mm de diámetro y 200 mm de altura. En los resultados

se observó que la resistencia a la compresión del concreto mostró un aumento significativo de un 42% con una suspensión bacteriana de 10^5 cel/ml, la resistencia a la tracción en muestras cilíndricas aumentó en un 63% con la misma concentración; en cuanto al test de acidez de las probetas con adición de microorganismo se obtuvo un pH que se mantenía sobre 12; sin embargo, en las muestras de control se registraron valores de pH inferiores a 9. Se concluyó que la dosificación óptima fue de 10^5 cel/ml debido a que se registraron resultados considerablemente positivos en las propiedades mecánicas y además de mantener un pH adecuado. [28]

Lagazo et al. (2019), en su artículo experimental *Exploratory research using bacteria (Bacillus Subtilis) as a self-healing concrete: A basis for strengthening infraestructura in the Philippine setting*, cuyo objetivo era analizar y evaluar la efectividad de las bacterias Bacillus Subtilis en las propiedades mecánicas del concreto y la efectividad del sellado de las grietas. El método utilizado fue de tipo aplicada y experimental, teniendo como muestra 60 probetas de concreto con y sin concentración bacteriana. Los resultados obtenidos en la resistencia a la compresión se obtuvo un aumento de 32.64%, 30.69% y 35.15% en los primeros 7, 14 y 28 días respectivamente del concreto bacteriano en comparación del concreto convencional; en la resistencia a la flexión se obtuvo un incremento de 19.73%, 12.62% y 18.01% a los 7, 14 y 28 días de curado respectivamente del concreto con agentes bacterianos en relación a las muestras patrón. Por consiguiente, se concluyó que las muestras con una concentración celular de 10^5 células/ml tuvo una mejora considerable en sus propiedades mecánicas. [27]

Abo-El-Enein et al. (2013), en su estudio titulado *Application of microbial biocementation to improve the physico-mechanical properties of cement mortar*. Su objetivo fue determinar el efecto al adicionar la bacteria Sporosarcina Pasteurii en el proceso de bioprecipitación de carbonato de calcio a través de ensayos de resistencia a compresión. La investigación fue aplicada y de diseño experimental. Como muestra se elaboraron 16 especímenes de mortero con y sin concentraciones bacterianas. El principal resultado que se obtuvo fue un incremento en la resistencia a la compresión en un 28.57% respecto a las pruebas

control. Se concluyó que los resultados más eficientes en cuanto a resistencia a compresión se obtuvieron con una cantidad de bacterias de 1.0 OD. [1]

Muntasir, Manjit y Azmat (2018) en su investigación titulada *Self-Healing of concrete using Bio-Influenced Techniques*; tuvieron como objetivo determinar la dosificación adecuada de bacterias *Bacillus Subtilis* en el hormigón para que logre una óptima capacidad de autosellado y una mayor recuperación de fuerza. La metodología utilizada fue de tipo aplicada y según su diseño de investigación, experimental; teniendo como muestra probetas cilíndricas de concreto de 6"x12" y 6"x4" que contenían tres cantidades diferentes de bacteria A, B Y C. Como resultado se obtuvo que en los primeros 14 días de curado después del agrietamiento la muestra patrón obtuvo 17% de capacidad de sellado como máximo, en cambio las muestras A, B y C tuvieron un sellado al 100%; se comprobó que a mayor días de curado menor capacidad de sellado, puesto que a los 90 días de curado se obtuvo 0%, 50%, 85% y 65% capacidad de sellado de las muestras patrón, A, B y C respectivamente; referente a la recuperación de fuerzas por medio de la resistencia a la compresión se registró que los especímenes sin bacterias obtuvieron un promedio de 49%, mientras que para muestras A, B y C su promedio de recuperación fue 70%, 71% y 66% respectivamente. Se concluyó, que la muestra A contrarresta grietas por contracción y también por ser la muestra con menor efecto negativo en la resistencia del hormigón. [32]

Asenjo (2019), en su investigación titulada *Influencia de la incorporación del aditivo bacteriano en la reparación del proceso de fisuración controlada del concreto*. Cuyo objetivo fue registrar el proceso de reparación de fisuración controlada en el concreto adicionando un aditivo con bacterias. Fue una investigación aplicada y de diseño experimental. En el proceso de experimentación se evaluaron testigos de geometría cilíndrica y prismática, se elaboraron 45 y 119 especímenes respectivamente. De acuerdo a la evaluación de los resultados se infirió que el mejor desempeño en cuanto a la autorreparación del concreto fue el de la bacteria *Paenibacillus Lactis* con un porcentaje de sellado de hasta el 70% y 80% del volumen de la fisura, en comparación con la *Bacillus Firmus* que consiguió una reparación del 68,3%. Por otro lado, en lo que compete a resistencia del material, la incorporación de la bacteria *Bacillus Lactis* aumento en un 35.68% su capacidad

a esfuerzos por compresión, mientras que con la Bacillus Firmus se obtuvo un incremento del 14.08%. Se concluyó que la incorporación del aditivo bacteriano mejoró la propiedad de autosellado así como también las capacidades mecánicas del concreto, teniendo un mayor resultado de reparación con dos cepas bacterianas de las 17 que se aislaron para la investigación, estas cepas fueron de Paenibacillus lactis y de Bacillus Firmus. [4]

Como base de la investigación se conceptuó lo siguiente:

Un agente de autorreparación es aquel componente que es agregado a la mezcla del concreto con el fin de producir una reparación automática de fisuras. No obstante, existe una gran variedad de aditivos que han logrado evidenciar su viabilidad en el concreto como son los: agentes adhesivos, aditivos minerales y agentes biológicos; teniendo en consideración que para su incorporación cada uno tendrá que tener un mecanismo adecuado para no desfavorecer las propiedades de resistencia del concreto y mantenerlo protegido del entorno hasta el instante de la producción de fisuras.³⁴

Los agentes biológicos de autorreparación están principalmente compuestos por bacterias que son microorganismos unicelulares muy sencillos, las cuales carecen de una membrana nuclear especial que envuelva su material genético, por ello se llaman procariotas. Su clasificación por géneros es muy variada, uno de estos son los bacilos pertenecientes al género Gram Positivos generalmente móviles, de aspecto esporulados estrictos o anaerobios facultativos, su tamaño está comprendido entre 1 y 7 micras de longitud.²¹ Son células alargadas en forma de cadenas ovaladas en los extremos, las endosporas que producen son de forma ovalada o redondeada, son anaerobios facultativos con una gran capacidad de soporte a ambientes con altas temperaturas y gran alcalinidad, se pueden encontrar en una gran variedad de hábitats.¹⁵

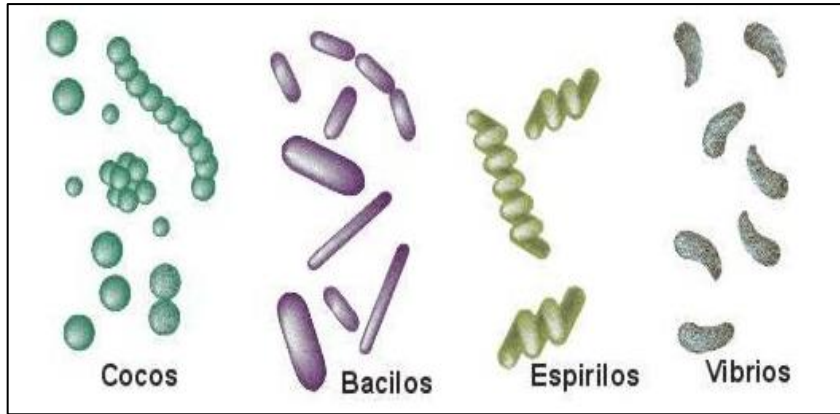


Figura 1. Clasificación de bacterias.

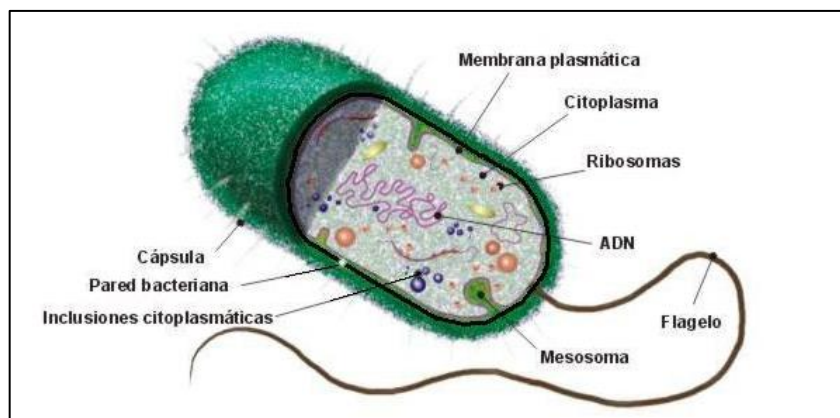


Figura 2. Género Bacillus.

La bacteria *Bacillus Subtilis* son bacilos Gram+ de aproximadamente 0.8 μm de grosor y de 2 a 3 μm de longitud, tienen tres aspectos distintos; liso, mucoso y rugoso, presentan esporas circulares y centrales que son resistentes a temperaturas elevadas y condiciones ambientales adversas, estas no son patógenas para el ser humano y tampoco para los animales.³¹



Figura 3. Colonia de *Bacillus Subtilis*.

El agente de biorreparación es una solución que consiste en la combinación del material biológico (las bacterias) con una fuente de calcio, en este caso lactato de calcio, y un medio de alimentación para los microorganismos en el momento de su activación, para ello uno de los medios es el extracto de levadura.

El lactato de calcio ($C_6H_{10}CaO_6$) es originado por la reacción química entre el carbonato de calcio y el ácido láctico. Utilizado mayormente para preservar y extender la vida útil de distintos alimentos, principalmente es aplicado en frutas, carnes, verduras y embutidos, además de su uso como suplemento dietético y fuente de calcio.¹⁴ Por otro lado el extracto de levadura, posee un gran contenido de vitamina B, lo que garantiza un medio de crecimiento excelente para el aislamiento de microorganismos. El extracto de levadura es producto de un proceso conocido como autólisis, esto se genera cuando una célula de levadura comienza un tratamiento de digestión natural debido a su inactividad, provocando la liberación de distintos nutrientes como vitaminas, péptidos, aminoácidos y otros componentes de la levadura, cuando se deshace de los elementos insolubles se denomina “extracto de levadura”.³⁴

A la fecha aún no se ha podido definir la cantidad óptima de bacterias que se deben utilizar en una mezcla. Investigaciones anteriores con concentraciones importantes de bacterias han demostrado que pueden llegar a disminuir la resistencia del concreto hasta en un 10% lo cual hace pensar que los beneficios están por debajo de las desventajas.³⁴

Se ha demostrado que la incorporación de bacterias de manera directa en la matriz del concreto minimiza la supervivencia de las mismas, por lo que la manera más eficiente de lograr la autorreparación es por medio de la encapsulación.²⁰ Los encapsulados contienen a los agentes reparadores, cuando ocurre la destrucción de estas cápsulas debido a daños físicos en el concreto los agentes son liberados y se produce una reacción en las partes comprometidas del material. Los agentes que se encapsulan pueden ser de dos tipos; de origen bacteriano o químico y las cápsulas pueden variar geométricamente, estas pueden ser esféricas o cilíndricas.⁴³

El método más eficiente de encapsulación para la protección de las bacterias consiste en la adherencia de los microorganismos en partículas de arcilla expandida junto con lactato de calcio como medio de alimentación. En los estudios que se realizaron anteriormente se demostró que el tiempo de supervivencia de las bacterias incorporadas aumentó hasta 6 meses.²⁵ Con este método se pudieron obtener resultados de hasta el 100% de sellado en fisuras de espesor que variaba entre 1 y 3 mm.²⁴

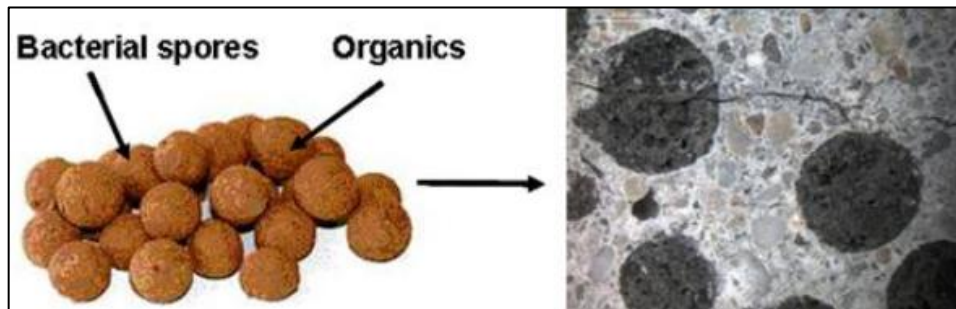


Figura 4. Partículas de arcilla expandida.

El principio de autorreparación consiste en que si el concreto padece de algún tipo de agrietamiento este debe poseer la capacidad de sellarse a sí mismo, esto quiere decir que no deberá existir intervención humana ni de algún agente externo en la matriz de concreto.¹⁸ Fórmula para estimar el porcentaje de autosellado;

$$\text{Sellado}(t)\% = \frac{e_i - e_t}{e_i} * 100$$

La autorreparación es generada a partir de la formación de minerales, por medio del proceso metabólico de los microorganismos, un proceso muy común en la naturaleza que se desarrolla principalmente en suelos, agua dulce y salinas.²² El proceso de autorreparación del concreto está basado en la incorporación de bacterias que a través de su proceso digestivo es capaz de producir la precipitación de carbonato de calcio y mediante este fenómeno sellar las grietas generadas en este material.²⁵ Las bacterias son el sistema de vida que más variedad de minerales pueden producir, estos seres vivos diminutos tienen la capacidad de dar origen a más de 60 fases distintas de mineralización, la relación entre su tamaño y el área superficial que tienen es mejor que la de cualquier otro tipo de microorganismo, es

por ello que cuando existe la presencia de otros grupos en su superficie tienen una gran capacidad de nucleación mineral.³⁴

La precipitación de los minerales es un producto de la fusión de los iones cargados positivamente con las paredes celulares de la bacteria que están cargados negativamente.⁴⁰

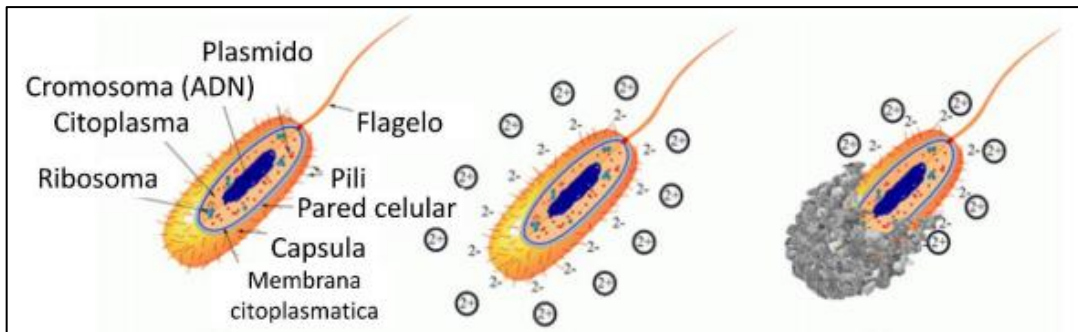


Figura 5. Proceso de biomineralización.

Asimismo la autorreparación también puede producirse por las moléculas de dióxido de carbono y la humedad que ingresan desde el exterior por las fisuras y activan a las bacterias. Estas inician un proceso de precipitación de calcio y al multiplicarse llenan los espacios vacíos encontrados, mediante esto se empieza un sellado de la grieta protegiendo al acero de refuerzo de agentes nocivos externos.²⁴

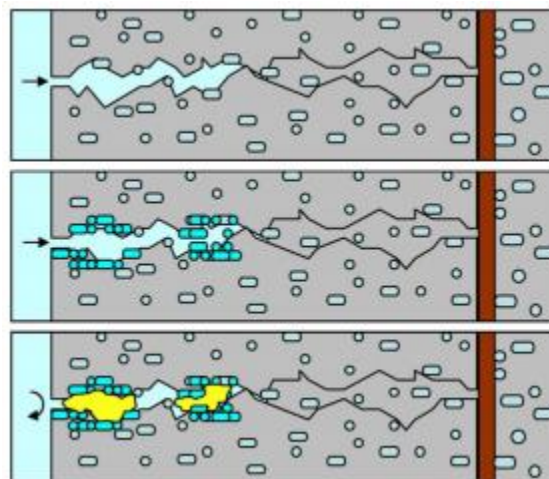


Figura 6. Proceso de autorreparación.

Uno de los problemas más comunes en el concreto es la carbonatación, esta patología es un reflejo del descenso del pH que es generado por la reacción entre el CO₂ y la humedad que se encuentra dentro de la matriz convirtiendo al hidróxido de calcio en carbonato de calcio. El pH representa la cantidad de acidez o basicidad que posee una solución; esto depende de la cantidad de iones de hidrógeno, el contenido de estos iones es un indicador de una reacción ácida y también de una básica; por razones prácticas, se indica la concentración de iones de hidrógeno en lugar de una fabricación en potencias. Para evitar los cálculos de potencias negativas de concentraciones de hidrógeno Sorensen introdujo el término de pH en la química para indicar el potencial de hidrogeniones, cuando se refiere un valor de pH 4 de una solución es debido a que la concentración de iones hidrógeno es de 1/10000, el logaritmo es - 4, y el logaritmo negativo 4.³⁸

Los valores que toman gran parte de las soluciones son bastante pequeños y difíciles de comparar, por ello Soren Sorensen en 1909 planteó una manera más fácil de poder medir el contenido de pH, se trata de un parámetro logarítmico para indicar la concentración de iones de Hidrógeno en disoluciones acuosas a 25 °C.⁴⁴

$$pH = \log \frac{1}{[H^+]}$$

Donde:

p = "significa negativo logaritmo de"

H = hidrógeno

| | $[H] = 10^{\text{pH}}$ | pH = -log [H] | pOH = 14 - pH | $[OH] = 10^{\text{pOH}}$ | |
|---------|------------------------|------------------|------------------|--------------------------|---------|
| ÁCIDAS | 1 | 0 | 14 | 1000000000000000 | ÁCIDAS |
| | 10 | 1 | 13 | 100000000000000 | |
| | 100 | 2 | 12 | 10000000000000 | |
| | 1000 | 3 | 11 | 1000000000000 | |
| | 10000 | 4 | 10 | 100000000000 | |
| | 100000 | 5 | 9 | 10000000000 | |
| | 1000000 | 6 | 8 | 1000000000 | |
| NEUTRA | 10000000 | 7 | 7 | 10000000 | NEUTRA |
| BÁSICAS | 100000000 | 8 | 6 | 1000000 | BÁSICAS |
| | 1000000000 | 9 | 5 | 100000 | |
| | 10000000000 | 10 | 4 | 10000 | |
| | 100000000000 | 11 | 3 | 1000 | |
| | 1000000000000 | 12 | 2 | 100 | |
| | 10000000000000 | 13 | 1 | 10 | |
| | 100000000000000 | 14 | 0 | 1 | |

Figura 7. Escala de pH.

Las fisuras en el concreto están relacionadas básicamente a su propiedad de fragilidad por tracción, es decir cuando los elementos están sometidos a esfuerzos de tracción directa o indirecta.³⁰ Las fisuras se originan en tiempos variados; las más comunes son originadas en estado plástico también denominadas como fisuras de contracción plástica, estas son provocadas principalmente en losas después de que el agua despeja el concreto, pueden tener profundidades considerables de entre 20 a 40 mm y no tienen un patrón definido.⁴²

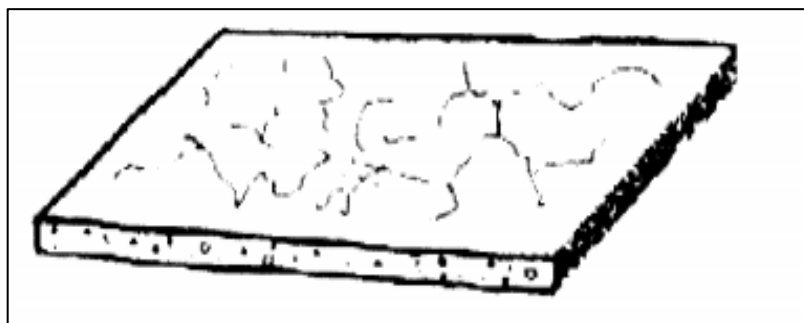


Figura 8. Fisuras por contracción plástica.

Teniendo en cuenta que en el concreto naturalmente se generan fisuras por contracción plástica se corre el riesgo de que las bacterias sean activadas por accidente antes de obtener la resistencia adecuada y así inhabilitar la evaluación de su efectividad. Para prevenir este proceso desfavorable, se utiliza como un medio de control de fisuras la adición de fibras en el concreto o también llamado concreto reforzado con fibras (CRF).

Existen en el mercado una gran variedad de fibras que se pueden utilizar para este fin, la que tiene una mayor producción es la fibra de Polipropileno, esta es un polímero de hidrocarburo sintético que está fabricado por medio de un proceso de extrusión en caliente a base de estiramientos en un troquel.³

De acuerdo a la ASTM C78, la carga en el momento de falla se puede calcular mediante la siguiente formula.

$$R = \frac{PL}{bd^2}$$

El concreto debe tener la capacidad de cumplir con las exigencias de los esfuerzos para tener un comportamiento adecuado en cuanto a funcionamiento, además este debe poseer una condición idónea para resistir satisfactoriamente todas las acciones que se producen en ella sin importar las condiciones en la que funciona.³⁹

La resistencia que posee el concreto no puede ser medible en su estado fresco, por lo que la mejor solución es tomar muestras durante el mezclado para la elaboración de probetas-testigos.

Ensayos estandarizados para la resistencia a la compresión en probetas cilíndricas según las normas ASTM C39 y la NTP 339.034. Los ensayos de resistencia a la flexión están normados por la ASTM C78 y NTP 339.078 para la carga aplicada en dos puntos la ASTM C293 y NTP 339.079 para un solo punto.

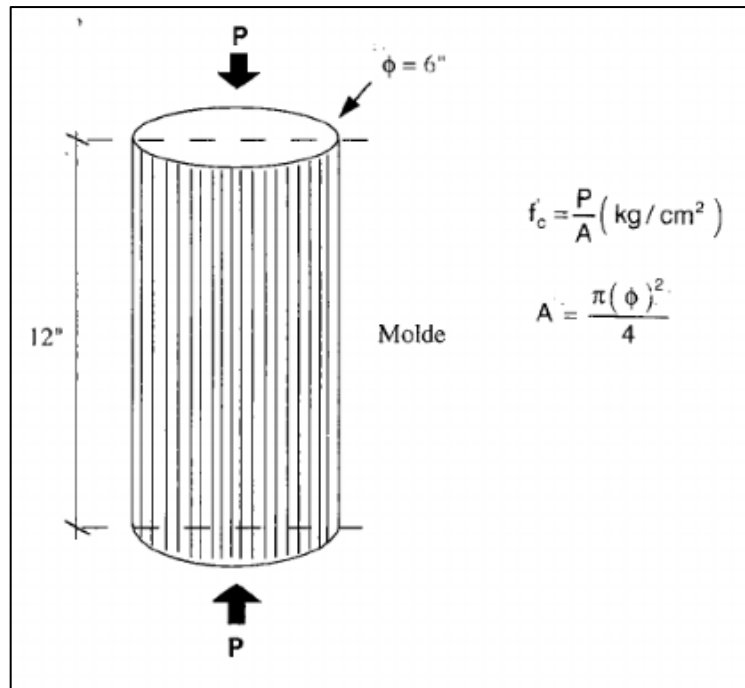


Figura 9. Diagrama del ensayo de resistencia a la compresión.

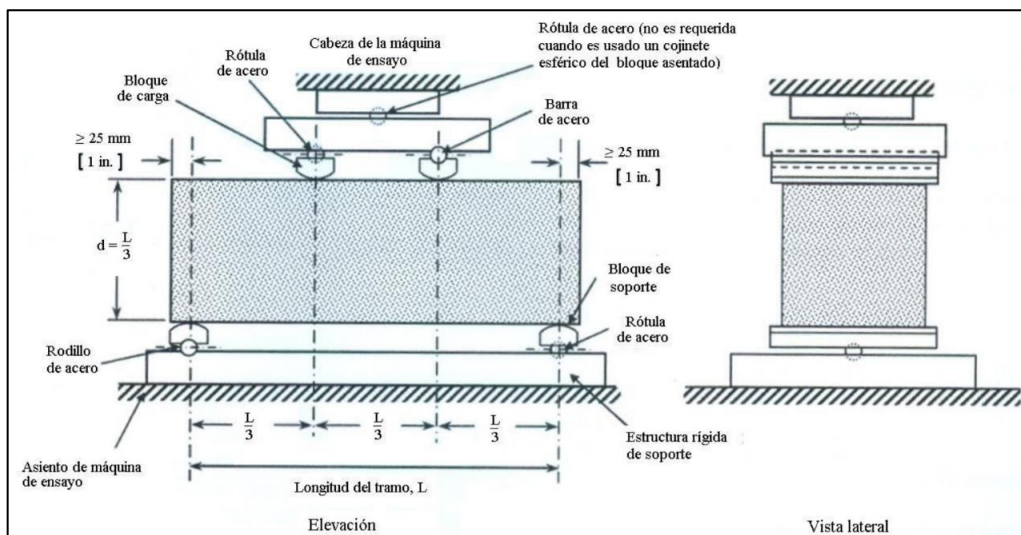


Figura 10. Diagrama de flexión en cuatro puntos.

III. METODOLOGÍA

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

El presente estudio es de tipo aplicada, donde la finalidad de este método es dar origen a nuevas tecnologías basándose en conocimientos obtenidos por medio de investigación estratégica para verificar si estos conocimientos pueden ser utilizados con el objeto de alcanzar los propósitos definidos, por lo tanto la información que se obtiene por este procedimiento deberá ser aplicable en cualquier otro lugar.⁴¹ Por ello el estudio realizado es aplicado, debido a que se brindó una manera de autorreparación de fisuras del concreto a través de la adición de bacterias *Bacillus Subtilis*, teniendo como apoyo investigaciones ya realizadas con anterioridad.

De acuerdo al nivel de la investigación es explicativa. Los estudios explicativos son aquellos que consisten en dar respuesta a las causas por la cuales se producen eventos y fenómenos, es decir su propósito es explicar el porqué del origen de un fenómeno y la manera en la que se manifiestan o la razón por la que se relacionan dos variables.²³ Por ese motivo en la investigación se buscó analizar los efectos de la adición de las bacterias en la autorreparación del concreto.

El diseño de esta investigación es cuasi-experimental, en este tipo de diseño se puede manipular premeditadamente como mínimo una variable independiente y así poder analizar la relación y efecto sobre las variables dependientes.²³ Para el caso de este estudio se manipuló la variable definida como la incorporación de agentes biológicos y así se pudo evaluar el efecto de autorreparación que tuvo el concreto.

3.2. Variables y operacionalización

La variable independiente es la causa del estudio, también se le puede atribuir el nombre de variable experimental ya que se puede manipular libremente.

La variable dependiente es el pseudo efecto de cambios producidos por la variable independiente, es decir es el producto de manipulación de la variable independiente.⁴⁵

La operacionalización consiste en la presentación al lector de una manera conceptualizada como se estudiará las variables desde un punto de vista estadístico; además de cumplir la función metodológica de dirigir los objetivos del proyecto de investigación, una de sus variantes es la matriz de consistencia donde se hace un resumen de las partes del proyecto de investigación.⁴⁵

Variable Independiente: “Incorporación de bacterias Bacillus Subtilis”.

Definición conceptual: La adición de agentes biológicos está basado en la inmersión de microorganismos en el concreto durante el proceso de mezcla, con el propósito de producir biomineralización generado por el proceso metabólico de los agentes bacterianos, la adicción puede darse mediante dos formas; directa y/o encapsulado.²⁴

Definición Operacional: Se adquirió las bacterias Bacillus Subtilis en dos concentraciones; 1×10^9 y 1×10^{12} cel/ml, posteriormente se hizo un procedimiento de adherencia mediante la encapsulación en partículas de arcilla expandida, este proceso se desarrolló en dos etapas; en primer lugar, se impregnó el alimento para las bacterias en el agregado ligero, después de un vacío se añadió la concentración bacteriana. Finalmente se elaboraron las probetas cilíndricas y prismáticas para su posterior curado.

Variable Dependiente: “Autorreparación del concreto $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ ”.

Definición conceptual: El principio de autorreparación consiste en que si el concreto padece de algún tipo de agrietamiento este debe poseer la capacidad de sellarse a sí mismo, esto quiere decir que no deberá haber intervención humana ni de algún agente externo en la matriz de concreto.¹⁸

Definición Operacional: Para medir la capacidad de autosellado, las probetas se sometieron a una inducción de fisuras, este procedimiento se desarrolló como un ensayo de flexión. Los ensayos de resistencia a la compresión fueron según la Norma ASTM C39 y para la resistencia a la flexión la ASTM C78. Durante el transcurso de cuatro semanas se hizo un seguimiento de todo el

proceso de autosellado de los especímenes fisurados para posteriormente realizar el control de pH del concreto.

3.3. Población, muestra y muestreo

La población está definida como un conjunto de “n” integrantes de una variable de estudio que cumplen con determinadas especificaciones.²³ En el presente estudio la población estuvo comprendida por la producción de concreto con una resistencia de 210 kg/cm² en la ciudad de Lima.

La muestra es un grupo representativo de la población a estudiar, la cual se tiene que definir y delimitar con precisión.²³ Ésta se puede conseguir de dos maneras; probabilística y no probabilística. El muestreo no probabilístico puede ser poco fiable, ya que dependerá básicamente del criterio del investigador al momento de elegir el grupo muestral y por lo tanto no dan la seguridad que los sujetos representen a la población.³³ El muestreo en este estudio será no probabilístico por conveniencia, este método se caracteriza por la determinación de muestras por facilidad o cercanía.³³ La elección de muestras estará definida en base a las indicaciones que señalan las normas.

Por consiguiente, se cuantificaron las muestras en las tablas presentadas a continuación.

Tabla 1. *Especímenes para la inducción de fisuras.*

| INDUCCIÓN DE FISURAS (Autosellado) | | | | |
|---|---------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| Probetas Prismáticas | | | | |
| | Bacillus Subtilis (cel/ml) | Lactato de Calcio (g/l) | Extracto de Levadura (g/l) | Edad 14 días |
| D ₀ | 0 | 0 | 0 | 2 |
| D ₁ | 1x10 ⁹ | 50 | 5 | 2 |
| D ₂ | 1x10 ¹² | 50 | 5 | 2 |
| | | | | 6 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Especímenes para la resistencia a la compresión.

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN | | | | | | | |
|------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------|--------|---------|-----------|
| ASTM C39 | | | | | | | |
| Probetas Cilíndricas (4" x 8") | | | | | | | |
| | Bacillus Subtilis (cel/ml) | Lactato de Calcio (g/l) | Extracto de Levadura (g/l) | Edades | | | |
| | | | | 3 días | 7 días | 14 días | 28 días |
| D ₀ | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| D ₁ | 1x10 ⁹ | 50 | 5 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| D ₂ | 1x10 ¹² | 50 | 5 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| TOTAL | | | | | | | 36 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Especímenes para la resistencia a la flexión.

| RESISTENCIA A LA FLEXIÓN | | | | | | | |
|---------------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------|--------|--------|---------|-----------|
| ASTM C78 | | | | | | | |
| Probetas Prismáticas | | | | | | | |
| | Bacillus Subtilis (cel/ml) | Lactato de Calcio (g/l) | Extracto de Levadura | Edades | | | |
| | | | | 3 días | 7 días | 14 días | 28 días |
| D ₀ | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| D ₁ | 1x10 ⁹ | 50 | 5 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| D ₂ | 1x10 ¹² | 50 | 5 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| TOTAL | | | | | | | 36 |

Fuente: Elaboración propia.

Para el control de PH se utilizará concreto pulverizado de cada una de las muestras del ensayo destinadas para la medición de autosellado. Por el cual se registrará una cantidad total de 78 probetas-testigo, entre cilíndricas y prismáticas.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica de observación experimental permite obtener información de la conducta del individuo o grupos de estudio tal y como sucede, a diferencia de otro tipo de técnicas que consisten en la obtención de información sobre sucesos que ya pasaron o que ocurrirán más adelante. Para utilizar esta técnica, se debe contar con una ficha de registro de datos donde se registre la información suficiente de la problemática de estudio.³⁷ Como todo instrumento debe reunir las siguientes condiciones;

La Validez de contenido mayormente se realiza a través de un juicio de expertos, está definida como una opinión de personas con una gran trayectoria en un ámbito determinado, además de ser reconocidas por otros como expertos en la materia y poder brindar información, juicios y valoraciones.¹⁹ Basado en lo anterior los instrumentos utilizados en esta investigación se afianzan en la validez de contenido, esto se realizó por medio del juicio de expertos conformado por 3 personas altamente calificadas.

La confiabilidad de un instrumento se refiere a la situación en que si se aplican varias veces siguiendo el mismo procedimiento al mismo objeto o individuo deberán producirse los mismos resultados.²³ Por tal motivo, los ensayos a realizar estuvieron regidos por una normatividad estandarizada, así mismo se contó con los certificados de calibración de los equipos e instrumentos utilizados en laboratorio.

Tabla 4. *Fichas Técnicas.*

| N° DE FICHA | INDICADOR | ANEXO |
|--------------------|-----------------------------|--------------|
| Ficha técnica N°1 | Autosellado | 3 |
| Ficha técnica N°2 | Control de pH | 4 |
| Ficha técnica N°3 | Resistencia a la compresión | 5 |
| Ficha técnica N°4 | Resistencia a la flexión | 6 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. *Certificados de calibración.*

| CALIBRACIÓN DE EQUIPOS | INDICADOR | ANEXO |
|------------------------|-----------------------------|-------|
| Peachimetro | Control de pH | 7 |
| Máquina de Compresión | Resistencia a la compresión | 8 |
| | Resistencia a la flexión | |

Fuente: Elaboración propia.

3.5. Procedimientos

Etapa 1: Adquisición de la bacteria *Bacillus Subtilis*

Para esta investigación se contó con el acceso a dos suspensiones bacterianas; de 1×10^9 y 1×10^{12} cel/ml de *Bacillus Subtilis* de empresas destinadas a la venta de este tipo de insumos para uso agroindustrial.

Etapa 2: Acopio de materiales

En esta parte de la investigación se adquirió los materiales para la elaboración del concreto de las probetas patrón y con las dosificaciones bacterianas. Los materiales se compraron en las siguientes cantidades:

Tabla 6. *Cuantificación de materiales.*

| MATERIALES | CANTIDAD | UND |
|-----------------------------------|----------|-----|
| Cemento | 7 | bls |
| Agregado fino | 10 | bls |
| Agregado grueso | 15 | bls |
| Arcilla expandida | 2 | bls |
| <i>Bacillus Subtilis</i> | 10 | lt |
| Lactato de calcio | 9 | und |
| Extracto de levadura | 1 | und |
| Fibra de polipropileno | 1 | bls |
| Aditivo acelerante de resistencia | 2 | und |

Fuente: Elaboración propia.

El cemento y los agregados; se compraron en una ferretería donde se verificó que estos no contengan materias orgánicas que puedan alterar las características del concreto. Los materiales del agente biorreparador fueron adquiridos de distribuidoras de suministros industriales, para posteriormente ser trasladado al laboratorio y realizar los ensayos correspondientes. Así mismo, se adquirió fibra de polipropileno y acelerante de resistencia.

Etapa 3: Caracterización de materiales

El cemento seleccionado para el proyecto fue Portland Tipo I, los agregados debieron cumplir con las características mínimas de calidad, para ello fueron sometidos a estudios de: granulometría, peso unitario, contenido de humedad, peso específico y absorción. Así mismo, se realizó ensayos de granulometría y contenido de humedad de la arcilla expandida.

Etapa 4: Encapsulación de bacterias

Después de obtener el tamaño requerido de la arcilla expandida, se procedió con la impregnación de las bacterias en la misma, este procedimiento se realizó de la siguiente manera; primero, se secó en un horno a $60^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas y luego se dejó enfriar a temperatura ambiente; posteriormente, se impregnó una solución (alimento para las bacterias) de 50 g/l de lactato de calcio y 5 g/l de extracto de levadura; se dejó secar a temperatura ambiente. Asimismo, después de un vacío se procedió a adherir los microorganismos biológicos, equivalente al 26.2% del peso de la arcilla expandida y se dejó secar en bolsas herméticas cerradas durante toda la noche para evitar la difusión de oxígeno y una posible activación de las bacterias. Este procedimiento se repitió para cada una de las dosificaciones bacterianas.

Tabla 7. *Agente bacteriano y alimentación.*

| | | |
|---|-----|------|
| Suspensión de Bacterias Bacillus Subtilis | % | 26.2 |
| Extracto de Levadura | g/l | 50 |
| Lactato de Calcio | g/l | 5 |

Fuente: Elaboración propia.

Etapa 5: Diseño de mezcla

Se diseñó un concreto de $f'c=210$ kg/cm² según el ACI 211.1 que se muestran en la etapa de desarrollo del procedimiento.

Etapa 6: Elaboración y curado de probetas

Se elaboró tanto el concreto patrón como el concreto autorreparable teniendo en cuenta el siguiente procedimiento; se añadió el agregado grueso con un porcentaje de agua y durante el proceso de mezclado se añadió el agregado fino, cemento y el agua restante; se mezcló durante 30 segundos para posteriormente adicionar el agregado ligero que contenía las bacterias, en el caso del concreto patrón no se utilizó este material. Luego de agregar todos los materiales se mezcló durante 3 minutos, después se dejó en reposo 3 minutos y finalmente 2 minutos más de mezclado.

Todos los procedimientos se desarrollaron como indica la norma ASTM C31/31M.

Etapa 7: Ensayos

El ensayo a compresión y flexión se realizaron según las normas ASTM C39 y ASTM C78 respectivamente. Las primeras probetas de ensayo fueron fracturadas a los 3 días de haberse moldeado, para lograr obtener datos confiables se sometieron 3 probetas por cada dosificación como indica la norma, en la ficha técnica se registraron los datos como la resistencia y el tipo de fractura; del mismo modo se procedió a fracturar las probetas a los 3, 7, 14 y 28 días. En el caso del ensayo a flexión se tuvo las mismas consideraciones.

Para poder medir la capacidad de autosellado se tuvo que inducir las fisuras en las muestras tipo viga, para ello se realizó como un ensayo de flexión para fracturarlas. En el control del autosellado se inspeccionó durante 4 semanas todas las fisuras utilizando un fisurómetro, por cada intervención se registró fotografías de las mismas fisuras que se seleccionaron desde un inicio para ser estudiadas, la información obtenida fue procesada para obtener el porcentaje de sellado a sus distintas edades. Como último ensayo se realizó la medición del pH en el concreto autosellado.

3.6. Métodos de análisis de datos

Es la ciencia que se responsabiliza de analizar una serie de datos con la finalidad de responder a las distintas problemáticas planteadas en la investigación.²⁷

La estadística descriptiva consiste en el registro, organización y categorización de los datos adquiridos por las observaciones experimentales, consiguiendo llevar a cabo tablas y gráficos que logren reducir la complejidad de los datos que interfieren en la distribución.³⁷

Por consiguiente, el método de análisis de datos de la investigación fue descriptiva porque se tuvo que procesar los datos obtenidos de las probetas de concreto realizadas en el laboratorio; en tabulaciones, tablas y gráficos logrando así obtener un resultado conciso y claro para una mejor interpretación.

3.7. Aspectos éticos

En el presente proyecto de investigación se recopiló datos e información de diversas fuentes, que fueron debidamente referenciadas de acuerdo a la norma ISO, respetando la autoría de todas y cada una de las investigaciones en las cuales se apoya este proyecto. Así mismo se rige bajo los lineamientos de Derechos de autor y patentes enmarcado en el Artículo 53 del código de ética de la Ley Universitaria N° 30220. Además, como medio para la verificación de similitud con investigaciones ya realizadas se utilizó el software Turnitin, una herramienta capaz de cotejar miles de datos para verificar si existe coincidencias.

En el presente estudio se tuvo en cuenta siempre la honestidad y transparencia en el proceso de desarrollo del proyecto en los laboratorios, así como también en la interpretación de los resultados, ya que es necesaria para preservar la verdad del conocimiento científico.

IV. RESULTADOS

IV. RESULTADOS

4.1. Desarrollo de procedimiento

Etapa 1: Adquisición de la bacteria *Bacillus Subtilis*

Se adquirieron dos concentraciones diferentes de bacterias *Bacillus Subtilis* en empresas con fines agroindustriales; estas fueron con suspensiones de 1×10^9 y 1×10^{12} cel/ml. La elección de las concentraciones fue basada principalmente en los antecedentes y por la disponibilidad en el mercado.



Figura 11. Suspensión bacteriana de 1×10^9 cel/ml.



Figura 12. Suspensión bacteriana de 1×10^{12} cel/ml.

Etapas 2: Acopio de materiales

Para la elaboración del concreto patrón y con dosificaciones de suspensión bacteriana, se adquirieron los siguientes materiales:

- a) Cemento Tipo I: Se compró este tipo de cemento por su uso general y porque no se requería obtener propiedades específicas del concreto.
- b) Agregado grueso: Se adquirió de la cantera Trapiche, el tamaño utilizado fue de ½" con la finalidad de evitar la formación de cangrejeras en las probetas de 4x8".
- c) Agregado fino: De igual manera se adquirió de la cantera Trapiche y se verificó que no tuviese materiales orgánicos.
- d) Arcilla expandida: Se compró de la marca Argex de la empresa agrícola Agriplant, se eligió este agregado ligero por la capacidad de absorción que posee.
- e) SikaRapid®-1: Aditivo acelerante de resistencia de concreto libre de cloruros, utilizado con el fin de disminuir el tiempo de obtención de resultados.
- f) SikaFiber®PE: Fibra sintética de polipropileno utilizada para el control de fisuración.
- g) Lactato de calcio: Se compró de la empresa Mixo Lab Perú en presentaciones de 50g, como parte del alimento de bacterias.
- h) Extracto de levadura: Se compró de la marca BD en una tienda de insumos para laboratorio, para complementar el alimento de los microorganismos.



Figura 13. Materiales: a) Cemento Sol Tipo I. b) Agregado grueso. c) Agregado fino. d) Arcilla Expandida. e) SikaRapid®-1. f) SikaFiber®PE. g) Lactato de Calcio. h) Extracto de levadura.

Etapa 3: Caracterización de materiales

a. Análisis Granulométrico

Norma ASTM C136/C136M - 19 "Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates".¹¹

- **Agregado Grueso:**



Figura 14. Granulometría de agregado grueso.

Tabla 8. Análisis granulométrico de agregado grueso.

| AGREGADO GRUESO ASTM C33/C33M - 18 - HUSO # 67 | | | | | | | |
|--|-----------|--------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|
| Malla | | Peso Retenido g | % Parcial Retenido | % Acumulado Retenido | % Acumulado que pasa | ASTM "LIM INF" | ASTM "LIM SUP" |
| 4" | 100.00 mm | | | | | 100.00 | 100.00 |
| 3 1/2" | 90.00 mm | | | | | 100.00 | 100.00 |
| 3" | 75.00 mm | | | | | 100.00 | 100.00 |
| 2 1/2" | 63.00 mm | | | | | 100.00 | 100.00 |
| 2" | 50.00 mm | | | | | 100.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 37.50 mm | | | | | 100.00 | 100.00 |
| 1" | 25.00 mm | | | | | 100.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.00 mm | | | | 100.00 | 90.00 | 100.00 |
| 1/2" | 12.50 mm | 1532.2 | 41.81 | 41.81 | 58.19 | 50.00 | 79.00 |
| 3/8" | 9.50 mm | 1189.9 | 32.47 | 74.27 | 25.73 | 20.00 | 55.00 |
| # 4 | 4.75 mm | 938.4 | 25.60 | 99.88 | 0.12 | 0.00 | 10.00 |
| # 8 | 2.36 mm | 4.1 | 0.11 | 99.99 | 0.01 | 0.00 | 5.00 |
| # 16 | 1.18 mm | 0.4 | 0.01 | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| # 30 | 600 µm | | | | | 0.00 | 0.00 |
| # 50 | 300 µm | | | | | 0.00 | 0.00 |
| # 100 | 150 µm | | | | | 0.00 | 0.00 |
| Fondo | - | 0.0 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | - | - |
| | | | | | | MF | 6.74 |
| | | | | | | TMN | 1/2" |

Fuente: Elaboración propia.

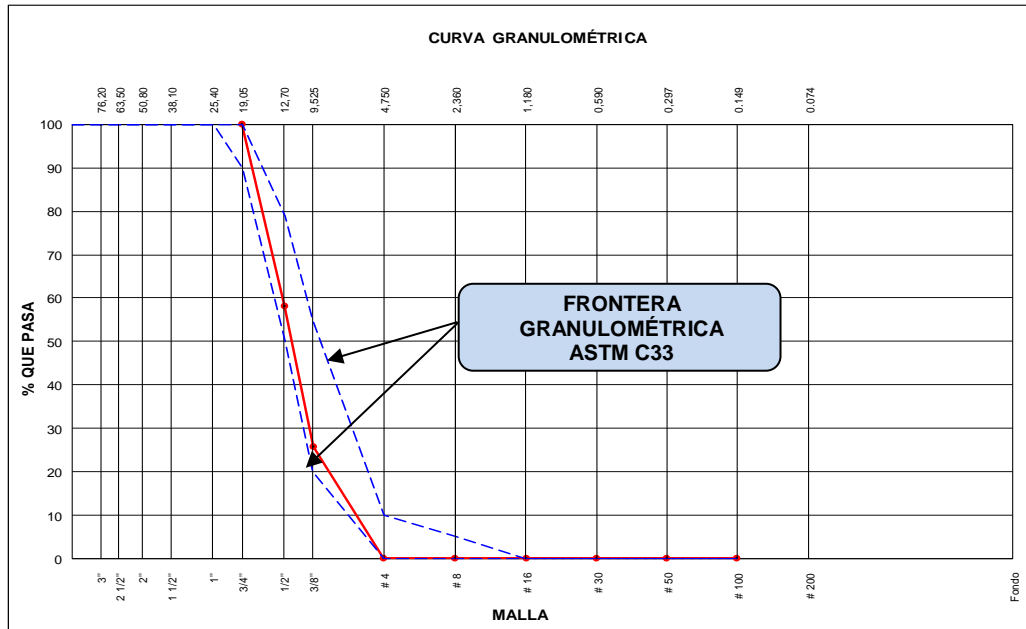


Gráfico 1. Curva de distribución granulométrica de agregado grueso.

La curva granulométrica del agregado utilizado cumple con los estándares de calidad establecidos por la norma. El módulo de fineza fue de 6.74 por lo que se logró una gran trabajabilidad de la mezcla y por consiguiente un mayor control de problemas por segregación.

- **Agregado Fino:**



Figura 15. Granulometría de agregado fino.

Tabla 9. Análisis granulométrico de agregado fino.

| AGREGADO FINO ASTM C33/C33M - 18 - ARENA GRUESA | | | | | | | |
|---|-----------|-----------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------|----------------|
| Malla | | Peso Retenido g | % Parcial Retenido | % Acumulado Retenido | % Acumulado que pasa | ASTM "LIM INF" | ASTM "LIM SUP" |
| 4" | 100.00 mm | | | | | 100.00 | 100.00 |
| 3 1/2" | 90.00 mm | | | | | 100.00 | 100.00 |
| 3" | 75.00 mm | | | | | 100.00 | 100.00 |
| 2 1/2" | 63.00 mm | | | | | 100.00 | 100.00 |
| 2" | 50.00 mm | | | | | 100.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 37.50 mm | | | | | 100.00 | 100.00 |
| 1" | 25.00 mm | | | | | 100.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.00 mm | | | | | 100.00 | 100.00 |
| 1/2" | 12.50 mm | | | | | 100.00 | 100.00 |
| 3/8" | 9.50 mm | | | | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| # 4 | 4.75 mm | 6.4 | 0.97 | 0.97 | 99.03 | 95.00 | 100.00 |
| # 8 | 2.36 mm | 67.5 | 10.22 | 11.19 | 88.81 | 80.00 | 100.00 |
| # 16 | 1.18 mm | 160.4 | 24.28 | 35.46 | 64.54 | 50.00 | 85.00 |
| # 30 | 600 µm | 180.2 | 27.27 | 62.74 | 37.26 | 25.00 | 60.00 |
| # 50 | 300 µm | 119.5 | 18.09 | 80.82 | 19.18 | 5.00 | 30.00 |
| # 100 | 150 µm | 62.7 | 9.49 | 90.31 | 9.69 | 0.00 | 10.00 |
| Fondo | - | 64.0 | 9.69 | 100.00 | 0.00 | - | - |
| | | | | | | MF | 2.81 |
| | | | | | | TMN | --- |

Fuente: Elaboración propia.

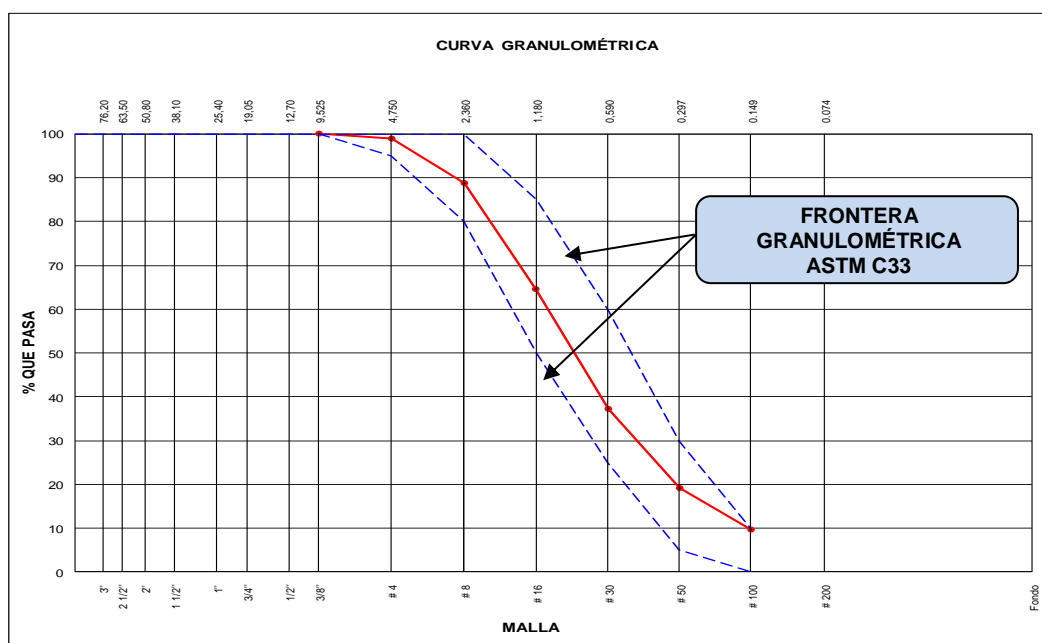


Gráfico 2. Curva de distribución granulométrica de agregado fino.

El módulo de fineza del agregado fino indica que la arena seleccionada es adecuada según la norma para la elaboración de concreto ya que pertenece a una arena de finura media.

- **Arcilla Expandida:**



Figura 16. Granulometría de arcilla expandida.

Tabla 10. Análisis granulométrico de arcilla expandida.

| ARCILLA EXPANDIDA | | | | | | | |
|-------------------|-----------|--------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|
| Malla | | Peso Retenido g | % Parcial Retenido | % Acumulado Retenido | % Acumulado que pasa | ASTM "LIM INF" | ASTM "LIM SUP" |
| 4" | 100.00 mm | | | | | 100.00 | 100.00 |
| 3 1/2" | 90.00 mm | | | | | 100.00 | 100.00 |
| 3" | 75.00 mm | | | | | 100.00 | 100.00 |
| 2 1/2" | 63.00 mm | | | | | 100.00 | 100.00 |
| 2" | 50.00 mm | | | | | 100.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 37.50 mm | | | | | 100.00 | 100.00 |
| 1" | 25.00 mm | | | | | 100.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.00 mm | | | | | 90.00 | 100.00 |
| 1/2" | 12.50 mm | | | | | 50.00 | 79.00 |
| 3/8" | 9.50 mm | | | | 100.00 | 20.00 | 55.00 |
| # 4 | 4.75 mm | 529.9 | 93.61 | 93.61 | 6.39 | 0.00 | 10.00 |
| # 8 | 2.36 mm | 33.9 | 5.99 | 99.59 | 0.41 | 0.00 | 5.00 |
| # 16 | 1.18 mm | | | | | | |
| # 30 | 600 µm | | | | | | |
| # 50 | 300 µm | | | | | | |
| # 100 | 150 µm | | | | | | |
| Fondo | - | 2.3 | 0.41 | 100.00 | 0.00 | - | - |
| | | | | | | MF | 5.92 |
| | | | | | | TMN | --- |

Fuente: Elaboración propia.

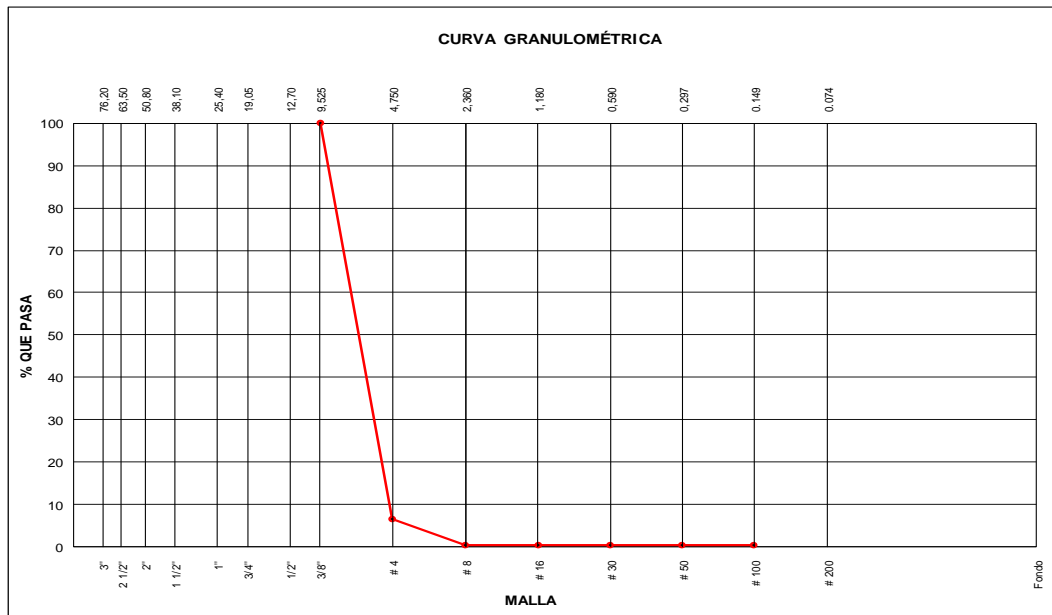


Gráfico 3. Curva de distribución granulométrica de la arcilla expandida.

Se puede verificar que los resultados obtenidos del análisis granulométrico de la arcilla coinciden con la ficha técnica del producto.

b. Contenido de Humedad

Norma ASTM C566 – 19 “Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying”.¹²

- **Agregado Grueso:**



Figura 17. Contenido de humedad de agregado grueso.

Tabla 11. Contenido de humedad de agregado grueso.

| ITEM | DESCRIPCIÓN | UND. | DATOS |
|------|--------------------------------------|----------|------------|
| 1 | Masa del Recipiente | g | 717.0 |
| 2 | Masa del Recipiente + muestra húmeda | g | 4395.0 |
| 3 | Masa del Recipiente + muestra seca | g | 4382.0 |
| 4 | CONTENIDO DE HUMEDAD | % | 0.4 |

Fuente: Elaboración propia.

El contenido de humedad del agregado grueso fue bajo, el cual se puede decir que los poros del agregado estaban parcialmente secos. Con este resultado se podrá determinar la cantidad exacta de agua para el mezclado del concreto.

- **Agregado Fino:**

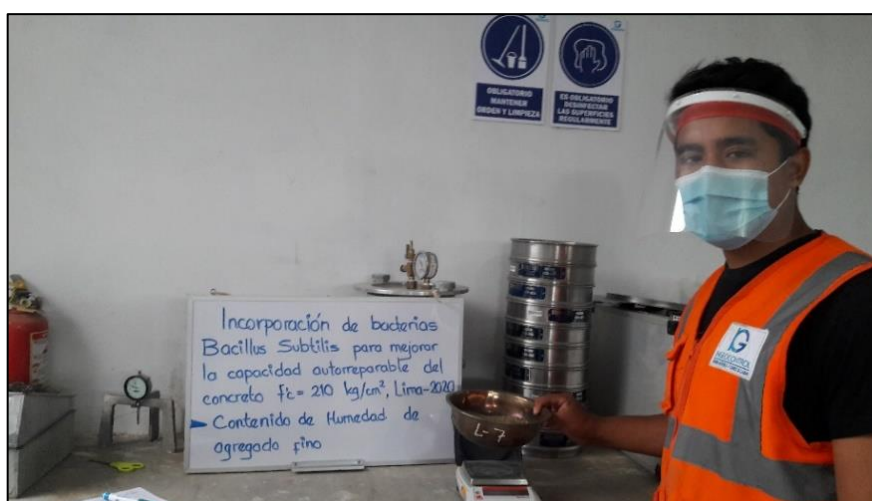


Figura 18. Contenido de humedad de agregado fino.

Tabla 12. Contenido de humedad de agregado fino.

| ITEM | DESCRIPCIÓN | UND. | DATOS |
|------|--------------------------------------|----------|------------|
| 1 | Masa del Recipiente | g | 154.5 |
| 2 | Masa del Recipiente + muestra húmeda | g | 826.3 |
| 3 | Masa del Recipiente + muestra seca | g | 815.2 |
| 4 | CONTENIDO DE HUMEDAD | % | 1.7 |

Fuente: Elaboración propia.

El contenido de humedad del agregado fino fue relativamente bajo, el cual se puede deducir que el material aportará una cantidad mínima de agua a la mezcla.

- **Arcilla Expandida:**



Figura 19. Contenido de humedad de arcilla expandida.

Tabla 13. *Contenido de humedad de arcilla expandida.*

| ITEM | DESCRIPCIÓN | UND. | DATOS |
|------|--------------------------------------|------|------------|
| 1 | Masa del Recipiente | g | 154.5 |
| 2 | Masa del Recipiente + muestra húmeda | g | 458.6 |
| 3 | Masa del Recipiente + muestra seca | g | 448.6 |
| 4 | CONTENIDO DE HUMEDAD | % | 3.4 |

Fuente: Elaboración propia.

El contenido de humedad registrado en la arcilla expandida es alto debido a que el ensayo se hizo después de haber incorporado la solución bacteriana y el alimento, por lo que elevó estos índices a comparación de los demás agregados.

c. Peso Unitario

Norma ASTM C29/C29M – 17a “Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate”.⁵

- **Agregado Grueso:**



Figura 20. Peso unitario de agregado grueso suelto.

Tabla 14. Peso unitario suelto de agregado grueso.

| IDENTIFICACIÓN | 1 | 2 | PROMEDIO |
|---|----------|----------|-------------|
| Peso de molde (kg) | 1.628 | 1.628 | |
| Volumen de molde (m ³) | 0.002809 | 0.002809 | |
| Peso de molde + muestra suelta (kg) | 5.660 | 5.646 | |
| Peso de muestra suelta (kg) | 4.032 | 4.018 | |
| PESO UNITARIO SUELTO (kg/m ³) | 1435 | 1430 | 1433 |

Fuente: Elaboración propia.



Figura 21. Peso unitario de agregado grueso compactado.

Tabla 15. *Peso unitario compactado de agregado grueso.*

| IDENTIFICACIÓN | 1 | 2 | PROMEDIO |
|-------------------------------------|----------|----------|-------------|
| Peso de molde (kg) | 1.628 | 1.628 | |
| Volumen de molde (m3) | 0.002809 | 0.002809 | |
| Peso de molde + muestra suelta (kg) | 6.064 | 6.072 | |
| Peso de muestra suelta (kg) | 4.436 | 4.444 | |
| PESO UNITARIO COMPACTADO (kg/m3) | 1579 | 1582 | 1581 |

Fuente: Elaboración propia.

- **Agregado Fino:**



Figura 22. *Peso unitario de agregado fino suelto.*

Tabla 16. *Peso unitario suelto de agregado fino.*

| IDENTIFICACIÓN | 1 | 2 | PROMEDIO |
|-------------------------------------|----------|----------|-------------|
| Peso de molde (kg) | 1.628 | 1.628 | |
| Volumen de molde (m3) | 0.002809 | 0.002809 | |
| Peso de molde + muestra suelta (kg) | 6.103 | 6.000 | |
| Peso de muestra suelta (kg) | 4.475 | 4.372 | |
| PESO UNITARIO SUELTO (kg/m3) | 1593 | 1556 | 1575 |

Fuente: Elaboración propia.



Figura 23. Peso unitario de agregado fino compactado.

Tabla 17. Peso unitario compactado de agregado fino.

| IDENTIFICACIÓN | 1 | 2 | PROMEDIO |
|-------------------------------------|----------|----------|-------------|
| Peso de molde (kg) | 1.628 | 1.628 | |
| Volumen de molde (m3) | 0.002809 | 0.002809 | |
| Peso de molde + muestra suelta (kg) | 6.574 | 6.574 | |
| Peso de muestra suelta (kg) | 4.946 | 4.946 | |
| PESO UNITARIO COMPACTADO (kg/m3) | 1761 | 1761 | 1761 |

Fuente: Elaboración propia.

- **Arcilla Expandida:**

Tabla 18. Peso unitario suelto de arcilla expandida.

| IDENTIFICACIÓN | 1 | 2 | PROMEDIO |
|-------------------------------------|----------|----------|------------|
| Peso de molde (kg) | 1.628 | 1.628 | |
| Volumen de molde (m3) | 0.002809 | 0.002809 | |
| Peso de molde + muestra suelta (kg) | 2.685 | 2.664 | |
| Peso de muestra suelta (kg) | 1.057 | 1.036 | |
| PESO UNITARIO SUELTO (kg/m3) | 376 | 369 | 373 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19. Peso unitario compactado de arcilla expandida.

| IDENTIFICACIÓN | 1 | 2 | PROMEDIO |
|-------------------------------------|----------|----------|----------|
| Peso de molde (kg) | 1.628 | 1.628 | |
| Volumen de molde (m3) | 0.002809 | 0.002809 | |
| Peso de molde + muestra suelta (kg) | 2.743 | 2.746 | |
| Peso de muestra suelta (kg) | 1.115 | 1.118 | |
| PESO UNITARIO COMPACTADO (kg/m3) | 397 | 398 | 397 |

Fuente: Elaboración propia.

d. Peso Específico y Absorción

- **Agregado Grueso:**

Norma ASTM C127 – 15 “Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate”.⁹



Figura 24. Peso específico de agregado grueso.

Tabla 20. Peso específico y absorción de agregado grueso.

| DATOS | | AG |
|---|------------------------------------|--------|
| A | Peso de la muestra sss | 2074.0 |
| B | Peso de la muestra sss sumergida | 1353.3 |
| C | Peso de la muestra secada al horno | 2057.0 |
| RESULTADOS | | 1 |
| PESO ESPECÍFICO DE MASA = C/(A-B) | | 2.854 |
| PESO ESPECÍFICO DE MASA S.S.S = A/(A-B) | | 2.878 |
| PESO ESPECÍFICO APARENTE = C/(C-B) | | 2.923 |
| PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%) = 100*((A-C)/C) | | 0.8 |

Fuente: Elaboración propia.

- **Agregado Fino:**

Norma ASTM C128 – 15 “Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate”.¹⁰



Figura 25. Peso específico de agregado fino.

Tabla 21. *Peso específico y absorción de agregado fino.*

| DATOS | | A.F |
|---|----------------------------------|-------|
| A | Peso Mat. Sat. Sup. Seca (SSS) | 500.0 |
| B | Peso Frasco + agua | 670.8 |
| C | Peso Frasco + agua + muestra SSS | 985.7 |
| D | Peso del Material Seco | 492.2 |
| RESULTADOS | | 1 |
| PESO ESPECIFICO DE MASA = $D/(B+A-C)$ | | 2.66 |
| PESO ESPECIFICO DE MASA S.S.S = $A/(B+A-C)$ | | 2.70 |
| PESO ESPECIFICO APARENTE = $D/(B+D-C)$ | | 2.78 |
| PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%) = $100*((A-D)/D)$ | | 1.6 |

Fuente: Elaboración propia.

- **Arcilla Expandida:**

Para el peso específico de la arcilla se tomó en consideración lo registrado en la ficha técnica del producto (Ver anexo 11), se precisó un valor total de 358 kg/m³. De igual manera, en base a la ficha técnica se determinó un 26.2% de absorción de agua debido a su estructura filtrable que conlleva a tener un alto índice de absorción.

Etapa 4: Encapsulación de bacterias

La encapsulación de bacterias fue un procedimiento que se hizo simultáneamente con la caracterización de los materiales; este proceso consistió en tres fases:

La primera fase fue el secado de la arcilla expandida, debido a que la absorción según la ficha técnica (Ver anexo 11), está calculada a partir del peso seco del material, para obtener este estado se colocó en un horno a 60°C durante 24 horas y después se dejó enfriar a temperatura ambiente.



Figura 26. Secado de arcilla expandida en horno.



Figura 27. Secado de arcilla expandida a temperatura ambiente.

En la segunda fase se realizó la adherencia del alimento bacteriano en la arcilla expandida, esto consistió en la dilución de Lactato de calcio y extracto de levadura; la solubilidad del lactato de calcio es de 200 g/L y el de extracto de levadura de 410 g/L, después de realizar este proceso se almacenó el

material en bolsas de plástico completamente selladas y se dejó un lapso de tiempo de 3 días para posteriormente realizar el procedimiento de la incorporación de los microorganismos.



Figura 28. Adherencia de nutrientes.

Tabla 22. Cantidad de aditivo bacteriano encapsulado.

| PRODUCTO | | UND | CANTIDAD |
|------------------------------|--------------------|-----|----------|
| Arcilla expandida | | kg | 33 |
| Absorción (26.2%) | | lt | 8.65 |
| Bacillus Subtilis | 1×10^9 | lt | 4.32 |
| | 1×10^{12} | lt | 4.32 |
| Extracto de Levadura (5 g/l) | | g | 43.23 |
| Lactato de calcio (50 g/l) | | g | 432.3 |

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, en la tercera fase se adicionó las bacterias, en este proceso se realizó inicialmente con la suspensión bacteriana de 1×10^9 cel/ml, el desarrollo consistió en dividir la cantidad total de la arcilla en 4 partes para así lograr que la solución bacteriana se distribuyera de manera más homogénea en el material de encapsulación, el mismo proceso se realizó para la incorporación de la suspensión de 1×10^{12} cel/ml.



Figura 29. Adherencia de microorganismos.

Después de que se hiciera la impregnación se almacenó la arcilla expandida en bolsas las cuales fueron selladas totalmente para evitar que el oxígeno ingresara y activara los microorganismos. Se dejó que la adherencia se efectuara durante 5 días para posteriormente hacer el ensayo de contenido de humedad y realizar el diseño de mezcla.



Figura 30. Almacenamiento.

Etapa 5: Diseño de mezcla

Se realizó según el método ACI 211.1², el cual se requirió los siguientes resultados obtenidos en los ensayos de caracterización de materiales:

Tabla 23. Resumen de la caracterización de materiales.

| INSUMO | PESO ESPECÍFICO | HUMEDAD | ABSORCIÓN | MÓDULO DE FINEZA | PESO UNITARIO | |
|--|------------------------|---------|-----------|------------------|-------------------------|------------------------|
| | | | | | SUELTO | COMPACTADO |
| Agregado grueso | 2878 kg/m ³ | 0.4% | 0.8% | 6.74 | 1433 kg/cm ³ | 1581 kg/m ³ |
| Agregado fino | 2701 kg/m ³ | 1.6% | 1.6% | 2.81 | 1575 kg/m ³ | 1761 kg/m ³ |
| Arcilla expandida | 358 kg/m ³ | 3.4% | 26.2% | 5.93 | 373 kg/m ³ | 397 kg/m ³ |
| Arcilla expandida con 1x10 ⁹ cel/m | 358 kg/m ³ | 31.4% | 26.2% | 5.93 | 373 kg/m ³ | 397 kg/m ³ |
| Arcilla expandida con 1x10 ¹² cel/m | 358 kg/m ³ | 36.1% | 26.2% | 5.93 | 373 kg/m ³ | 397 kg/m ³ |

Fuente: Elaboración propia.

a. Resistencia promedio requerida (f'_{cr})

Se consideró que la resistencia a compresión del concreto a diseñar es de 210 kg/cm².

Tabla 24. Resistencia a compresión media requerida cuando no hay datos disponibles para establecer la desviación estándar.

| Resistencia a compresión especificada, f'_c , kg/cm ² | Resistencia compresión media requerida, kg/cm ² |
|--|--|
| Menos de 210 | $f'_c + 70$ |
| 210 a 350 | $f'_c + 84$ |
| Más de 350 | $1.10 f'_c + 50$ |

Fuente: ACI 318.

Por lo tanto;

$$f'_{cr} = 210 \text{ kg/cm}^2 + 84$$

$$f'_{cr} = 294 \text{ kg/cm}^2$$

b. Volumen unitario de agua

Para adquirir la cantidad exacta de agua a utilizar, se consideró dos datos importantes:

- Asentamiento, se determinó de 6-7" para mayor trabajabilidad durante el mezclado y vaciado del concreto.

- Tamaño máximo nominal del agregado grueso, fue de ½" (12.5 mm) según los ensayos granulométricos del agregado.

Tabla 25. Requisitos aproximados de agua de mezcla y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales del agregado.

| Revenimiento (asentamiento) (mm) | Agua, kilogramos por metro cúbico de concreto, para los tamaños de agregado indicados* | | | | | | | |
|--|--|---------|-------|-------|---------|---------|---------|----------|
| | 9.5 mm | 12.5 mm | 19 mm | 25 mm | 37.5 mm | 50 mm** | 75 mm** | 150 mm** |
| Concreto sin aire incluido | | | | | | | | |
| 25 a 50 | 207 | 199 | 190 | 179 | 166 | 154 | 130 | 113 |
| 75 a 100 | 228 | 216 | 205 | 193 | 181 | 169 | 145 | 124 |
| 150 a 175 | 243 | 228 | 216 | 202 | 190 | 178 | 160 | — |
| Cantidad aproximada de aire atrapado en un concreto sin aire incluido, porcentaje | 3 | 2.5 | 2 | 1.5 | 1 | 0.5 | 0.3 | 0.2 |
| Concreto con aire incluido | | | | | | | | |
| 25 a 50 | 181 | 175 | 168 | 160 | 150 | 142 | 122 | 107 |
| 75 a 100 | 202 | 193 | 184 | 175 | 165 | 157 | 133 | 119 |
| 150 a 175 | 216 | 205 | 197 | 184 | 174 | 166 | 154 | — |
| Promedio del contenido de aire total recomendado, para el nivel de exposición, porcentaje† | | | | | | | | |
| Exposición blanda | 4.5 | 4.0 | 3.5 | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 1.5 | 1.0 |
| Exposición moderada | 6.0 | 5.5 | 5.0 | 4.5 | 4.5 | 4.0 | 3.5 | 3.0 |
| Exposición severa | 7.5 | 7.0 | 6.0 | 6.0 | 5.5 | 5.0 | 4.5 | 4.0 |

Fuente: ACI 211.1.

Según lo indicado en la tabla N°30, el volumen de agua de la mezcla fue de 228 lt/m³.

c. Contenido de aire

La mezcla no contiene aire incorporado; por lo tanto, se obtuvo que para un tamaño máximo nominal de ½", se tendrá un 2.5% de aire atrapado según la tabla anterior.

d. Relación agua-cemento por resistencia

Debido a que la durabilidad no fue el factor a gobernar o analizar, la elección de la relación agua – cemento se basó en los requisitos de compresión. Tomando en cuenta que la resistencia promedio requerida es de 294 kg/cm².

Tabla 26. Dependencia entre la relación agua – material cementante y la resistencia a la compresión del concreto.

| Resistencia a Compresión a los 28 Días, kg/cm ² (MPa) | Relación agua-material cementante en masa | |
|--|---|----------------------------|
| | Concreto sin aire incluido | Concreto con aire incluido |
| 450 (45) | 0.38 (0.38) | 0.31 (0.30) |
| 400 (40) | 0.43 (0.42) | 0.34 (0.34) |
| 350 (35) | 0.48 (0.47) | 0.40 (0.39) |
| 300 (30) | 0.55 (0.54) | 0.46 (0.45) |
| 250 (25) | 0.62 (0.61) | 0.53 (0.52) |
| 200 (20) | 0.70 (0.69) | 0.61 (0.60) |
| 150 (15) | 0.80 (0.79) | 0.72 (0.70) |

Fuente: ACI 211.1.

Interpolando ambos extremos limitantes a 294 kg/cm² (28.83 MPa) se obtuvo lo siguiente:

$$\frac{X - 0.54}{0.61 - 0.54} = \frac{28.83 - 30}{25 - 30}$$

$$X = 0.5564 \cong 0.56$$

e. Factor Cemento

Se determinó, de la siguiente manera:

$$\text{F. Cemento} = \frac{\text{Volumen unitario de agua}}{\text{Relación agua/cemento}}$$

$$\text{F. Cemento} = \frac{228 \text{ Lt/m}^3}{0.56}$$

$$\text{F. Cemento} = 407.143 \text{ kg/m}^3$$

f. Contenido de agregado grueso

La dependencia entre la resistencia a la compresión y la relación a/c se determinó utilizando los datos del módulo de fineza del agregado fino (2.81) y del tamaño máximo nominal del agregado grueso (1/2").

Tabla 27. Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto.

| Tamaño máximo nominal del agregado mm (pulg.) | Volumen del agregado grueso varillado en seco por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino* | | | |
|---|--|------|------|------|
| | 2.40 | 2.60 | 2.80 | 3.00 |
| 9.5 (3/8) | 0.50 | 0.48 | 0.46 | 0.44 |
| 12.5 (1/2) | 0.59 | 0.57 | 0.55 | 0.53 |
| 19.00 (3/4) | 0.66 | 0.64 | 0.62 | 0.60 |
| 25.00 (1) | 0.71 | 0.69 | 0.67 | 0.65 |
| 37.5 (1 1/2) | 0.75 | 0.73 | 0.71 | 0.69 |
| 50 (2) | 0.78 | 0.76 | 0.74 | 0.72 |
| 75 (3) | 0.82 | 0.80 | 0.78 | 0.76 |
| 150 (6) | 0.87 | 0.85 | 0.83 | 0.81 |

Fuente: ACI 211.1.

Interpolando, se obtuvo:

$$\frac{y - 0.55}{0.53 - 0.55} = \frac{2.81 - 2.80}{3 - 2.8}$$

$$X = 0.549 \cong 0.55$$

Para determinar el peso seco del agregado grueso, se multiplicó por el peso unitario seco compactado del mismo.

$$\text{Peso seco del agregado grueso} = 0.55 * 1581 \text{kg/m}^3$$

$$\text{Peso seco del agregado grueso} = 869.55 \text{kg/m}^3$$

g. Peso del aditivo SikaRapid®-1

El aditivo acelerante de resistencia se le considero un peso específico de 1270 kg/m³ como figura en la ficha técnica del producto (Anexo N°12). La dosificación utilizada fue de 2.2% respecto al peso del cemento, con la finalidad de reducir el tiempo de obtención de resultados finales.

$$\text{Peso del aditivo SikaRapid} = 2.2\% * 407.143 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso del aditivo SikaRapid} = 8.96 \text{ kg/m}^3$$

h. Peso del SikaFiber®PE

La dosificación utilizada de fibra de polipropileno para concretos de f'c 210 kg/cm² es de 600 g/m³, en base a su ficha técnica (Anexo N°13).

i. Volúmenes absolutos del agregado grueso, cemento, agua, aditivo de resistencia y aire

- Volumen del agregado grueso:

$$\text{Vol. A. G} = \frac{869.55 \text{ kg/m}^3}{2878 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Vol. A. G} = 0.3021 \text{ m}^3$$

- Volumen del cemento:

$$\text{Vol. C} = \frac{407.143 \text{ kg/m}^3}{3120 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Vol. C} = 0.1305 \text{ m}^3$$

- Volumen del agua:

$$\text{Vol. Agua} = \frac{228 \text{ kg/m}^3}{1000 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Vol. Agua} = 0.2280 \text{ m}^3$$

- Volumen del aditivo Sika Rapid®1:

$$\text{Vol. Ad. Sika} = \frac{9 \text{ kg/m}^3}{1270 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Vol. Ad. Sika} = 0.0071 \text{ m}^3$$

- Volumen del aire:

$$\text{Vol. Aire} = 2.5\%$$

$$\text{Vol. Aire} = 0.025 \text{ m}^3$$

Entonces:

$$\text{Vol. A. Fino} = 1 - (\text{Vol. A. G} + \text{Vol. C} + \text{Vol. Ag} + \text{Vol. Ad. Sika} + \text{Vol. Air})$$

$$\text{Vol. A. F} = 1 - (0.3021 + 0.1305 + 0.2280 + 0.0071 + 0.025)$$

$$\text{Vol. A. F} = 0.3073 \text{ m}^3$$

Tabla 28. *Peso específico y volumen absoluto de agregados para un diseño patrón.*

| INSUMO | PESO ESPECÍFICO | VOLUMEN ABSOLUTO |
|----------------------|------------------------|-----------------------|
| Cemento Sol Tipo I | 3120 kg/m ³ | 0.1305 m ³ |
| Agua | 1000 kg/m ³ | 0.2280 m ³ |
| Aire atrapado ≈ 2.5% | --- | 0.0250 m ³ |
| Sika Rapid 1 | 1270 kg/m ³ | 0.0071 m ³ |
| Agregado grueso | 2878 kg/m ³ | 0.3021 m ³ |
| Agregado fino | 2701 kg/m ³ | 0.3073 m ³ |

Fuente: Elaboración propia.

Para el diseño de mezcla con bacterias, se determinó que la cantidad de arcilla expandida fuera el 50% del volumen del agregado fino, en base a los antecedentes.

$$\text{Vol. Arcilla Expandida} = \frac{0.3073 \text{ m}^3}{2}$$

$$\text{Vol. Arcilla Expandida} = 0.1537 \text{ m}^3$$

Por lo tanto; el volumen absoluto del agregado fino para un diseño con dosificación bacteria es de 0.1537 m³.

Tabla 29. *Peso específico y volumen absoluto de agregados para un diseño con dosificación bacteriana.*

| INSUMO | PESO ESPECÍFICO | VOLUMEN ABSOLUTO |
|----------------------|------------------------|-----------------------|
| Cemento Sol Tipo I | 3120 kg/m ³ | 0.1305 m ³ |
| Agua | 1000 kg/m ³ | 0.2280 m ³ |
| Aire atrapado ≈ 2.5% | --- | 0.0250 m ³ |
| Sika Rapid 1 | 1270 kg/m ³ | 0.0071 m ³ |
| Agregado grueso | 2878 kg/m ³ | 0.3021 m ³ |
| Agregado fino | 2701 kg/m ³ | 0.1537 m ³ |
| Arcilla expandida | 358 kg/m ³ | 0.1537 m ³ |

Fuente: Elaboración propia.

j. Peso seco del agregado fino

Para obtener el peso seco del agregado fino, se multiplicó el volumen por el peso específico del respectivo agregado.

- Para el diseño concreto patrón

$$\text{Peso seco de agregado fino} = 0.3073 \text{ m}^3 * \frac{2701 \text{ kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Peso seco de agregado fino} = 830.06 \text{ kg/m}^3$$

- Para el diseño con bacterias

$$\text{Peso seco de agregado fino} = 0.1537 \text{ m}^3 * \frac{2701 \text{ kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Peso seco de agregado fino} = 415.03 \text{ kg/m}^3$$

Así mismo, el peso seco de la arcilla expandida es:

$$\text{Peso seco de arcilla expandida} = 0.1537 \text{ m}^3 * \frac{358 \text{ kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Peso seco de arcilla expandida} = 55.01 \text{ kg/m}^3$$

k. **Peso húmedo de los agregados**

Se corrigió las proporciones de los agregados en función a su humedad, de la siguiente manera:

$$\text{Peso agregado húmedo (kg)} = \text{Peso agregado seco (kg)} \times \left(1 + \frac{\%W_g}{100}\right)$$

- Agregado grueso

$$\text{P. A. G. húmedo} = 869.55 \text{ kg} \times \left(1 + \frac{0.4}{100}\right) = 873.03 \text{ kg}$$

- Agregado fino

- En el diseño patrón

$$\text{P. A. F. húmedo} = 830.06 \text{ kg} \times \left(1 + \frac{1.6}{100}\right) = 843.34 \text{ kg}$$

- En el diseño con bacterias

$$\text{P. A. F. húmedo} = 415.03 \text{ kg} \times \left(1 + \frac{1.6}{100}\right) = 421.67 \text{ kg}$$

- Agregado ligero (Arcilla expandida)

- En el diseño 1×10^9 cel/ml

$$\text{P. A. E. húmedo} = 55.01 \text{ kg} \times \left(1 + \frac{31.4}{100}\right) = 72.28 \text{ kg}$$

- En el diseño 1×10^{12} cel/ml

$$\text{P. A. E. húmedo} = 55.01 \text{ kg} \times \left(1 + \frac{36.1}{100}\right) = 74.87 \text{ kg}$$

I. Agua efectiva corregida por absorción y humedad para el diseño patrón

Se calculó por la diferencia entre el volumen unitario de agua y la suma de aportes de humedad de los agregados.

- Aporte de humedad de agregado grueso

$$\text{A. H. Agre. Grueso} = 869.55 \text{ kg} \times \left(\frac{0.4 - 0.8}{100}\right) = -3.48$$

- Aporte de humedad de agregado fino

$$\text{A. H. Agre. Fino} = 830.06 \text{ kg} \times \left(\frac{1.6 - 1.6}{100}\right) = 0$$

Por lo tanto;

$$\text{Agua efectiva 1} = \text{Agua de diseño} - (\text{Aporte de humedad})$$

$$\text{Agua efectiva 1} = 228 \frac{\text{lt}}{\text{m}^3} - (-3.48)$$

$$\text{Agua efectiva 1} = 231.48 \text{ lt/m}^3$$

m. Agua efectiva corregida por absorción y humedad para el diseño con bacterias

- Diseño 1×10^9 cel/ml

- Aporte de humedad de agregado grueso

$$\text{A. H. Agre. Grueso} = 869.55 \text{ kg} \times \left(\frac{0.4 - 0.8}{100}\right) = -3.48$$

- Aporte de humedad de agregado fino

$$\text{A. H. Agre. Fino} = 415.03 \text{ kg} \times \left(\frac{1.6 - 1.6}{100} \right) = 0$$

- Aporte de humedad de arcilla expandida

$$\text{A. H. Arc. Expandida} = 55.01 \text{ kg} \times \left(\frac{31.4 - 26.2}{100} \right) = 2.86$$

Por lo tanto;

$$\text{Agua efectiva 2} = \text{Agua de diseño} - (\text{Aporte de humedad})$$

$$\text{Agua efectiva 2} = 228 \frac{\text{lt}}{\text{m}^3} - (-3.48 + 2.86)$$

$$\text{Agua efectiva 2} = 228.62 \text{ lt/m}^3$$

- Diseño 1×10^{12} cel/ml

- Aporte de humedad de agregado grueso

$$\text{A. H. Agre. Grueso} = 869.55 \text{ kg} \times \left(\frac{0.4 - 0.8}{100} \right) = -3.48$$

- Aporte de humedad de agregado fino

$$\text{A. H. Agre. Fino} = 415.03 \text{ kg} \times \left(\frac{1.6 - 1.6}{100} \right) = 0$$

- Aporte de humedad de arcilla expandida

$$\text{A. H. Arc. Expandida} = 55.01 \text{ kg} \times \left(\frac{36.1 - 26.2}{100} \right) = 5.45$$

Por lo tanto;

$$\text{Agua efectiva 2} = \text{Agua de diseño} - (\text{Aporte de humedad})$$

$$\text{Agua efectiva 2} = 228 \frac{\text{lt}}{\text{m}^3} - (-3.48 + 5.45)$$

$$\text{Agua efectiva 2} = 226.03 \text{ lt/m}^3$$

En resumen, se determinó las siguientes proporciones por m³:

Tabla 30. *Proporciones en peso para diseño patrón*

| COMPONENTE | PESO SECO | PESO HÚMEDO |
|---------------------|------------|-------------|
| Cemento Sol Tipo I | 407.14 kg | 407.14 kg |
| Agua | 228 Lt | 231.48 Lt |
| Sika Rapid 1 | 8.96 kg | 8.96 kg |
| Agregado grueso | 869.55 kg | 873.03 kg |
| Agregado fino | 830.06 kg | 843.34 kg |
| Fibra polipropileno | 0.6 kg | 0.6 kg |
| | 2344.31 kg | 2364.55 kg |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31. *Proporciones en peso para diseño con bacterias de 1×10^9 cel/ml*

| COMPONENTE | PESO SECO | PESO HÚMEDO |
|---------------------|------------|-------------|
| Cemento Sol Tipo I | 407.14 kg | 407.14 kg |
| Agua | 228 Lt | 228.62 Lt |
| Sika Rapid 1 | 8.96 kg | 8.96 kg |
| Agregado grueso | 869.55 kg | 873.03 kg |
| Agregado fino | 415.03 kg | 421.67 kg |
| Arcilla expandida | 55.01 kg | 72.28 kg |
| Fibra polipropileno | 0.6 kg | 0.6 kg |
| | 1984.29 kg | 2012.30 kg |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32. *Proporciones en peso para diseño con bacterias de 1×10^{12} cel/ml*

| COMPONENTE | PESO SECO | PESO HÚMEDO |
|---------------------|------------|-------------|
| Cemento Sol Tipo I | 407.14 kg | 407.14 kg |
| Agua | 228 Lt | 226.03 Lt |
| Sika Rapid 1 | 8.96 kg | 8.96 kg |
| Agregado grueso | 869.55 kg | 873.03 kg |
| Agregado fino | 415.03 kg | 421.67 kg |
| Arcilla expandida | 55.01 kg | 74.87 kg |
| Fibra polipropileno | 0.6 kg | 0.6 kg |
| | 1984.29 kg | 2012.30 kg |

Fuente: Elaboración propia.

Etapas 6: Elaboración y curado de probetas

El proceso a seguir para la fabricación del concreto patrón fue como lo estipula la Norma ASTM C 31/ 31M “Práctica estándar para fabricar y curar probetas de ensayo de hormigón en el campo”.⁶

En el caso del concreto con adición del aditivo bacteriano se hizo un procedimiento similar con la diferencia que la arcilla expandida que contiene las bacterias se colocó al final, después de ya haber mezclado el cemento y los agregados, así evitamos que los microorganismos tengan un contacto prolongado con el agua o el cemento antes del vaciado.



Figura 31. Mezclado de concreto.



Figura 32. Mezcla de concreto.

Para indicar la consistencia y capacidad del concreto fresco para adecuarse a los moldes con mayor facilidad y logrando una mezcla con una cantidad mínima de vacíos; se realizó el ensayo de asentamiento o slump por cada dosificación. Procedimiento realizado: en un molde troncocónico se vació el concreto en tres capas, por capa se compacto con una varilla de punta de bala a 25 golpes en forma de espiral, para la última capa se enrasó con ayuda de una espátula para proceder a levantar el molde verticalmente. Posteriormente, se midió el asentamiento del concreto fresco en comparación a la altura del molde utilizado.



Figura 33. Asentamiento del concreto.

El asentamiento utilizado para el diseño de mezcla fue de 6" - 7", sin embargo, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 33. *SLUMP* obtenido

| DOSIFICACIÓN | SLUMP |
|---------------------------|-------|
| Concreto Patron | 7" |
| 1×10^9 cel/ml | 8" |
| 1×10^{12} cel/ml | 8½" |

Fuente: Elaboración propia.

En base a los resultados, los diseños de mezcla fueron consideradas como fluidas.

Después de realizar la prueba de consistencia de cada dosificación, se verificó que todos los moldes correspondientes para el vaciado del concreto se encuentren en buen estado, limpios y aceitados; también se observó que la superficie en donde se fuera a depositar la mezcla en los moldes sea rígida, nivelada y libre de vibración.



Figura 34. Engrasado de moldes.

En los moldes cilíndricos de 4x8" se vertió la mezcla con ayuda de un cucharón en dos capas de mismo volumen, por capa vertida se compactó con una varilla de 12" de longitud una cantidad de 25 golpes en forma vertical y espiral, empezando desde los extremos hasta llegar al centro. Después de que cada capa fuera varillada, con un mazo de goma se aplicó ligeros golpes en los lados del molde de 10 a 15 veces con la finalidad de liberar burbujas de aire que pudieron quedarse atrapadas y para cerrar algún agujero dejado por el varillado.



Figura 35. Varillado de especímenes cilíndricos.



Figura 36. Vibrado de especímenes cilíndricos.

En el caso de los moldes de vigas 6x6", se vació el concreto de igual manera en dos capas de mismo volumen con ayuda de un cucharón; por cada capa vertida se consolidó con una varilla de 20", una cantidad de 50 a 55 golpes de la misma forma que en los moldes cilíndricos. Igualmente, se realizó golpes ligeros con el mazo de goma, pero en todo el contorno de la viga después del varillado por cada capa.



Figura 37. Varillado de especímenes prismáticos.



Figura 38. Vibrado de especímenes prismáticos.

Finalmente, se enrasó el exceso de concreto de los moldes con una varilla y para mejor acabado superior se pasó una llana metálica; después, en un papel se anotó las descripciones (N° de proyecto, fecha de vaciado, tipo de mezcla) y se humedeció para colocar en la parte superior de cada espécimen.



Figura 39. Enrasado de especímenes cilíndricos.



Figura 40. Enrasado de especímenes prismáticos.



Figura 41. Especímenes etiquetados.

Pasado las 18 y 24 horas de haberse moldeado los especímenes, se desmoldaron registrando los datos correspondientes (anteriormente colocados en un papel) con un plumón para pasar a ser curados en una fosa con agua.

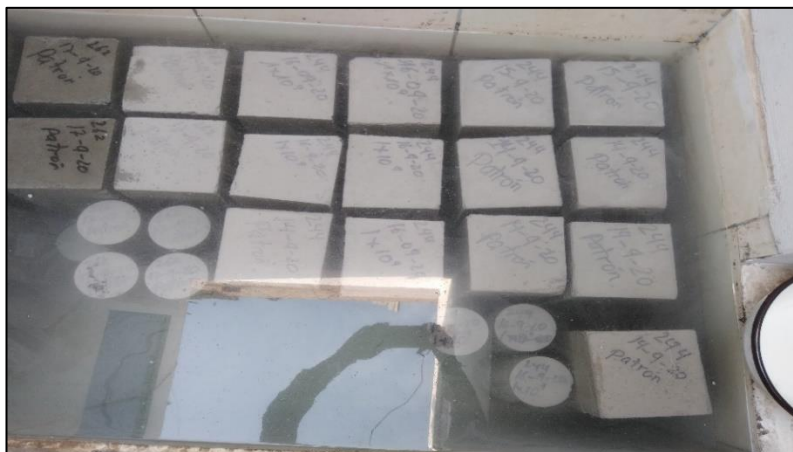


Figura 42. Curado de especímenes.

Etapa 7: Ensayos

a. Ensayo de resistencia a la compresión

Se realizó en base a la Norma Americana ASTM C39/C39M-17 “Método de ensayo normalizado para resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto”.⁷



Figura 43. Ensayo de resistencia a la compresión.



Figura 44. Participación en el ensayo de resistencia a la compresión.

- Concreto Patrón

Tabla 34. Resistencia a la compresión del concreto patrón

| DOSIFICACIÓN | | | | | | | |
|---------------------|------|------|--------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------------|-------|
| Concreto Patrón | | | | | | | |
| EDAD | N° | TIPO | CARGA MÁXIMA | ÁREA (cm ²) | F'c (kg/cm ²) | PROMEDIO (kg/cm ²) | % F'c |
| 3 días 17/09/20 | P.01 | 5 | 18691.1 | 74.20 | 252 | 258 | 123% |
| | P.02 | 4 | 19914.7 | 74.36 | 268 | | |
| | P.03 | 5 | 19037.8 | 74.66 | 255 | | |
| 7 días 21/09/20 | P.01 | 4 | 20006.5 | 76.36 | 262 | 266 | 126% |
| | P.02 | 5 | 19517.1 | 72.68 | 269 | | |
| | P.03 | 5 | 19843.4 | 74.51 | 266 | | |
| 14 días 28/09/20 | P.01 | 5 | 21220.0 | 75.89 | 280 | 273 | 130% |
| | P.02 | 5 | 20975.2 | 77.60 | 270 | | |
| | P.03 | 3 | 21087.4 | 78.38 | 269 | | |
| 28 días 12/10/20 | P.01 | 4 | 25645.5 | 76.51 | 335 | 336 | 160% |
| | P.02 | 3 | 26349.0 | 77.60 | 340 | | |
| | P.03 | 3 | 26022.7 | 77.91 | 334 | | |

Fuente: Elaboración propia.

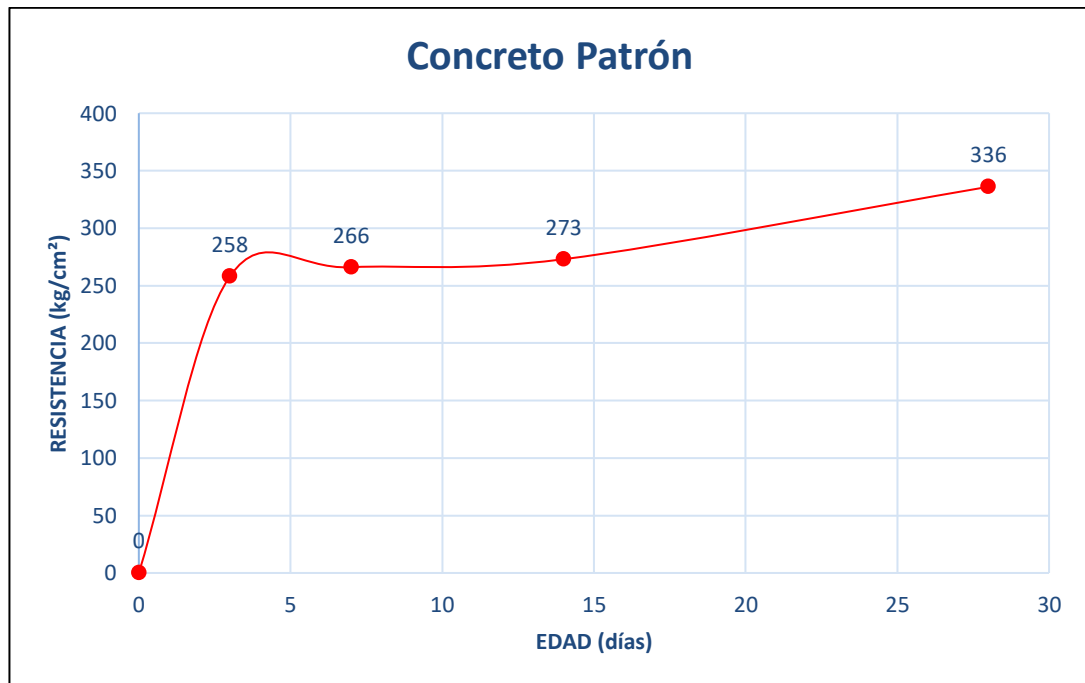


Gráfico 4. Curva de resistencia a la compresión del concreto patrón.

- Dosificación 1×10^9 cel/ml

Tabla 35. Resistencia a la compresión de la dosificación 1×10^9 cel/ml

| DOSIFICACIÓN | | | | | | | |
|-------------------------------------|------|------|--------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------------|-------|
| Dosificación 1×10^9 cel/ml | | | | | | | |
| EDAD | N° | TIPO | CARGA MÁXIMA | ÁREA (cm ²) | F'c (kg/cm ²) | PROMEDIO (kg/cm ²) | % F'c |
| 3 días 19/09/20 | P.01 | 4 | 17498.1 | 76.05 | 230 | 231 | 110% |
| | P.02 | 3 | 17181.9 | 73.90 | 233 | | |
| | P.03 | 5 | 17243.1 | 75.12 | 230 | | |
| 7 días 23/09/20 | P.01 | 6 | 19782.2 | 76.36 | 259 | 259 | 123% |
| | P.02 | 5 | 19629.2 | 76.51 | 257 | | |
| | P.03 | 5 | 19955.5 | 76.20 | 262 | | |
| 14 días 30/09/20 | P.01 | 6 | 19537.5 | 75.43 | 259 | 260 | 124% |
| | P.02 | 5 | 19935.1 | 75.43 | 264 | | |
| | P.03 | 3 | 19812.8 | 76.98 | 257 | | |
| 28 días 14/10/20 | P.01 | 1 | 20975.2 | 76.82 | 273 | 273 | 130% |
| | P.02 | 5 | 20863.1 | 76.36 | 273 | | |
| | P.03 | 5 | 21148.6 | 77.13 | 274 | | |

Fuente: Elaboración propia.

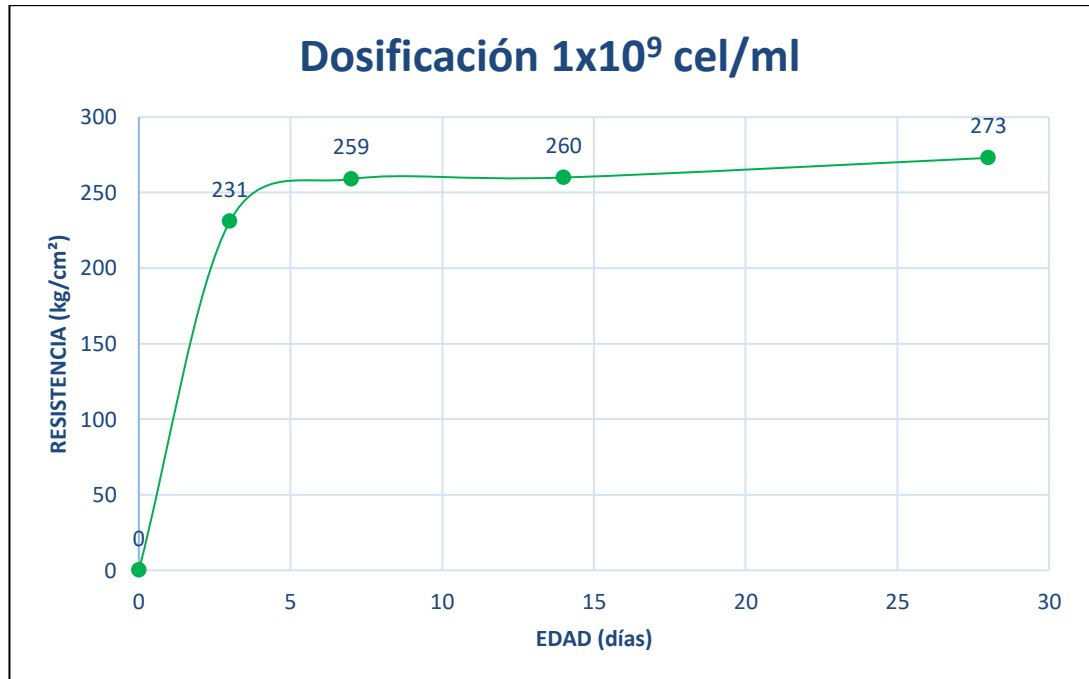


Gráfico 5. Curva de resistencia a la compresión del concreto con dosificación 1×10^9 cel/ml.

- Dosificación 1×10^{12} cel/ml

Tabla 36. Resistencia a la compresión de la dosificación 1×10^{12} cel/ml

| DOSIFICACIÓN | | | | | | | |
|--|------|------|--------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------------|-------|
| Dosificación 1×10^{12} cel/ml | | | | | | | |
| EDAD | N° | TIPO | CARGA MÁXIMA | ÁREA (cm ²) | F'c (kg/cm ²) | PROMEDIO (kg/cm ²) | % F'c |
| 3 días 22/09/20 | P.01 | 5 | 16274.4 | 77.44 | 210 | 208 | 99% |
| | P.02 | 3 | 16131.7 | 78.07 | 207 | | |
| | P.03 | 5 | 16050.1 | 77.76 | 206 | | |
| 7 días 26/09/20 | P.01 | 5 | 17793.8 | 76.36 | 233 | 233 | 111% |
| | P.02 | 5 | 17457.3 | 75.43 | 231 | | |
| | P.03 | 3 | 17722.4 | 76.05 | 233 | | |
| 14 días 03/10/20 | P.01 | 6 | 18935.8 | 75.43 | 251 | 251 | 119% |
| | P.02 | 4 | 19313.1 | 76.51 | 252 | | |
| | P.03 | 5 | 19190.8 | 77.29 | 248 | | |
| 28 días 17/10/20 | P.01 | 5 | 21423.9 | 77.91 | 275 | 271 | 129% |
| | P.02 | 6 | 21138.4 | 78.54 | 269 | | |
| | P.03 | 5 | 21301.5 | 78.85 | 270 | | |

Fuente: Elaboración propia.

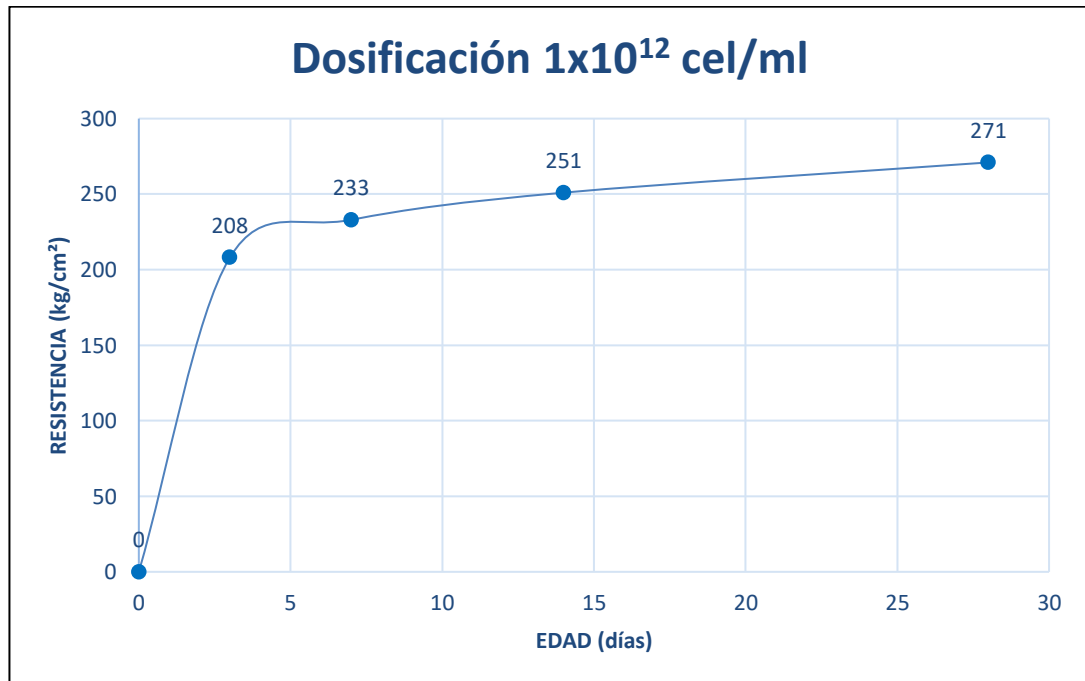


Gráfico 6. Curva de resistencia a la compresión del concreto con dosificación 1×10^{12} cel/ml.

b. Ensayo de resistencia a la flexión

Se llevó a cabo bajo la Norma Americana ASTM C78 “Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la flexión del concreto (utilizando viga simple con carga en los tercios del claro)”.⁸



Figura 45. Ensayo de resistencia a la flexión.



Figura 46. Participación en el ensayo de resistencia a la flexión.

- Concreto Patrón

Tabla 37. Resistencia a la flexión del concreto patrón

| DOSIFICACIÓN | | | | | | |
|---------------------|------|--------------|----------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------|
| Concreto Patrón | | | | | | |
| EDAD | N° | CARGA MÁXIMA | LUZ LIBRE (cm) | MR (kg/cm ²) | PROMEDIO (kg/cm ²) | UBICACIÓN DE FALLA |
| 3 días 17/09/20 | P.01 | 3443.5 | 45 | 46 | 47 | TERCIO CENTRAL |
| | P.02 | 3539.4 | 45 | 47 | | |
| | P.03 | 3581.2 | 45 | 47 | | |
| 7 días 21/09/20 | P.01 | 3862.6 | 45 | 51 | 48 | TERCIO CENTRAL |
| | P.02 | 3554.7 | 45 | 47 | | |
| | P.03 | 3579.1 | 45 | 47 | | |
| 14 días 29/09/20 | P.01 | 4495.9 | 45 | 60 | 60 | TERCIO CENTRAL |
| | P.02 | 4445.9 | 45 | 59 | | |
| | P.03 | 4596.8 | 45 | 61 | | |
| 28 días 13/10/20 | P.01 | 4425.5 | 45 | 59 | 57 | TERCIO CENTRAL |
| | P.02 | 4339.8 | 45 | 57 | | |
| | P.03 | 4162.4 | 45 | 56 | | |

Fuente: Elaboración propia.

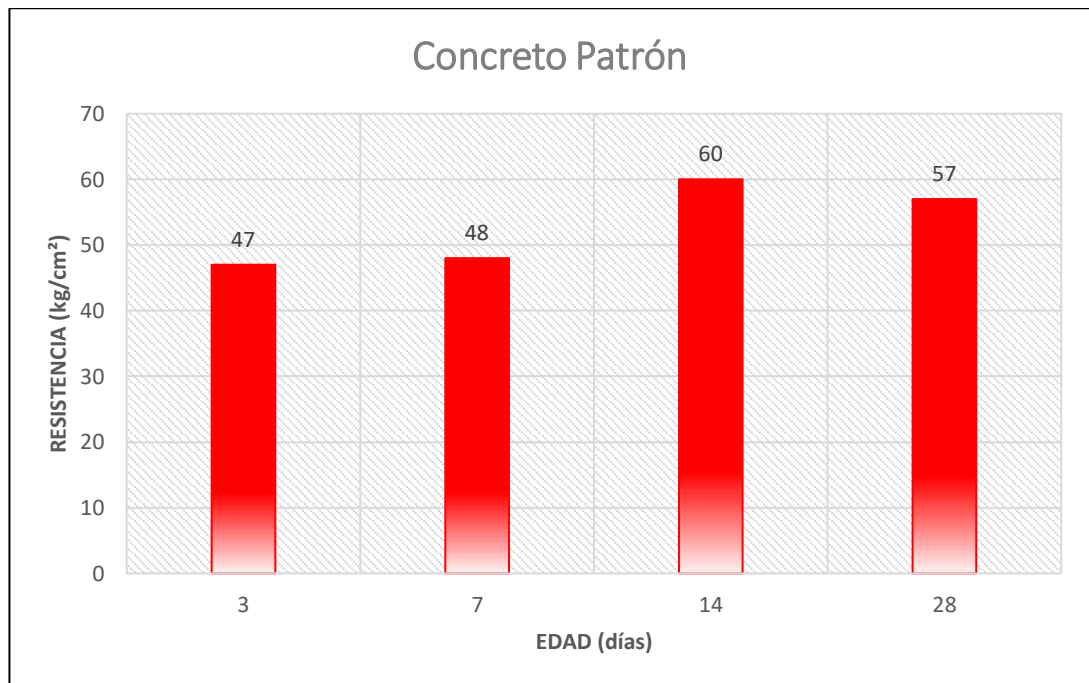


Gráfico 7. Análisis de resistencia a la flexión del concreto patrón.

- Dosificación 1×10^9 cel/ml

Tabla 38. Resistencia a la flexión de la dosificación 1×10^9 cel/ml

| DOSIFICACIÓN | | | | | | |
|-------------------------------------|------|--------------|----------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------|
| Dosificación 1×10^9 cel/ml | | | | | | |
| EDAD | N° | CARGA MÁXIMA | LUZ LIBRE (mm) | MR (kg/cm ²) | PROMEDIO (kg/cm ²) | UBICACIÓN DE FALLA |
| 3 días 19/09/20 | P.01 | 3461.9 | 45 | 45 | 45 | TERCIO CENTRAL |
| | P.02 | 3333.4 | 45 | 44 | | |
| | P.03 | 3542.4 | 45 | 47 | | |
| 7 días 23/09/20 | P.01 | 3606.7 | 45 | 47 | 47 | TERCIO CENTRAL |
| | P.02 | 3593.4 | 45 | 48 | | |
| | P.03 | 3607.7 | 45 | 47 | | |
| 14 días 30/09/20 | P.01 | 3575.1 | 45 | 47 | 46 | TERCIO CENTRAL |
| | P.02 | 3373.2 | 45 | 45 | | |
| | P.03 | 3515.9 | 45 | 46 | | |
| 28 días 14/10/20 | P.01 | 3787.2 | 45 | 50 | 49 | TERCIO CENTRAL |
| | P.02 | 3661.7 | 45 | 48 | | |
| | P.03 | 3764.7 | 45 | 49 | | |

Fuente: Elaboración propia.

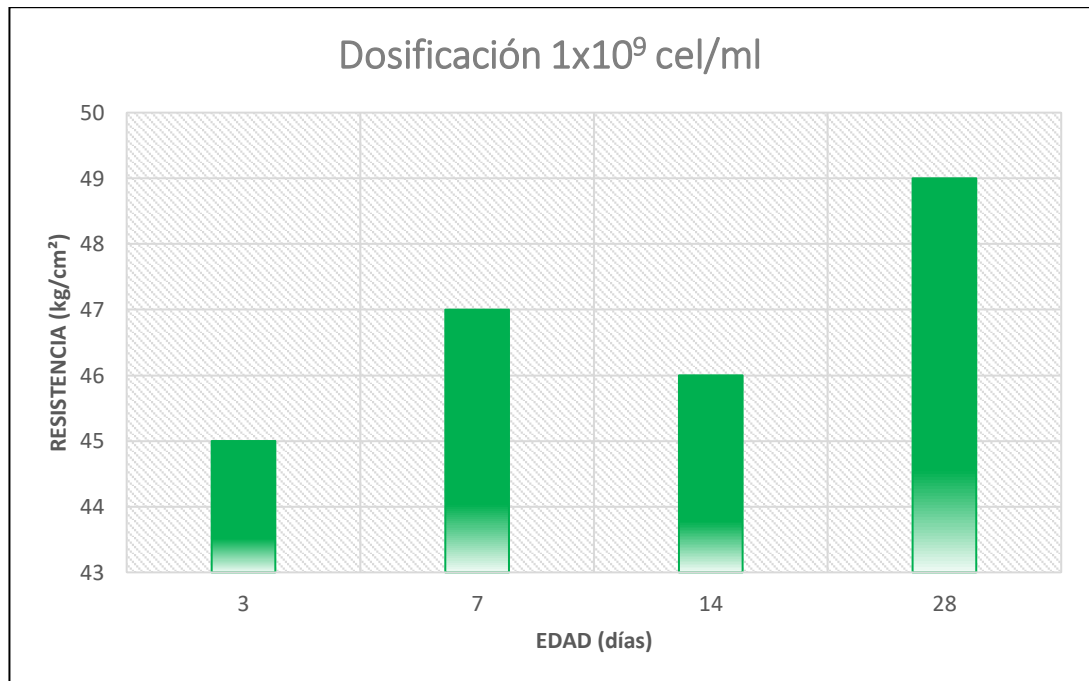


Gráfico 8. Análisis de resistencia a la flexión del concreto con dosificación 1×10^9 cel/ml.

- Dosificación 1×10^{12} cel/ml

Tabla 39. Resistencia a la flexión de la dosificación 1×10^{12} cel/ml

| DOSIFICACIÓN | | | | | | |
|--|------|--------------|----------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------|
| Dosificación 1×10^{12} cel/ml | | | | | | |
| EDAD | N° | CARGA MÁXIMA | LUZ LIBRE (cm) | MR (kg/cm ²) | PROMEDIO (kg/cm ²) | UBICACIÓN DE FALLA |
| 3 días 28/09/20 | P.01 | 3420.1 | 45 | 46 | 45 | TERCIO CENTRAL |
| | P.02 | 3286.5 | 45 | 43 | | |
| | P.03 | 3389.5 | 45 | 45 | | |
| 7 días 02/10/20 | P.01 | 3430.0 | 45 | 46 | 47 | TERCIO CENTRAL |
| | P.02 | 3665.0 | 45 | 48 | | |
| | P.03 | 3524.0 | 45 | 47 | | |
| 14 días 03/10/20 | P.01 | 3562.1 | 45 | 47 | 48 | TERCIO CENTRAL |
| | P.02 | 3675.9 | 45 | 48 | | |
| | P.03 | 3626.5 | 45 | 48 | | |
| 28 días 17/10/20 | P.01 | 3697.5 | 45 | 49 | 49 | TERCIO CENTRAL |
| | P.02 | 3598.3 | 45 | 48 | | |
| | P.03 | 3751.7 | 45 | 50 | | |

Fuente: Elaboración propia.

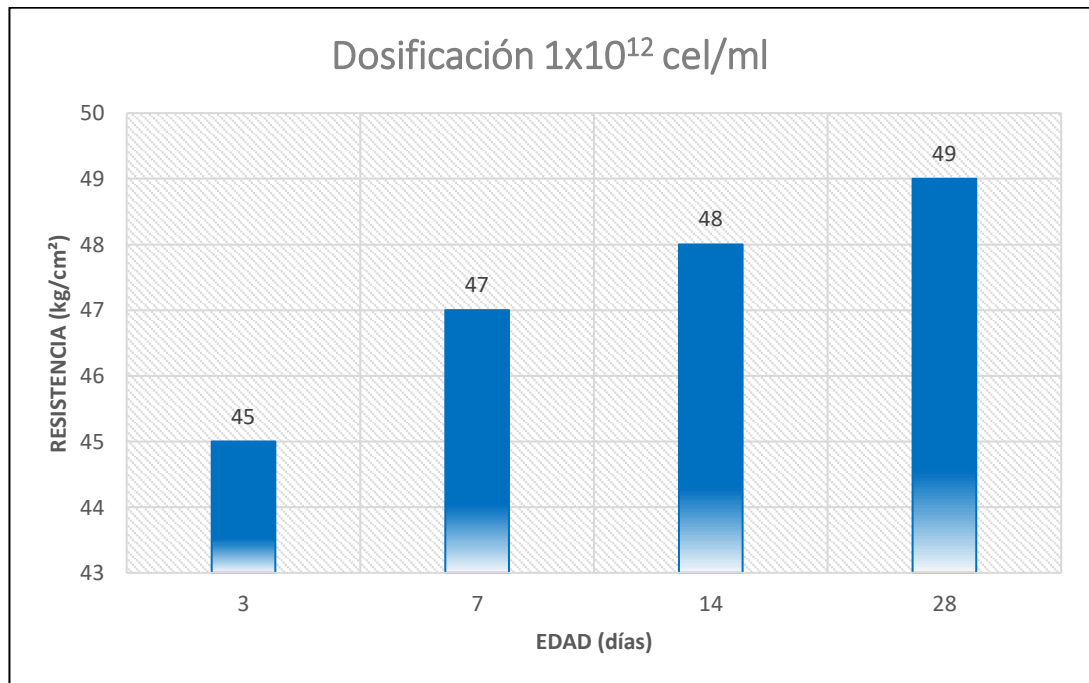


Gráfico 9. Análisis de resistencia a la flexión del concreto con dosificación 1×10^{12} cel/ml.

c. Proceso de autosellado

Se seleccionó dos especímenes prismáticos por cada una de las dosificaciones para la inducción de fisuras a la edad de 14 días; se realizó como un ensayo de flexión, se cargó al espécimen hasta su fisuración sin llegar a la fractura completa.



Figura 47. Especimen prismático fisurado.

Después de obtener las fisuras en todas las probetas, se desarrolló un registro de fisuración. Se marcó con un plumón cortes perpendiculares a la fisura para posteriormente medirlo utilizando un fisurómetro, se tomaron varias muestras del mismo espesor de fisura y se eligió el más representativo por dosificación; además, se registró fotografías con las medidas y a partir de ello se calculó un porcentaje de autosellado con mayor exactitud. Se realizó el mismo procedimiento para cada control, estos se dieron en una duración de un mes que comprendió un total de cuatro registros para determinar el proceso de autosellado.

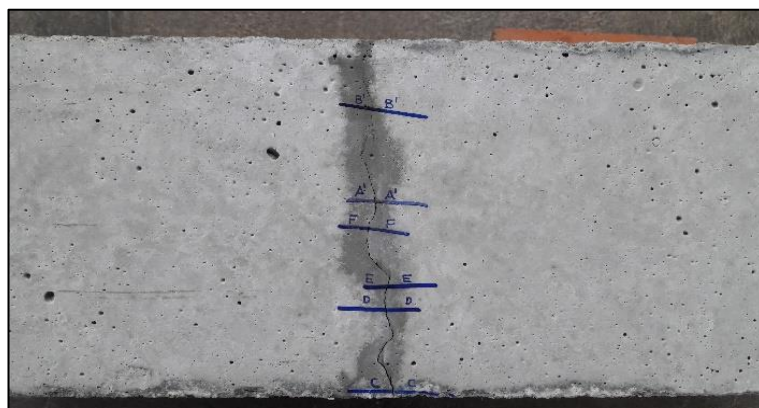


Figura 48. Identificación de fisuras

- Concreto patrón

Tabla 40. *Espesor de fisuras en el concreto patrón*

| ESPESOR DE FISURAS (mm) | | | | |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Concreto patrón | | | | |
| REGISTRO INICIAL | 1 ^{er} CONTROL | 2 ^{do} CONTROL | 3 ^{er} CONTROL | 4 ^{to} CONTROL |
| 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0 | 0 |
| 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0 | 0 |
| 0.20 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.20 | 0.20 |
| 0.30 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| 0.40 | 0.40 | 0.35 | 0.35 | 0.35 |
| 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 |
| 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.60 |

Fuente: Elaboración propia.

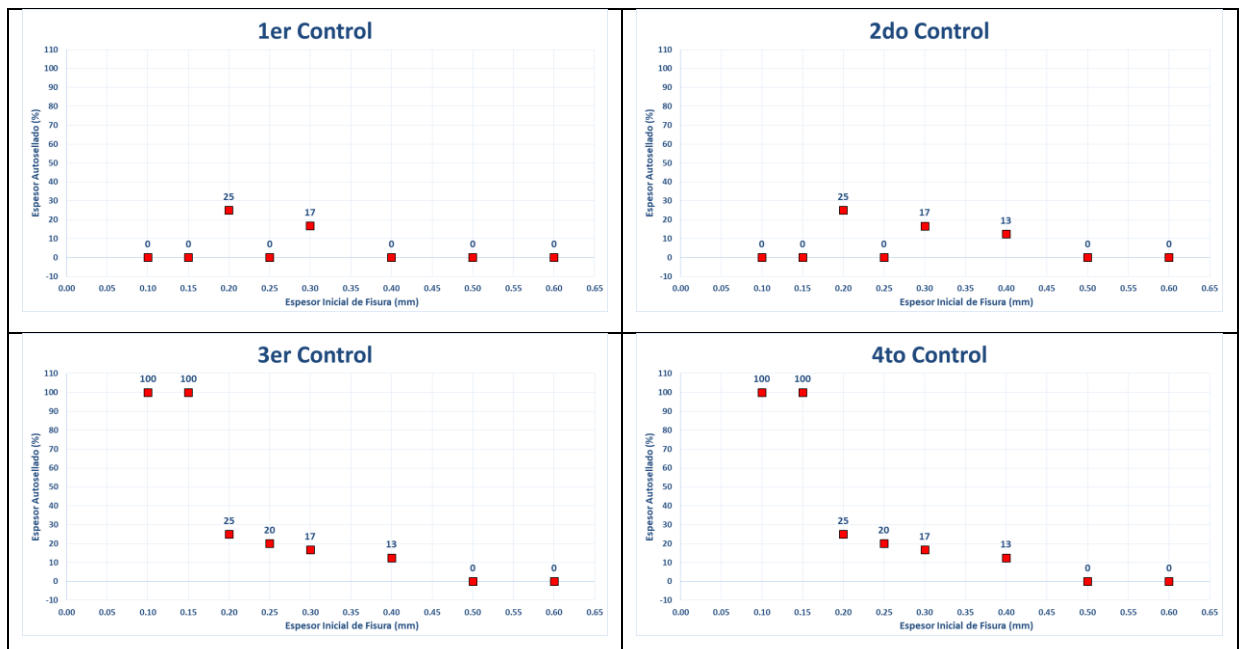
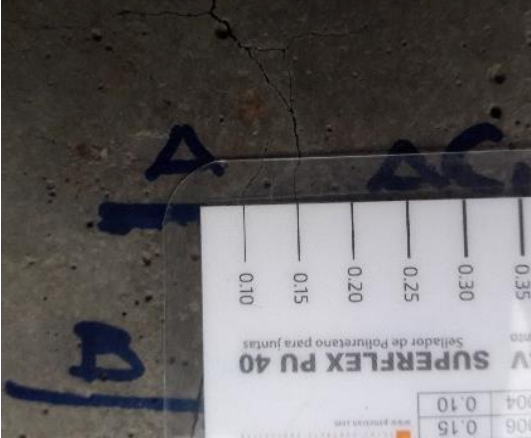

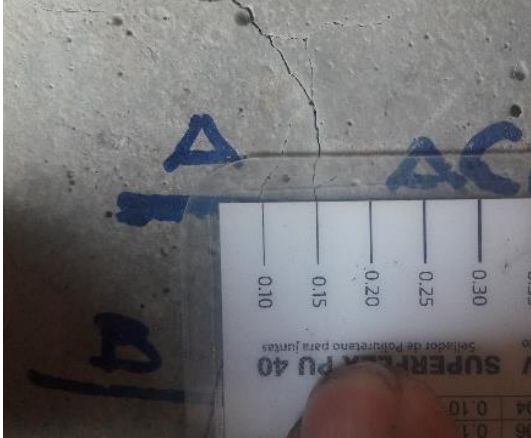

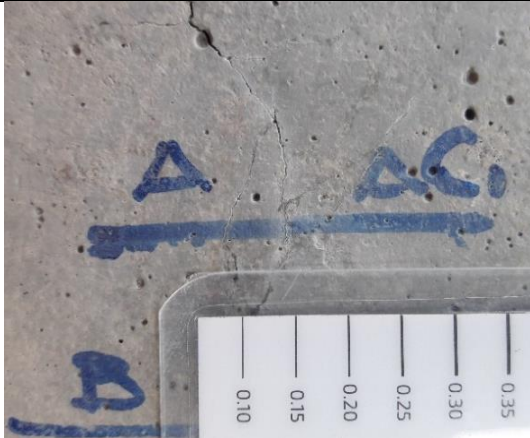




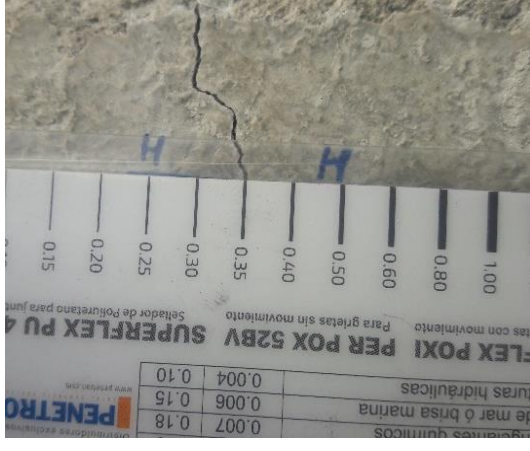
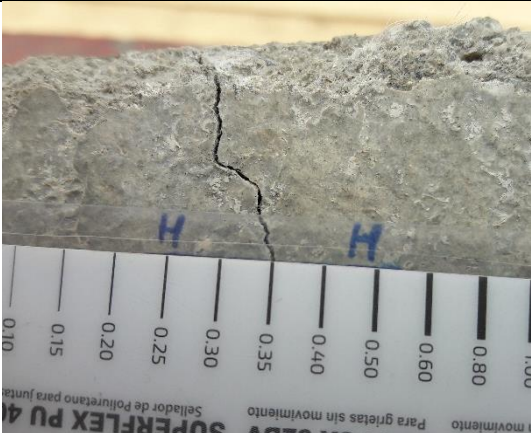
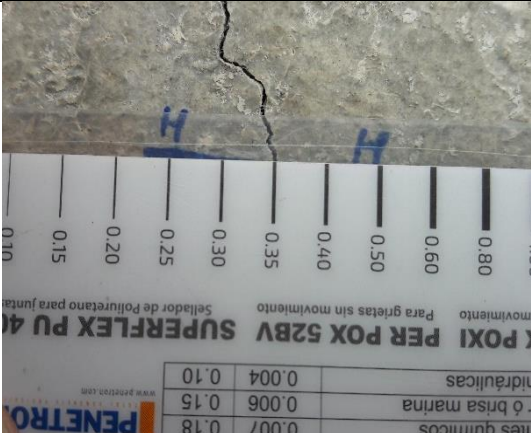
Gráfico 10. *Proceso de autosellado del concreto patrón*

Tabla 41. Proceso de autosellado de la fisura 0.15 mm en el concreto patrón.

| REGISTRO INICIAL | 1ER CONTROL | 2DO CONTROL |
|--|--|---|
|  <p>Initial crack width measurement: 0.15 mm. The ruler shows markings from 0.10 to 0.35 mm. The crack is clearly visible and measured.</p> |  <p>1st control crack width measurement: 0.10 mm. The crack width has decreased from 0.15 mm to 0.10 mm.</p> |  <p>2nd control crack width measurement: 0.10 mm. The crack width remains at 0.10 mm.</p> |
| 3ER CONTROL | | 4TO CONTROL |
|  <p>3rd control crack width measurement: 0.10 mm. The crack width remains at 0.10 mm.</p> | |  <p>4th control crack width measurement: 0.10 mm. The crack width remains at 0.10 mm.</p> |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 42. Proceso de autosellado de la fisura 0.4 mm en el concreto patrón.

| REGISTRO INICIAL | 1ER CONTROL | 2DO CONTROL |
|--|--|--|
|  |  |  |
| 3ER CONTROL | | 4TO CONTROL |
|  | |  |

Fuente: Elaboración propia.

- Dosificación 1×10^9 cel/ml

Tabla 43. Espesor de fisuras en el concreto con dosificación 1×10^9 cel/ml

| ESPESOR DE FISURAS (mm) | | | | |
|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Dosificación 1×10^9 cel/ml | | | | |
| REGISTRO INICIAL | 1 ^{er} CONTROL | 2 ^{do} CONTROL | 3 ^{er} CONTROL | 4 ^{to} CONTROL |
| 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0 | 0 |
| 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0 | 0 |
| 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0 | 0 |
| 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0 | 0 |
| 0.30 | 0.30 | 0.25 | 0 | 0 |
| 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.25 | 0.25 |
| 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.35 | 0.30 |
| 0.60 | 0.60 | 0.50 | 0.40 | 0.35 |

Fuente: Elaboración propia.

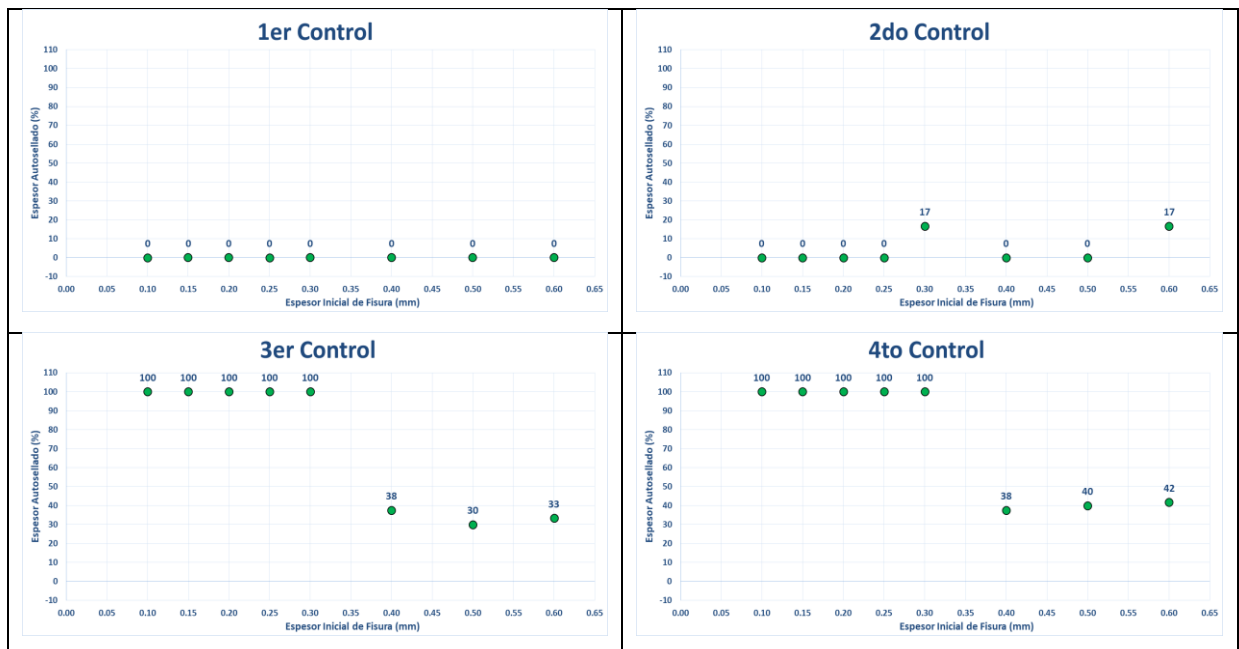
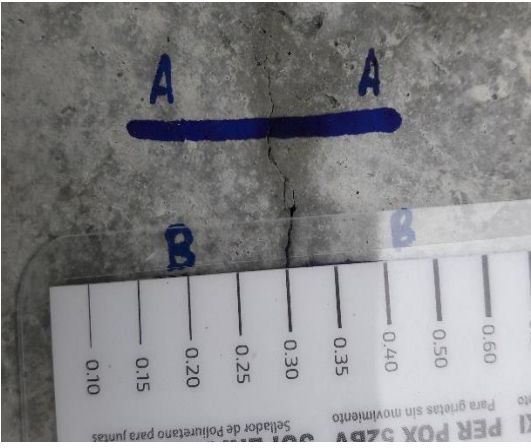
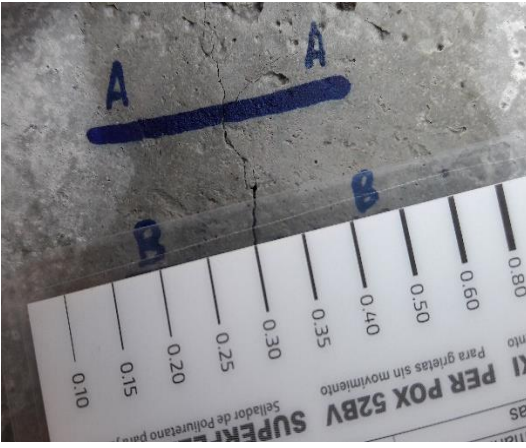
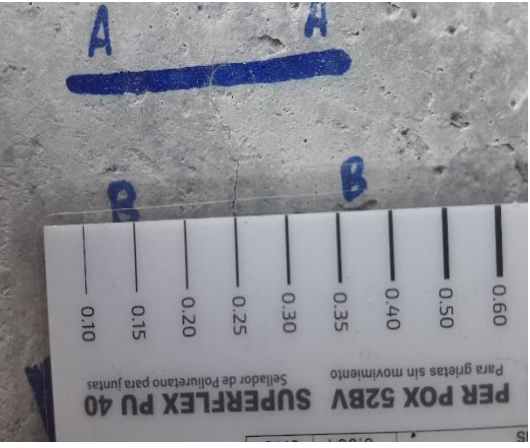
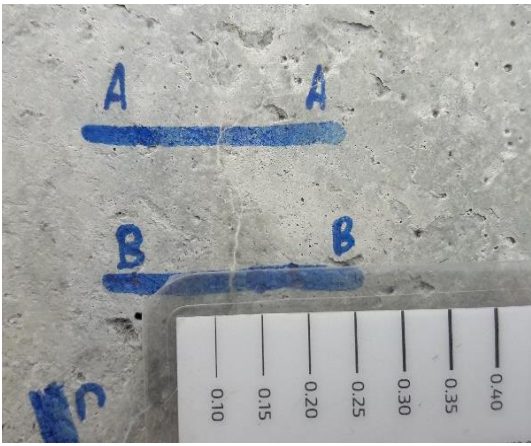
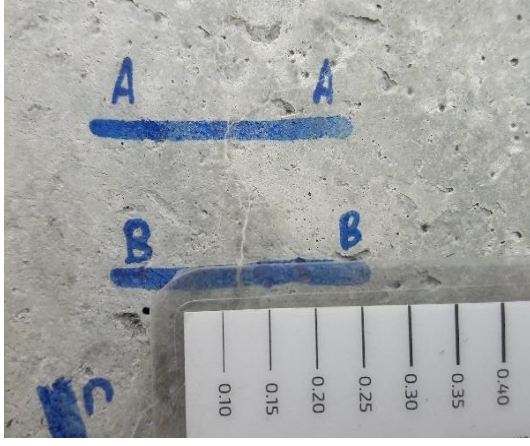


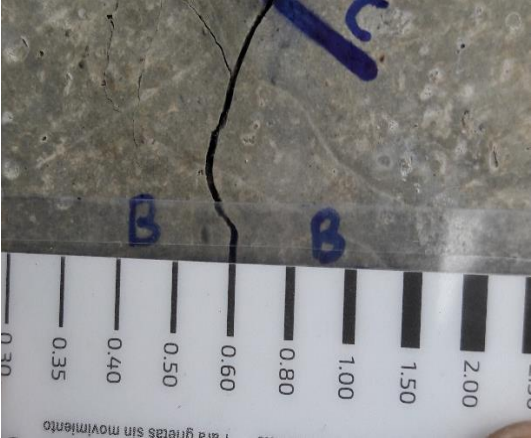


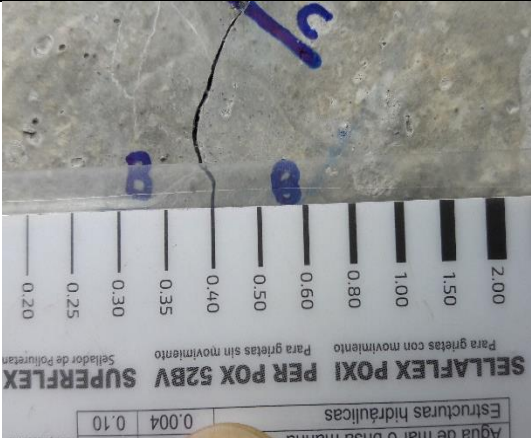
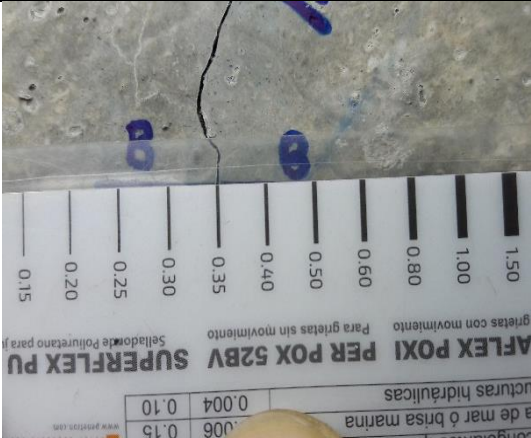
Gráfico 11. Proceso de autosellado del concreto con dosificación 1×10^9 cel/ml

Tabla 44. Proceso de autosellado de la fisura 0.3 mm en el concreto con dosificación 1×10^9 cel/ml.

| REGISTRO INICIAL | 1ER CONTROL | 2DO CONTROL |
|--|--|--|
|  |  |  |
| 3ER CONTROL | | 4TO CONTROL |
|  | |  |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 45. Proceso de autosellado de la fisura 0.6 mm en el concreto con dosificación 1×10^9 cel/ml.

| REGISTRO INICIAL | 1ER CONTROL | 2DO CONTROL |
|--|--|--|
|  <p>Initial crack width measurement. A vertical crack is visible in the concrete. A ruler is placed horizontally below the crack, showing a width of approximately 0.6 mm. Blue markings 'B' and 'C' are present on the concrete surface.</p> |  <p>First control measurement. The crack width is measured at a different point along the crack, showing a width of approximately 0.4 mm. The ruler is held by a hand.</p> |  <p>Second control measurement. The crack width is measured at another point, showing a width of approximately 0.3 mm. The ruler is held by a hand.</p> |
| 3ER CONTROL | | 4TO CONTROL |
|  <p>Third control measurement. The crack width is measured at a point showing a width of approximately 0.25 mm. The ruler is held by a hand.</p> | |  <p>Fourth control measurement. The crack width is measured at a point showing a width of approximately 0.2 mm. The ruler is held by a hand.</p> |

Fuente: Elaboración propia.

- Dosificación 1×10^{12} cel/ml

Tabla 46. Espesor de fisuras en el concreto con dosificación 1×10^{12} cel/ml

| ESPESOR DE FISURAS (mm) | | | | |
|--|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Dosificación 1×10^{12} cel/ml | | | | |
| REGISTRO INICIAL | 1 ^{er} CONTROL | 2 ^{do} CONTROL | 3 ^{er} CONTROL | 4 ^{to} CONTROL |
| 0.10 | 0.10 | 0 | 0 | 0 |
| 0.15 | 0.15 | 0 | 0 | 0 |
| 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0 | 0 |
| 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0 | 0 |
| 0.30 | 0.25 | 0.25 | 0.15 | 0.15 |
| 0.40 | 0.40 | 0.35 | 0.30 | 0.30 |
| 0.50 | 0.50 | 0.40 | 0.30 | 0.30 |
| 0.60 | 0.60 | 0.50 | 0.40 | 0.40 |

Fuente: Elaboración propia.

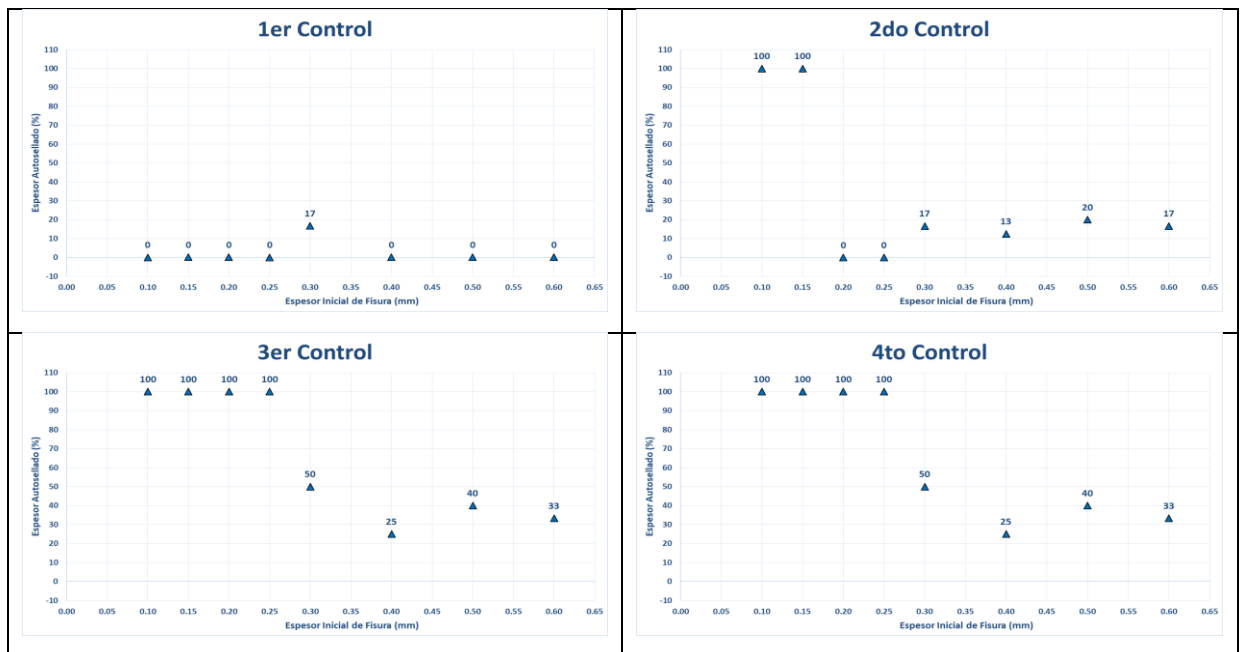
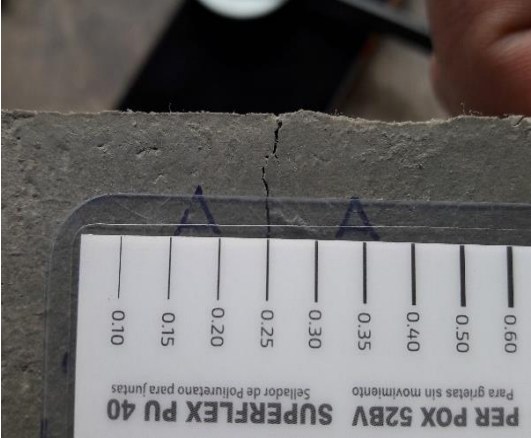
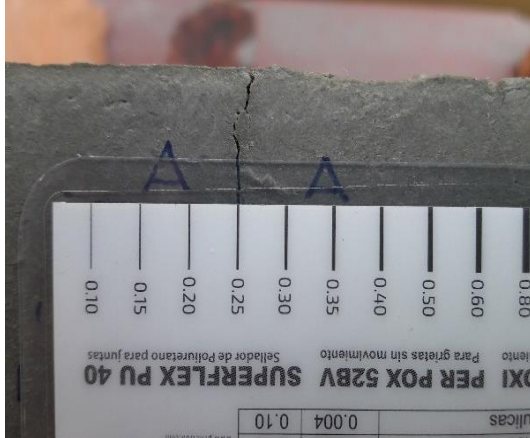
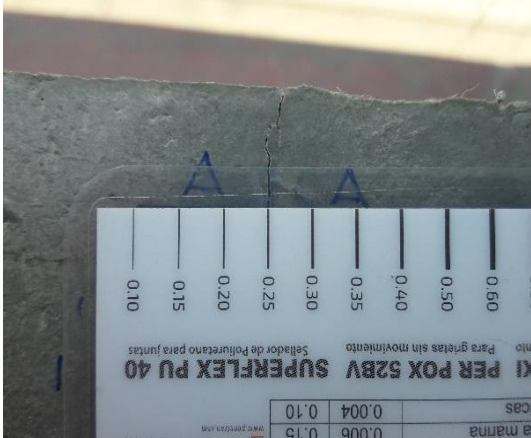
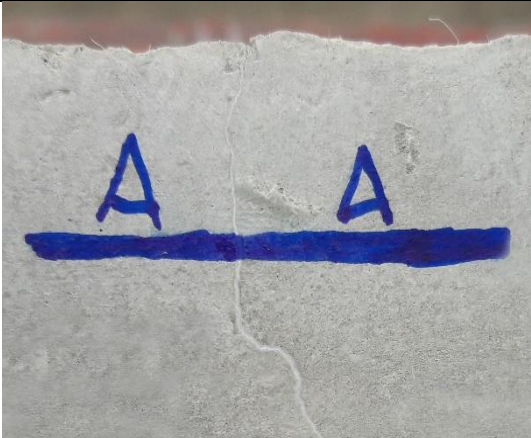
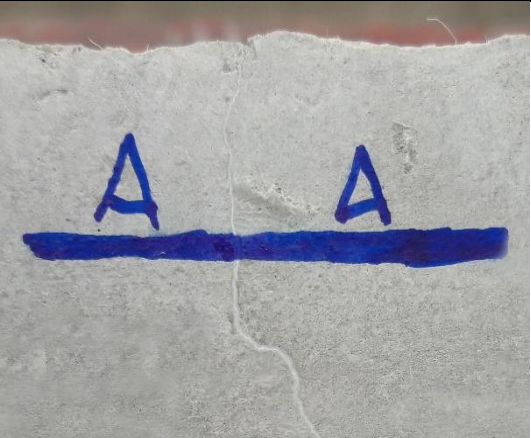


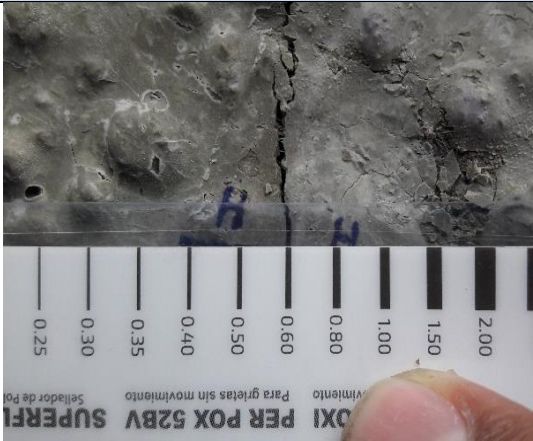


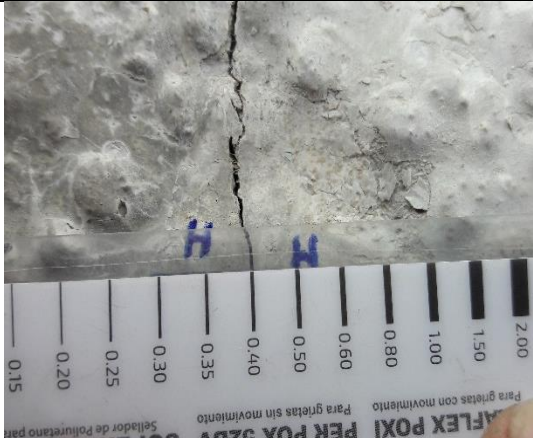
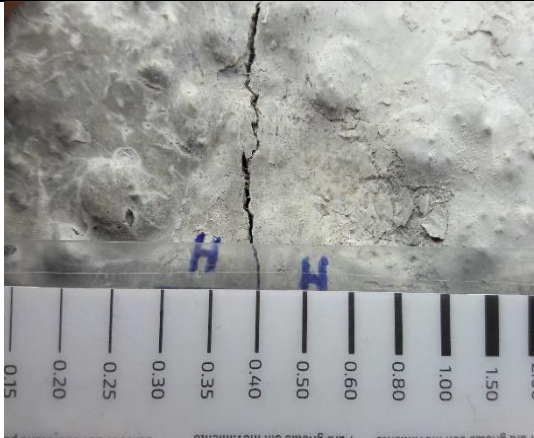
Gráfico 12. Proceso de autosellado del concreto con dosificación 1×10^{12} cel/ml

Tabla 47. Proceso de autosellado de la fisura 0.25 mm en el concreto con dosificación 1×10^{12} cel/ml.

| REGISTRO INICIAL | 1ER CONTROL | 2DO CONTROL |
|---|--|---|
|  <p>Initial crack width measurement. A ruler is placed over a crack in concrete. The crack width is approximately 0.25 mm.</p> |  <p>First control measurement. The crack width has decreased to approximately 0.15 mm.</p> |  <p>Second control measurement. The crack width has further decreased to approximately 0.10 mm.</p> |
| 3ER CONTROL | | 4TO CONTROL |
|  <p>Third control measurement. The crack width is now approximately 0.05 mm.</p> | |  <p>Fourth control measurement. The crack width is approximately 0.05 mm, showing significant self-healing.</p> |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 48. Proceso de autosellado de la fisura 0.6 mm en el concreto con dosificación 1×10^{12} cel/ml.

| REGISTRO INICIAL | 1ER CONTROL | 2DO CONTROL |
|--|--|--|
|  |  |  |
| 3ER CONTROL | | 4TO CONTROL |
|  | |  |

Fuente: Elaboración propia.

d. Control de pH

La medición de pH se desarrolló utilizando métodos analíticos debido que no se tiene una norma específica ni un procedimiento establecido para su medición en el concreto, por tal motivo se apoyó en la norma ASTM D4972 “Métodos de prueba estándar para pH de suelos”¹³.

Se tomó muestras de la matriz del concreto patrón y también de las que contenían el agente autorreparable, las muestras se trituraron hasta obtener partículas que pasen la malla N°10 (2mm), para la dilución del concreto pulverizado se utilizó una relación de 1 a 3, es decir 100 g de concreto en 300 ml de agua desionizada.

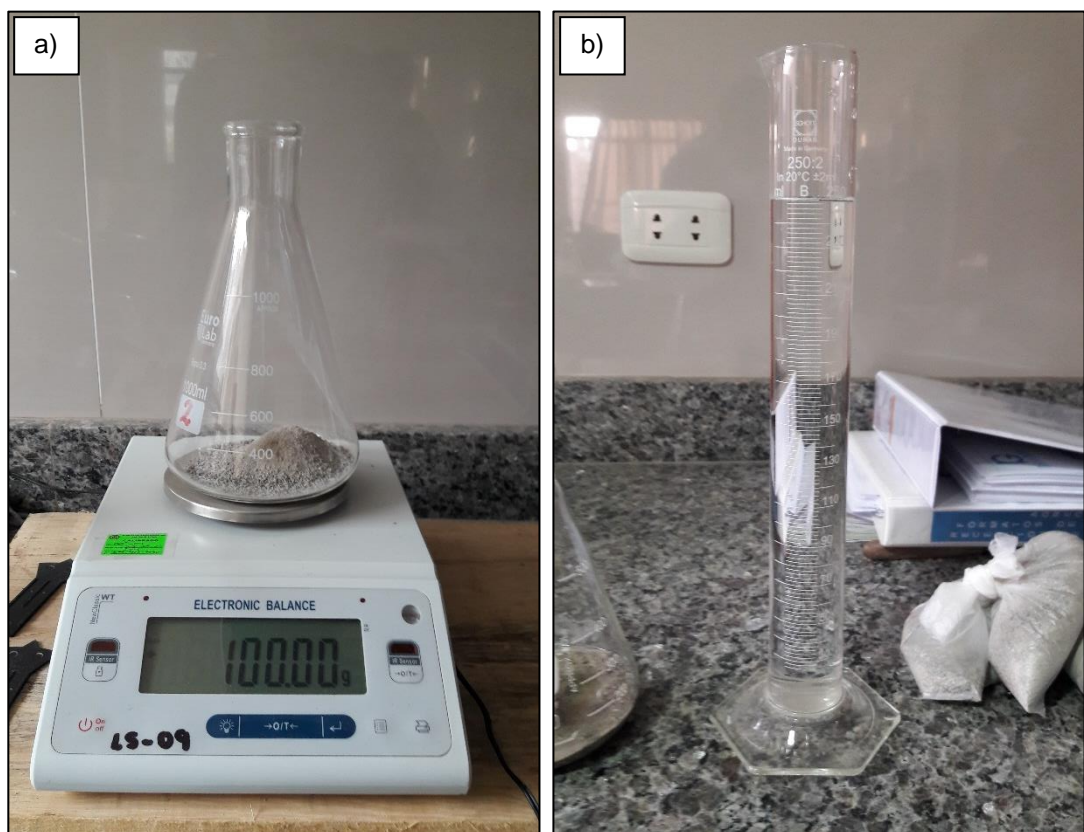


Figura 49. Materiales para lectura de pH. a) Concreto pulverizado b) Agua desionizada.

Se agitó la combinación durante 20 segundos para lograr una mezcla homogénea, posteriormente se dejó en reposo durante una hora y así lograr la sedimentación de las partículas de mayor tamaño para realizar el procedimiento de filtración.

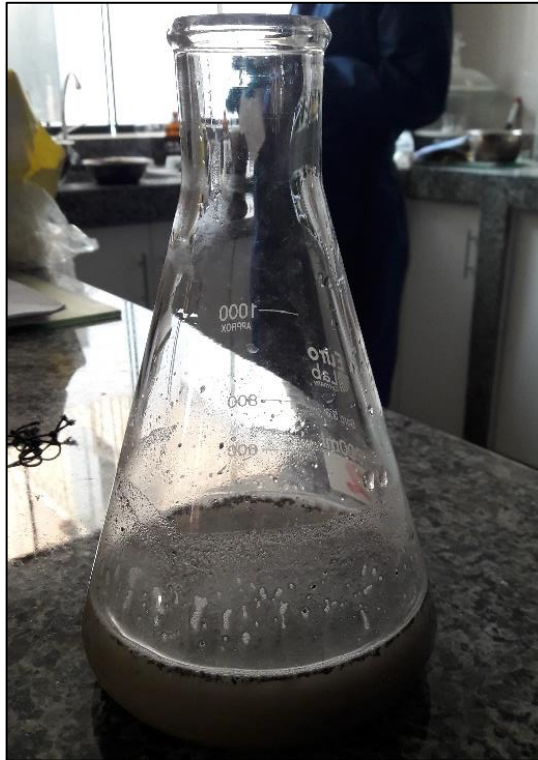


Figura 50. Sedimentación de muestra.



Figura 51. Filtración

Culminado la obtención de la muestra, se procedió con la calibración del peachímetro, para ello se utilizó una solución buffer de pH7 y seguidamente se realizó las lecturas correspondientes, se debe tener en cuenta que para cada utilización del peachímetro se debe limpiar el electrodo en agua desionizada previamente a la medición.



Figura 52. Peachímetro



Figura 53. Solución Buffer pH7

- Concreto Patrón

Tabla 49. Lectura de pH del concreto patrón

| CONCRETO PATRÓN | | |
|-----------------|-------|----------|
| Descripción | pH | Promedio |
| Muestra 1 | 12.78 | 12.79 |
| Muestra 2 | 12.79 | |

Fuente: Elaboración propia.



Figura 54. Lectura de pH del concreto patrón

- Dosificación 1×10^9 cel/ml

Tabla 50. Lectura de pH del concreto con dosificación 1×10^9 cel/ml

| DOSIFICACIÓN 1×10^9 CEL/ML | | |
|-------------------------------------|-------|----------|
| Descripción | pH | Promedio |
| Muestra 1 | 12.68 | 12.74 |
| Muestra 2 | 12.79 | |

Fuente: Elaboración propia.



Figura 55. Lectura de pH del concreto con dosificación 1×10^9 cel/ml

- Dosificación 1×10^9 cel/ml

Tabla 51. Lectura de pH del concreto con dosificación 1×10^{12} cel/ml

| DOSIFICACIÓN 1×10^{12} CEL/ML | | |
|--|-------|----------|
| Descripción | pH | Promedio |
| Muestra 1 | 12.76 | 12.79 |
| Muestra 2 | 12.82 | |

Fuente: Elaboración propia.



Figura 56. Lectura de pH del concreto con dosificación 1×10^{12} cel/ml

4.2. Resultados

Indicador VD1. Autosellado

Tabla 52. Resumen del autosellado.

| REGISTRO INICIAL | DOSIFICACIÓN | | | | | |
|------------------|-----------------|-----|--------------------------|-----|---------------------------|-----|
| | Concreto patrón | | 1x10 ⁹ cel/ml | | 1x10 ¹² cel/ml | |
| | mm | % | mm | % | mm | % |
| 0.10 | 0 | 100 | 0 | 100 | 0 | 100 |
| 0.15 | 0 | 100 | 0 | 100 | 0 | 100 |
| 0.20 | 0.15 | 25 | 0 | 100 | 0 | 100 |
| 0.25 | 0.20 | 20 | 0 | 100 | 0 | 100 |
| 0.30 | 0.25 | 17 | 0 | 100 | 0.15 | 50 |
| 0.40 | 0.35 | 13 | 0.25 | 38 | 0.30 | 25 |
| 0.50 | 0.50 | 0 | 0.35 | 30 | 0.30 | 40 |
| 0.60 | 0.60 | 0 | 0.40 | 33 | 0.40 | 33 |

Fuente: Elaboración propia.

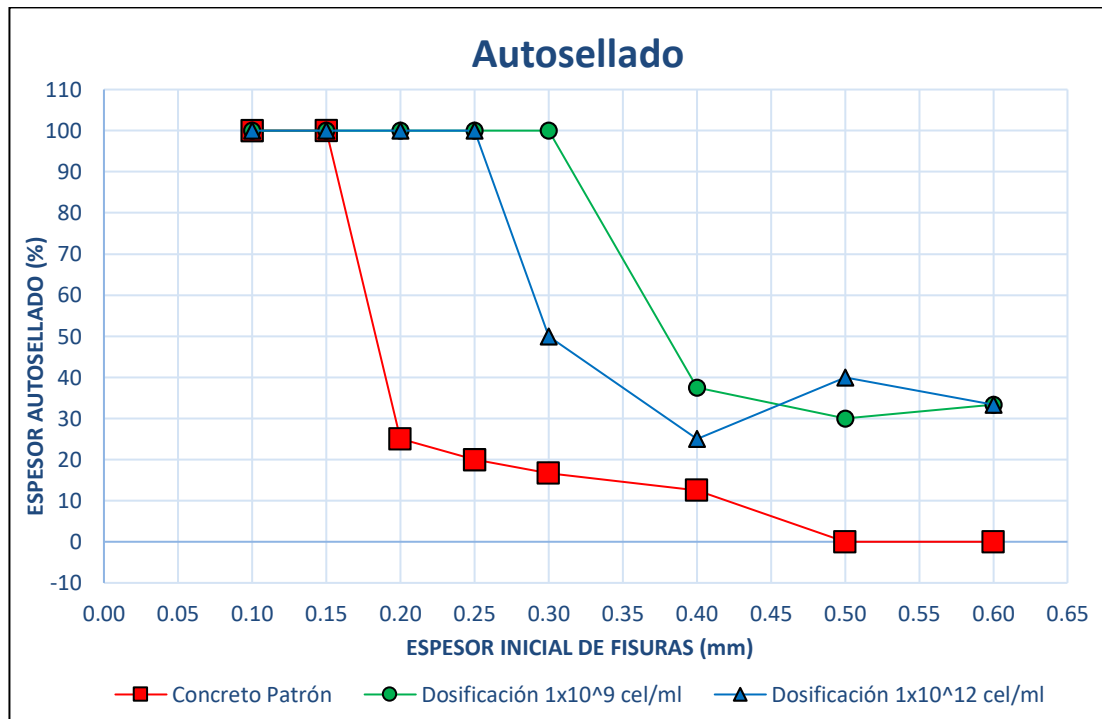


Gráfico 13. Análisis comparativo de autosellado.

Conforme a la tabla 52 y el gráfico 13, se muestran las curvas de autosellado para las distintas dosificaciones a los 28 días (4to control); para las fisuras con

un espesor de hasta 0.3 mm se tiene una capacidad de autorreparación del 100%, de 0.4 mm se tuvo una recuperación de alrededor del 30% y para mayores dimensiones se pierde el efecto, esto ocurre en concretos que contienen una concentración celular de 1×10^9 cel/ml. Con respecto a la dosificación de 1×10^{12} cel/ml se tuvo un autosellado hasta el 100% en fisuras de 0.25 mm y del 50% para fisuras cercanas a 0.3 mm, por tal motivo se evidencia que a una mayor dimensión de la fisura el porcentaje de autorreparación disminuye.

En los diseños que contienen el agente biorreparador existe una mejora en la capacidad de auto sanarse respecto al concreto patrón, ya que en este solo se logró una autorreparación de fisuras de hasta 0.15 mm a consecuencia de un sellado autógeno. El diseño que presenta un mejor comportamiento de recuperación frente a los demás es el que contiene una suspensión bacteriana de 1×10^9 cel/ml. Así mismo, señalar que la capacidad de autorreparación se dio con mayor incidencia en el 3er control tomado a la tercera semana de haberse generado las fisuras en el concreto. Es así que se acepta la hipótesis donde se señala que la incorporación de bacterias *Bacillus Subtilis* influye de manera positiva en el autosellado del concreto.

Indicador VD2. Control de pH

Tabla 53. Resumen del control de pH.

| MUESTRAS | DOSIFICACIÓN | | |
|-----------------|-----------------|--------------------------|---------------------------|
| | Concreto patrón | 1x10 ⁹ cel/ml | 1x10 ¹² cel/ml |
| 1 | 12.78 | 12.68 | 12.76 |
| 2 | 12.79 | 12.79 | 12.82 |
| Promedio | 12.79 | 12.74 | 12.79 |
| | | -0.39% | 0.00% |

Fuente: Elaboración propia.

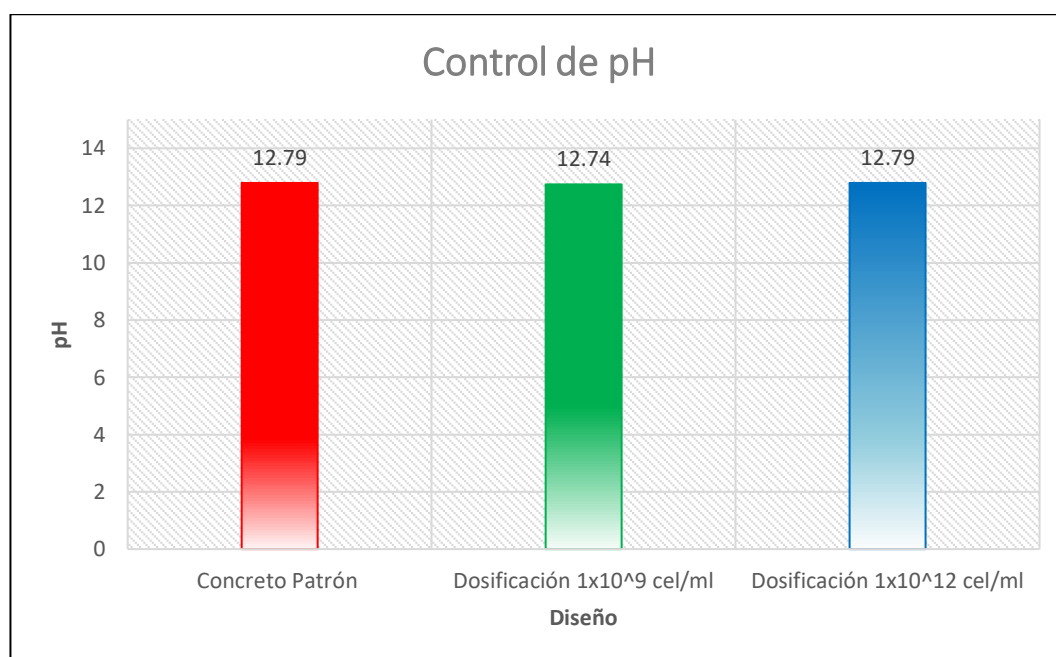


Gráfico 14. Análisis comparativo del control de pH.

Como se muestra en la tabla 53 y gráfico 14, las lecturas de pH de ambos diseños con suspensiones bacterianas se mantienen con un valor similar al concreto patrón, la única variación que se observó fue de 0.39% menor perteneciente al diseño con una concentración celular de 1x10⁹ cel/ml. Las diferencias que existen entre uno y otro son mínimas, y por tal caso no se podría considerar como un cambio por efecto del ingreso de agentes nocivos debido a que las fisuras no estuvieron expuestas el tiempo suficiente como para iniciar un proceso de carbonatación. Basados en los resultados

obtenidos, se acepta la hipótesis planteada ya que se logra mantener un pH óptimo en todos los diseños de concreto.

Indicador VD3. Resistencia a la Compresión

Tabla 54. Resumen de resistencia a la compresión.

| EDAD (días) | DOSIFICACIÓN | | |
|-------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | Concreto patrón | 1x10 ⁹ cel/ml | 1x10 ¹² cel/ml |
| 3 | 258 kg/cm ² | 231 kg/cm ² | 208 kg/cm ² |
| 7 | 266 kg/cm ² | 259 kg/cm ² | 233 kg/cm ² |
| 14 | 273 kg/cm ² | 260 kg/cm ² | 251 kg/cm ² |
| 28 | 336 kg/cm² | 273 kg/cm² | 271 kg/cm² |
| | | -18.8% | -19.3% |

Fuente: Elaboración propia.

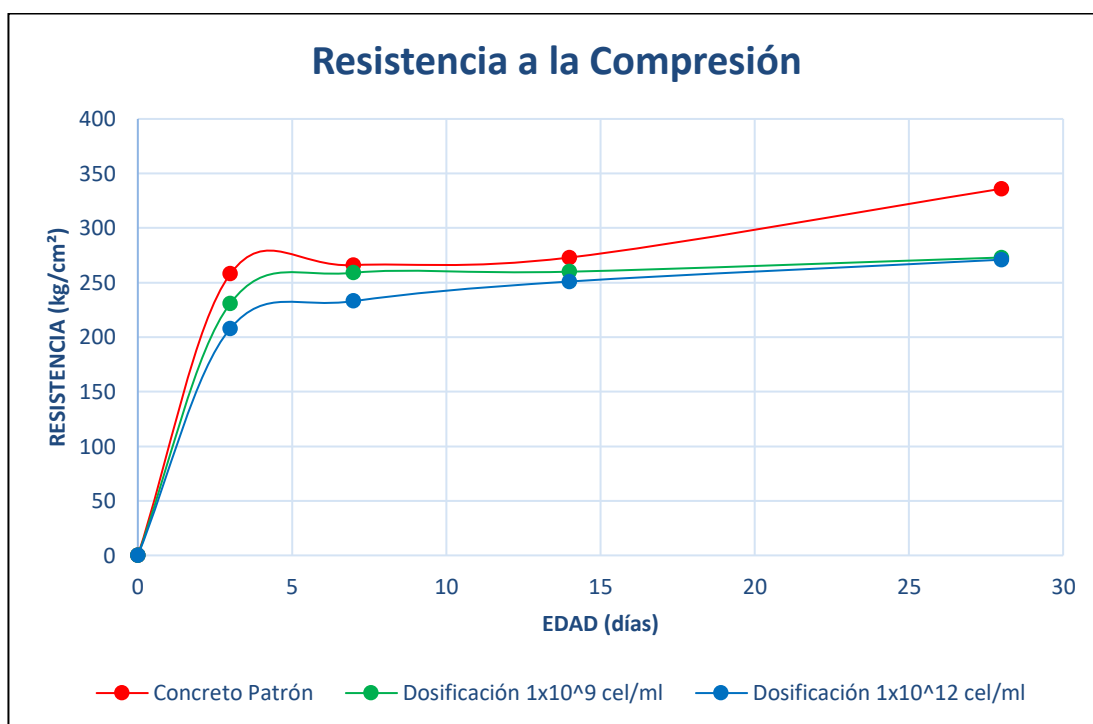


Gráfico 15. Curva comparativa de resistencia a la compresión.

De acuerdo con la tabla 54 y gráfico 15, se evidencia la obtención de altas resistencias en el concreto a tempranas edades a consecuencia del aditivo acelerante utilizado, además las sobrerresistencias obtenidas en el diseño son propias del método aplicado. En efecto, se indica que los diseños con microorganismos presentan menor capacidad de resistencia a la compresión en comparación con el concreto convencional a los 28 días de edad, la causal

más importante que induce a un descenso de resistencia es el uso de la arcilla expandida debido a que es un agregado ligero y por consecuencia un material que tiene menor soporte. Es por esta razón que los diseños con suspensiones bacterianas de 1×10^9 cel/ml y 1×10^{12} cel/ml disminuyeron en un 18.8% y 19.3% respectivamente. Por lo tanto, se determinó que la hipótesis del indicador de resistencia a la compresión se rechaza ya que no se cumplió mantener este requerimiento en el bioconcreto.

Indicador VD4. Resistencia a la Flexión

Tabla 55. Resumen de resistencia a la flexión.

| EDAD (días) | DOSIFICACIÓN | | |
|-------------|-----------------------|--------------------------|---------------------------|
| | Concreto patrón | 1x10 ⁹ cel/ml | 1x10 ¹² cel/ml |
| 3 | 47 kg/cm ² | 45 kg/cm ² | 45 kg/cm ² |
| 7 | 48 kg/cm ² | 47 kg/cm ² | 47 kg/cm ² |
| 14 | 60 kg/cm ² | 46 kg/cm ² | 48 kg/cm ² |
| 28 | 57 kg/cm ² | 49 kg/cm ² | 49 kg/cm ² |
| | | -14% | -14% |

Fuente: Elaboración propia.

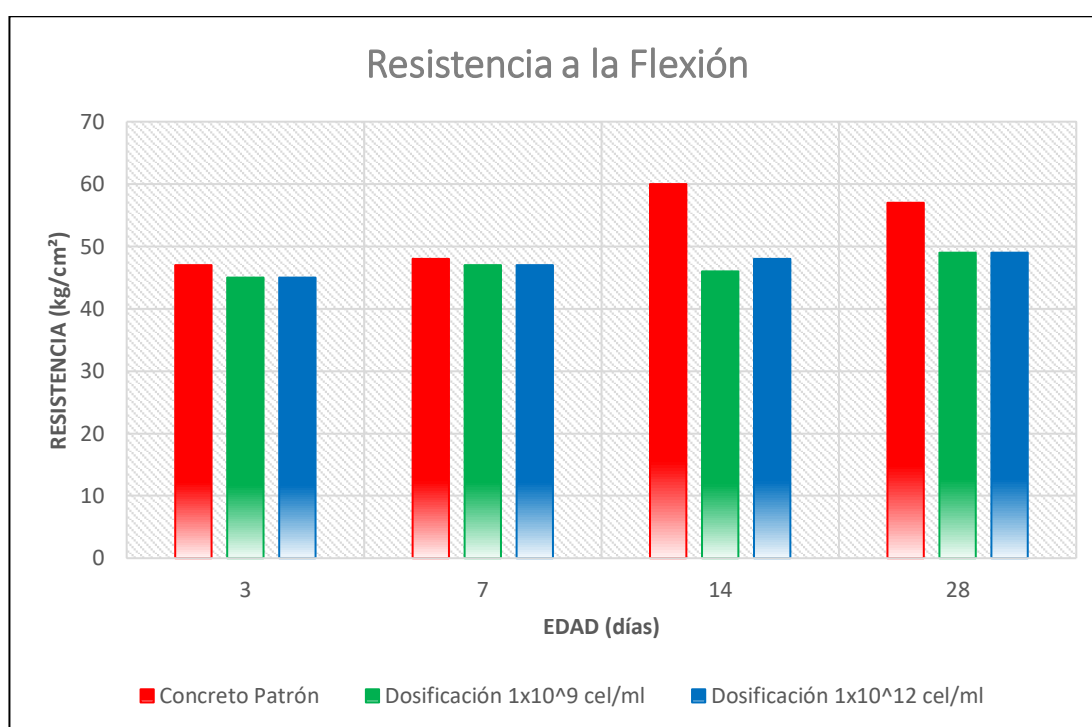


Gráfico 16. Análisis comparativo de resistencia a la flexión.

En la tabla 55 y el gráfico 16 se evidencia altas resistencias iniciales por efecto del aditivo y a su vez sobrerresistencias generales producto del diseño por el método ACI 211.1. Para la edad de 28 días se tiene una pérdida en los esfuerzos a flexión en las dosificaciones con contenido bacteriano en un 14% para ambos casos en comparación al concreto patrón, el reemplazo del agregado fino por uno más ligero hace que se presente este problema. Por

esta razón, se rechaza la hipótesis planteada inicialmente ya que no se logró aumentar la resistencia a este tipo de esfuerzos.

V. DISCUSIÓN

V. DISCUSIÓN

De los resultados obtenidos en la investigación, en el indicador de Autosellado se visualizó una autorreparación al 100% en fisuras de hasta 0.3 mm de espesor para el diseño que contenía una concentración celular de 1×10^9 cel/ml; mientras que para una dosificación de 1×10^{12} cel/ml se obtuvo la completa reparación para fisuras de 0.25 mm como máximo. Así mismo Parraguez (2018) en su tesis que se desarrolló con la bacteria del género *Bacillus* con una concentración celular de 3.53×10^8 cel/ml, alcanzó una autorreparación al 100% en fisuras de 0.38 mm utilizando el mismo sistema de encapsulación, es por esta razón que se obtuvieron resultados similares para un autosellado al 100% en fisuras de 0.3 mm en ambas investigaciones. Sin embargo, Chunxiang Qian et al. (2015) logró una autorreparación de fisuras al 100% en espesores de 0.5 mm a los 10 días de curado utilizando una concentración celular de 1×10^9 cel/ml y un sistema de aplicación directa; este aumento de sellado a comparación de la presente investigación se debe principalmente a los distintos tipos de aplicación de los microorganismos en el concreto.

En lo que se refiere al pH del concreto, se realizaron lecturas a los 28 días de haberse generado las fisuras obteniendo así resultados similares para todos los diseños con valores que rondaron los 12.79, con una única variación para el diseño que tenía una suspensión bacteriana de 1×10^9 cel/ml; algo muy parecido a la investigación realizada por Mera y Subha (2016) donde se pudo registrar valores de pH sobre 12 para muestras con aditivo bacteriano mientras que para el concreto patrón un valor de 9, datos que fueron obtenidos después de 100 días posteriores a la inducción de fisuras. Por ende las diferencias que existen entre las variaciones del pH para una investigación y la otra se deben al tiempo de exposición de las fisuras, lo que puede evidenciarse un efecto producido por carbonatación en el concreto después de 100 días en comparación a un proceso que no se pudo dar a los 28 días.

De los resultados en cuanto a resistencia a la compresión, se observó una disminución en los esfuerzos en un 18.8% y 19.3% para concretos con dosificaciones que contenían una concentración celular de 1×10^9 cel/ml y 1×10^{12} cel/ml; respectivamente. De igual manera Parraguez (2018) en su investigación

realizada con la bacteria *Bacillus Pseudofirmus* también pudo evidenciar la pérdida de resistencia a la compresión a la edad de 28 días en un 0.49% con una concentración celular inicial de 5.53×10^8 cel/ml; el poco porcentaje de reducción se debió principalmente a las características de la arcilla expandida que utilizó el autor que fueron de 0.85mm a 4.75mm en comparación nuestra que fue de 4mm a 6mm, por lo que se justifica una mínima reducción de esfuerzo a la compresión con el uso de arcilla. Por otro lado, Lagazo et al. (2019) tuvo resultados positivos para este indicador con una concentración celular de 1×10^5 cel/ml, teniendo un incremento considerable de 35.15% a los 28 días de edad, esto se debe principalmente que la adición de bacterias fue de forma directa en el concreto sin ningún medio de encapsulación o protección, por tal motivo al evitar el reemplazo de cualquiera de los agregados por uno más ligero no se incurre a una pérdida de resistencia.

En cuanto a los resultados de resistencia a la flexión, se obtuvo una disminución de esfuerzos en los dos diseños que contenían el agente biorreparador en un 14% respecto al diseño control. Sin embargo, Lagazo et al. (2019) logró un incremento en los resultados para este mismo tipo de esfuerzos en un 18.01% a los 28 días del concreto con suspensión bacteriana en comparación al concreto patrón. La diferencia entre ambas investigaciones radica en el tipo de aplicación del agente biorreparador, mientras que para el primero se utilizó arcilla expandida como sistema de encapsulación, en el segundo se realizó la adición de manera directa sin ningún medio de protección para los microorganismos; logrando así no reducir la capacidad de soportar cargas sino incrementarlas debido al contacto directo entre los componentes del concreto con una fuente de calcio pertenecientes a los nutrientes de los microorganismos.

VI. CONCLUSIONES

VI. CONCLUSIONES

1. Se ha determinado que la incorporación de bacterias *Bacillus Subtilis* utilizando dosificaciones con suspensiones bacterianas de 1×10^9 cel/ml y 1×10^{12} cel/ml; lograron autosellar fisuras al 100% con espesores máximos de 0.3 mm y 0.25 mm respectivamente, del mismo modo se pudo obtener un sellado en el concreto patrón para fisuras menores de 0.15 mm; tal como se registra en la tabla N°52 y gráfico N°13. De esta manera se determinó que la incorporación de bacterias *Bacillus Subtilis* influye positivamente al mejorar el autosellado del concreto $f'c=210$ kg/cm².
2. En este trabajo de investigación se ha determinado que la incorporación de bacterias *Bacillus Subtilis* utilizando dosificaciones con suspensiones bacterianas de 1×10^9 cel/ml y 1×10^{12} cel/ml; logran mantener óptimo el pH del concreto con valores de 12.74 y 12.79 que se muestran en la tabla N°53 y gráfico N°14. En conclusión, se determinó que la incorporación de bacterias *Bacillus Subtilis* mantiene óptimo el pH del concreto $f'c=210$ kg/cm².
3. De los resultados obtenidos se ha determinado que la incorporación de bacterias *Bacillus Subtilis* disminuyó la resistencia a la compresión en un 18.8% para la dosificación con una suspensión bacteriana de 1×10^9 cel/ml y 19.3% para 1×10^{12} cel/ml; así como se visualiza en la tabla N°54 y gráfico N°15. Es así que se determinó que la incorporación de bacterias *Bacillus Subtilis* influyó negativamente al disminuir la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210$ kg/cm².
4. Se ha determinado que la incorporación de bacterias *Bacillus Subtilis* redujo la resistencia a la flexión para las dosificaciones con suspensiones bacterianas de 1×10^9 cel/ml y 1×10^{12} cel/ml en un 14% para ambos casos; tal como se muestra en la tabla N°55 y gráfico N°16. Es por eso que, es dable llegar a la conclusión que se determinó que la incorporación de

bacterias Bacillus Subtilis influyó de manera negativa en la resistencia a la flexión del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$.

5. En síntesis, conforme a los resultados de autosellado, control de pH, resistencia a la compresión y flexión; se determina que la incorporación de bacterias Bacillus Subtilis mejora la capacidad autorreparable del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, teniendo una mayor eficiencia al adicionar la suspensión bacteriana de $1 \times 10^9 \text{ cel/ml}$.

VII. RECOMENDACIONES

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda como futura línea de investigaciones estudiar el proceso de autosellado en un lapso de tiempo mayor para poder establecer el espesor máximo que se puede autorreparar utilizando la bacteria *Bacillus Subtilis*. Así mismo, estudiar el tipo de minerales formados en las fisuras con equipos que logren su identificación.
- Para las lecturas de pH no se recomienda realizar el procedimiento a edades tempranas debido a que las fisuras no están expuestas el tiempo suficiente como para darse problemas por carbonatación, y así obtener un análisis veraz del pH para concretos con este tipo de patologías.
- Se sugiere que, para evitar la disminución de la resistencia a la compresión y flexión del concreto, se utilice como sistema de encapsulación arcillas con tamaños menores a los 4 mm, ya que se evidenció que el uso de un mayor tamaño genera pérdidas considerables de resistencia por el alto contenido de vacíos que posee.
- A partir del análisis desarrollado se aconseja utilizar concentraciones celulares iguales o menores a 1×10^9 cel/ml ya que tuvo un mejor comportamiento de autorreparación en la presente investigación. Así mismo evaluar la proporción adecuada a reemplazar el agregado fino con la arcilla expandida.

REFERENCIAS

REFERENCIAS

1. ABO-EI-ENEIN, S. et al. Application of microbial biocementation to improve the physico-mechanical properties of cement mortar. *HBRC Journal* [en línea]. 2013, Vol.9. 36-38 [fecha de consulta 20 mayo 2020]. DOI: 10.1016/j.hbrcj.2012.10.004.
2. AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (Estados Unidos). ACI 211.1-91 (Reapproved 2002), of. 02: Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete. Estados Unidos: ACI, 2002. 38 pp.
3. AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (Estados Unidos). ACI 544.1R-96 (Reapproved 2002), of. 02: Report on Fiber Reinforced Concrete. Estados Unidos: ACI, 2002. 64 pp.
4. ASENJO, Dennis. *Influencia de la incorporación del aditivo bacteriano en la reparación del proceso de fisuración controlada del concreto* [en línea]. Título de Pregrado. Universidad Nacional de Cajamarca, 2019 [consultado 20 mayo 2020]. Disponible en: <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/3243>
5. ASSOCIATION American Society for Testing and Materials (Estados Unidos). ASTM C29-17a, of. 17: Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate. Estados Unidos: ASTM, 2017. 5 pp.
6. ASSOCIATION American Society for Testing and Materials (Estados Unidos). ASTM C31-19a, of. 19: Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field. Estados Unidos: ASTM, 2019. 7 pp.
7. ASSOCIATION American Society for Testing and Materials (Estados Unidos). ASTM C39-20, of. 20: Standard Test Method for Compressive Strength Cylindrical Concrete Specimens. Estados Unidos: ASTM, 2020. 8 pp.
8. ASSOCIATION American Society for Testing and Materials (Estados Unidos). ASTM C78-18, of. 18: Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading). Estados Unidos: ASTM, 2018. 5 pp.
9. ASSOCIATION American Society for Testing and Materials (Estados Unidos). ASTM C127-15, of. 15: Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate. Estados Unidos: ASTM, 2015. 5 pp.

10. ASSOCIATION American Society for Testing and Materials (Estados Unidos). ASTM C128-15, of. 15: Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate. Estados Unidos: ASTM, 2015. 6 pp.
11. ASSOCIATION American Society for Testing and Materials (Estados Unidos). ASTM C136-19, of. 19: Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. Estados Unidos: ASTM, 2019. 5 pp.
12. ASSOCIATION American Society for Testing and Materials (Estados Unidos). ASTM C566-19, of. 19: Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying. Estados Unidos: ASTM, 2019. 3 pp..
13. ASSOCIATION American Society for Testing and Materials (Estados Unidos). ASTM D4972-19, of. 19: Standard Test Method for pH of Soils. Estados Unidos: ASTM, 2019. 6 pp.
14. BASTON, Octavian y BARNA, Octavian. Calcium lactate influence on some non-pathogenic microorganisms. *Food and environment Safety* [en línea]. 2013, agosto-setiembre, Vol.7 (3). 278-283 [fecha de consulta 18 mayo 2020]. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/274310905_CALCICIUM_LACTATE_I_NFLUENCE_ON_SOME_NON-PATHOGENIC_MICROORGANISMS
15. BREED, R., MURRAY, E. y SMITH, N. *Bergey's manual of determinative bacteriology* [en línea]. 7ª ed. Estados Unidos: The Williams & Wilkins Company, 1957 [fecha de consulta 18 mayo 2020]. Disponible en:
<https://www.biodiversitylibrary.org/page/11178148>
16. CAILLEUX, E. y POLLET, V. Investigations on the development of self-healing properties in protective coating for concrete and repair mortars. *The second international conference on self healing materials* [en línea]. 2009, Vol.1 (21). pp. 120 [fecha de consulta 16 mayo 2020]. Disponible en:
https://www.bbri.be/homepage/download.cfm?lang=en&dtype=research&doc=INVESTIGATIONS_ON_THE_DEVELOPMENT_OF_SELF_HEALING_PROPERTIES.PDF
17. CHUNXIANG Q. et al. Self-healing of early age cracks in cement-based materials by mineralization of carbonic anhydrase microorganism. *Frontiers in*

- Microbiology* [en línea]. 2015, Vol 6 (1225). [fecha de consulta 10 octubre 2020]. Doi: 10.3389/fmicb.2015.01225
18. CUADROS, J. Bioconcreto un material con vida propia. *CienciaCierta* [en línea]. 2018, julio-septiembre, (55) [fecha de consulta 15 mayo 2020]. ISSN 2683-1848.
 19. ESCOBAR, Jazmine y CUERVO, Ángela. Validez de contenido y juicio de expertos: una aproximación a su utilización. *Avances en Medición* [En línea], (6). 2008. [Fecha de consulta: 29 de octubre de 2018]. ISSN: 1692-0023 Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Jazmine_Escobar-Perez/publication/302438451_Validez_de_contenido_y_juicio_de_expertos_Una_aproximacion_a_su_utilizacion/links/59a8daecaca27202ed5f593a/Validiez-de-contenido-y-juicio-de-expertos-Una-aproximacion-a-su-utilizacion.pdf
 20. ESPITIA, Martin et al. Mechanisms of encapsulation of bacteria in self-healing concrete: review. *Dina* [en línea]. 2019, julio, Vol.86 (210). 17-22 [fecha de consulta 18 mayo de 2020]. ISSN 0012-7353.
 21. GRANADOS, Raquel y VILLAVERDE, Carmen. *Microbiología*. España: Paraninfo, 2003. ISBN 84-9732-123-5.
 22. HAMMES, F. y VERSTRAETE, W. Key roles of pH and calcium metabolism in microbial carbonate precipitation. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* [en línea]. 2002, marzo, (1). 3-7 [fecha de consulta 18 mayo 2020]. Doi: 10.4223/101-51-3562-915-5.
 23. HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, María. *Metodología de la investigación*. 6ªed. México: McGRAW-HILL Interamericana editores, S.A. de C.V, 2014. 736 pp. ISBN 978-1-4562-2696-0.
 24. JONKERS, H. Bacteria-based self-healing concrete. *Hero* [en línea]. 2011, abril, Vol.5. 1-2 [fecha de consulta 18 mayo 2020]. ISBN 1574-4078. Disponible en: <http://heronjournal.nl/56-12/1.pdf>
 25. JONKERS, Henk et al. Application of bacteria as self-healing agent for the development of sustainable concrete. *Ecological Engineering* [en línea]. 2008, diciembre, Vol.36. 230-235 [fecha de consulta 18 mayo 2020]. DOI 10.1016/j.ecoleng.2008.12.036
 26. LAKSHMI, L., Meera, C. y Eldhose, C. Durability and self-healing behaviour of bacterial impregnated concrete. *International Journal of Innovative Research*

- in Science, Engineering and Technology* [en línea]. 2016, agosto, Vol.5, (8). 14887-14892 [fecha de consulta 20 mayo 2020]. DOI: 10.15680/IJRSET.2016.0508111.
27. LAGAZO, Magil. Exploratory research using bacteria (*Bacillus Subtilis*) as a self-healing concrete: A basis for strengthening infrastructure in the Philippine Setting. *International Journal of Recent Technology and Engineering* [en línea]. 2019, junio, Vol.8, (1S4). 125-129 [fecha de consulta 20 mayo 2020]. ISSN 2277-3878.
 28. MEERA, C y SUBHA, V. Strength and durability assessment of bacteria based self-healing concrete. *International Conference on Emerging Trends in Engineering & Management* [en línea]. 2016. 1-7 [fecha de consulta 15 julio 2020]. ISSN 2278-1684. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/328927704_Strength_And_Durability_assessment_Of_Bacteria_Based_Self-Healing_Concrete
 29. MOBASHER, B. USA-Concrete construction industry-cement based materials and civil infrastructure. *CBM-CI International Workshop, Karachi, Pakistan* [en línea]. 2008, 73-90 [fecha de consulta 15 mayo 2020]. Disponible en:
file:///C:/Users/User/Downloads/USA-CONCRETE_CONSTRUCTION_INDUSTRY-CEMEN.pdf
 30. MONTEJO, Julián. *Bio precipitación de carbonato de calcio: Una alternativa para la reparación de fisuras en concreto* [en línea]. Tesis de Pregrado. Universidad de los Andes, Bogotá, 2015. [consultado 18 mayo 2020]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/1992/17788>
 31. MONTOYA, Carolina et al. Caracterización de cristales de calcita bioprecipitada por un aislamiento nativo de *Bacillus Subtilis*. *Revista Colombiana de Biotecnología* [en línea]. 2005, junio, Vol.7 (2). 19-25 [fecha de consulta 18 mayo 2020]. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/26851883_Caracterizacion_de_cristales_de_calcita_bioprecipitada_por_un_aislamiento_nativo_de_Bacillus_subtilis
 32. MUNTASIR, Hassan, MANJIT, Kous y AZMAT, Hussain. Self-healing of concrete using bio-influenced techniques. *International Journal of Innovative*

- Research in Science, Engineering and Technology* [en línea]. 2018, julio, Vol.7 (7). 210-220 [fecha de consulta 20 mayo 2020]. ISSN 2278-0181.
33. OTZEN, Tamara y MANTEROLA, Carlos. Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. *Sampling Techniques on a Population Study* [en línea]. 2017, Vol.35 (1). 227-232 [fecha de consulta 07 junio 2020]. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ijmorphol/v35n1/art37.pdf>
 34. PARRAGUEZ, Araceli. *Estudio sobre el rendimiento de bacterias como agente de auto-reparación en el hormigón bajo diferentes condiciones de temperatura y tipo de cemento* [en línea]. Tesis de pregrado. Universidad Técnica Federico Santa María, Chile, 2018. [Consultado 18 mayo 2020]. Disponible en: <https://repositorio.usm.cl/handle/11673/43497>
 35. PASQUEL, Enrique. El origen de las fallas en las obras con concreto y el costo de la prevención vs la oportunidad de reparación. *Costos* [en línea]. 2016, setiembre, (270). 46-49 [fecha de consulta 16 mayo 2020]. Disponible en: https://issuu.com/costos1/docs/armado_edicion_270_setiembre_2016_-
 36. PONCE, Carla, HUAMANI, Smith y SÁNCHEZ, Eddie. Los beneficios del uso de bacterias en el concreto autorregenerante. *Civilizate* [en línea]. 2015, (7) [fecha de consulta 16 mayo 2020]. Disponible en: <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/civilizate/article/view/16153/16575>
 37. ROJAS, Raul. *Guía para realizar investigaciones sociales*. 8ª ed. México: Plaza y Valdéz Editores, 2013. ISBN 968-856-262-5
 38. RUDIGER, Albin. Determinación del pH en diversas especies de los renovales de la Provincia de Valdivia. *Bosques* [en línea]. 1975, Vol.1 (1). 3-5 [fecha de consulta 18 mayo 2020]. Doi: 10.4206/bosque.1975.v1n1-02.
 39. SÁNCHEZ, Diego. *Tecnología del concreto y del mortero*. 3ª ed. Bogotá: Bhandar Editores, 2001. ISBN 95-892-4704-0
 40. SEIFAN, M y otros. Mechanical properties of self-healing concrete containing immobilized bacteria with iron oxide nanoparticles. *Applied Microbiology and Biotechnology* [en línea]. 2018, mayo, Vol.102. 4489-4498 [fecha de consulta 18 mayo 2020]. Doi: 10.1007/s00253-018-8913-9.
 41. TAM, Jorge, VERA, Giovanna y OLIVEROS, Ricardo. Tipos, métodos y estrategias de investigación científica. *Pensamiento y Acción* [en línea]. 2008, (5). 145-154 [fecha de consulta 19 mayo 2020]. Disponible en:

http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/articulos/imarpe/oceanografia/adj_mod_ela_pa-5-145-tam-2008-investig.pdf

42. TOIRAC, José. Patologías de la construcción grietas y fisuras en obras de hormigón; origen y prevención. *Ciencia y sociedad* [en línea]. 2004, enero-marzo, Vol.29 (1). 72-114 [fecha de consulta 19 mayo 2020]. ISSN 0378-7680
43. ÚBEDA, Cristina. *Estudio comparativo de hormigones autosellantes* [en línea]. Tesis de Posgrado. Universidad Politécnica Madrid, 2014. [consultado 18 mayo 2020]. Disponible en:
http://oa.upm.es/32197/1/Tesis_master_Cristina_Ubeda_Bernabe.pdf
44. VÁZQUEZ, Edgar y ROJAS, Tania. *pH: Teoría y 232 problemas*. México: Universidad Autónoma Metropolitana, 2016. ISBN 9978-607-28-0689-4.
45. VILLAVICENCIO, Ebingen et al. ¿Cómo plantear las variables de una Investigación?: Operacionalización de las variables. *OACTIVA UC Cuenca* [en línea]. 2019, Vol. 4, (1). 9-14 [fecha de consulta 2 mayo 2020]. ISSN 2588-0624.

ANEXOS

Tabla de Anexos

| N° | DESCRIPCIÓN |
|-----|--|
| 1. | Matriz de Operacionalización |
| 2. | Matriz de Consistencia |
| 3. | Ficha técnica N°1 – Autosellado |
| 4. | Ficha técnica N°2 – Control de pH |
| 5. | Ficha técnica N°3 – Resistencia a la Compresión |
| 6. | Ficha técnica N°4 – Resistencia a la Flexión |
| 7. | Ficha técnica del Buffer pH7 – Calibrador del peachímetro |
| 8. | Certificado de calibración – Máquina de Compresión |
| 9. | Ficha técnica de la bacteria Bacillus Subtilis 1×10^9 cel/ml |
| 10. | Ficha técnica de la bacteria Bacillus Subtilis 1×10^{12} cel/ml |
| 11. | Ficha técnica de Arcilla Expandida |
| 12. | Ficha técnica del aditivo acelerante de resistencia |
| 13. | Ficha técnica de fibra de polipropileno |
| 14. | Certificados del laboratorio |
| 15. | Panel Fotográfico |
| 16. | Captura de pantalla del porcentaje de similitud por Turnitin |

ANEXO 1. Matriz de Operacionalización

| MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN | | | | | | |
|---|---|--|-----------------|---|-------------------------------|-------------|
| TÍTULO | "INCORPORACIÓN DE BACTERIAS BACILLUS SUBTILIS PARA MEJORAR LA CAPACIDAD AUTORREPARABLE DEL CONCRETO F'c=210kg/cm ² , LIMA - 2020." | | | | | |
| VARIABLES | DEFINICIÓN CONCEPTUAL | DEFINICIÓN OPERACIONAL | DIMENSIONES | INDICADORES | ESCALAS / NIVELES DE MEDICIÓN | INSTRUMENTO |
| INCORPORACIÓN DE BACTERIAS BACILLUS SUBTILIS | Según Jonkers (2011), la adición de agentes biológicos está basada en la inmersión de microorganismos en el concreto durante el proceso de mezcla, con el propósito de producir biomineralización generado por el proceso metabólico de los agentes bacterianos, la adición puede darse mediante dos formas; directa y/o encapsulado. (p.231) | Se adquirió las bacterias Bacillus Subtilis en dos concentraciones; 1x10 ⁹ y 1x10 ¹² cél/ml, posteriormente se hizo un procedimiento de adherencia mediante la encapsulación en partículas de arcilla expandida, este proceso se desarrolló en dos etapas; en primer lugar, se impregnó el alimento para las bacterias en el agregado ligero, después de un vacío se añadió la concentración bacteriana. Finalmente se elaboraron las probetas cilíndricas y prismáticas para su posterior curado. | Nutrición | Lactato de calcio (g/l) | INTERVALO | Balanza |
| | | | | Extracto de levadura (g/l) | | |
| | | | Dosificación | 1x10 ⁹ células/ml | | ACI 211.1 |
| | | | | 1x10 ¹² células/ml | | |
| AUTORREPARACIÓN DEL CONCRETO F'c=210 kg/cm ² | Para Cuadros y otros (2019), el principio de autorreparación consiste en que si el concreto padece de algún tipo de agrietamiento éste debe poseer la capacidad de sellarse a si mismo, esto quiere decir que no deberá haber intervención humana ni de algún agente externo en la matriz de concreto. (p.29) | Para medir la capacidad de autosellado, las probetas se sometieron a una inducción de fisuras, este procedimiento se desarrolló como un ensayo de flexión. Para los ensayos de resistencia a la compresión se realizó según la ASTM C39 y para la resistencia a la flexión la ASTM C78. Durante el transcurso de cuatro semanas se hizo un seguimiento de todo el proceso de autosellado de los especímenes fisurados para posteriormente realizar el control de pH del concreto. | Autorreparación | Autosellado (%) | INTERVALO | Fisurómetro |
| | | | | Control de pH | | Peachímetro |
| | | | Resistencia | Resistencia a la Compresión (kg/cm ²) | | ASTM C39 |
| | | | | Resistencia a la Flexión (kg/cm ²) | | ASTM C78 |

ANEXO 2. Matriz de Consistencia

| MATRIZ DE CONSISTENCIA | | | | | | |
|---|---|--|---|--|---|-----------------|
| TÍTULO | "INCORPORACIÓN DE BACTERIAS BACILLUS SUBTILIS PARA MEJORAR LA CAPACIDAD AUTORREPARABLE DEL CONCRETO F'c=210kg/cm², LIMA - 2020." | | | | | |
| PROBLEMAS | OBJETIVOS | HIPÓTESIS | VARIABLES | DIMENSIONES | INDICADORES | |
| PROBLEMA GENERAL | OBJETIVO GENERAL | HIPÓTESIS GENERAL | V. INDEPENDIENTE | | | |
| ¿EN QUÉ MANERA LA INCORPORACIÓN DE BACTERIAS BACILLUS SUBTILIS MEJORARÁ LA CAPACIDAD AUTORREPARABLE DEL CONCRETO F'c=210 kg/cm², LIMA - 2020? | DETERMINAR EN QUE MANERA LA INCORPORACIÓN DE BACTERIAS BACILLUS SUBTILIS MEJORARÁ LA CAPACIDAD AUTORREPARABLE DEL CONCRETO F'c=210 kg/cm², LIMA - 2020. | LA INCORPORACIÓN DE BACTERIAS BACILLUS SUBTILIS MEJORARÁ LA CAPACIDAD AUTORREPARABLE DEL CONCRETO F'c=210 kg/cm², LIMA - 2020. | INCORPORACIÓN DE BACTERIAS BACILLUS SUBTILIS | NUTRICIÓN | LACTATO DE CALCIO (g/l) EXTRACTO DE LEVADURA (g/l) | |
| | | | | DOSIFICACIÓN | 1x10 ⁹ células/ml 1x10 ¹² células/ml | |
| PROBLEMAS ESPECÍFICOS | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | HIPÓTESIS ESPECÍFICOS | | V. DEPENDIENTE | | |
| ¿EN QUÉ MEDIDA LA INCORPORACIÓN DE BACTERIAS BACILLUS SUBTILIS INFLUIRÁ EN EL A AUTOSELLADO DEL CONCRETO F'c=210 kg/cm² ? | DETERMINAR EN QUE MEDIDA LA INCORPORACIÓN DE BACTERIAS BACILLUS SUBTILIS INFLUIRÁ EN EL A AUTOSELLADO DEL CONCRETO F'c=210 kg/cm². | LA INCORPORACIÓN DE BACTERIAS BACILLUS SUBTILIS INFLUIRÁ DE MANERA POSITIVA EN EL A AUTOSELLADO DEL CONCRETO F'c=210 kg/cm². | | AUTORREPARACIÓN DEL CONCRETO F'c=210 kg/cm² | AUTORREPARACIÓN | AUTOSELLADO (%) |
| ¿EN QUÉ MEDIDA LA INCORPORACIÓN DE BACTERIAS BACILLUS SUBTILIS MANTENDRÁ ÓPTIMO EL PH DEL CONCRETO F'c=210 kg/cm²? | DETERMINAR EN QUE MEDIDA LA INCORPORACIÓN DE BACTERIAS BACILLUS SUBTILIS MANTENDRÁ ÓPTIMO EL PH DEL CONCRETO F'c=210 kg/cm². | LA INCORPORACIÓN DE BACTERIAS BACILLUS SUBTILIS MANTENDRÁ ÓPTIMO EL PH DEL CONCRETO F'c=210 kg/cm². | CONTROL DE PH | | | |
| ¿EN QUÉ MEDIDA LA INCORPORACIÓN DE BACTERIAS BACILLUS SUBTILIS INFLUIRÁ EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO F'c=210 kg/cm²? | DETERMINAR EN QUÉ MEDIDA LA INCORPORACIÓN DE BACTERIAS BACILLUS SUBTILIS INFLUIRÁ EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO F'c=210 kg/cm² . | LA INCORPORACIÓN DE BACTERIAS BACILLUS SUBTILIS INFLUIRÁ DE MANERA POSITIVA EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO F'c=210 kg/cm². | RESISTENCIA | | RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm²) | |
| ¿EN QUÉ MEDIDA LA INCORPORACIÓN DE BACTERIAS BACILLUS SUBTILIS INFLUIRÁ EN LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO F'c=210 kg/cm²? | DETERMINAR EN QUÉ MEDIDA LA INCORPORACIÓN DE BACTERIAS BACILLUS SUBTILIS INFLUIRÁ EN LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO F'c=210 kg/cm² . | LA INCORPORACIÓN DE BACTERIAS BACILLUS SUBTILIS INFLUIRÁ DE MANERA POSITIVA EN LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO F'c=210 kg/cm². | RESISTENCIA | | RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (kg/cm²) | |
| | | | | | | |

ANEXO 3. Ficha Técnica N°1 – Autosellado



AUTOSELLADO

| | | | |
|----------------|---|--------------|--|
| Tesis | "INCORPORACIÓN DE LA BACTERIA BACILLUS SUBTILIS PARA MEJORAR LA CAPACIDAD AUTORREPARABLE DEL CONCRETO F'c=210 KG/CM ² , LIMA - 2020" | | |
| Autores | Ruiz Humareda, Anguiela Nikol | Fecha | |
| | Valverde Tapia, Emir Paul | | |

| DOSIFICACIÓN | N° PROBETA | N° FISURA |
|----------------------------------|------------|---------------------------------------|
| IMAGEN | | CORTE A |
| | | ESPESOR AUTOSELLADO |
| | | Inicial : mm |
| | | Control : mm |
| | | Δ mm |
| | | PORCENTAJE |
| | | Inicial : % |
| Control : % | | |
| IMAGEN | | CORTE B |
| | | ESPESOR AUTOSELLADO |
| | | Inicial : mm |
| | | Control : mm |
| | | Δ mm |
| | | PORCENTAJE |
| | | Inicial : % |
| Control : % | | |
| IMAGEN | | CORTE C |
| | | ESPESOR AUTOSELLADO |
| | | Inicial : mm |
| | | Control : mm |
| | | Δ mm |
| | | PORCENTAJE |
| | | Inicial : % |
| Control : % | | |

Validación por juicio de expertos:

| | | | | | |
|--|-------|--|--------|--|-------|
| Bandozú Romero Lenin Miguel | | Rique Pérez Gustavo Jeronimas | | Sagura Pérez Carlos Manuel | |
| Lenin Miguel Bandozú Romero INGENIERO CIVIL Reg. CIP. N° 75361 | | GUSTAVO JEREMIAS RIQUE PEREZ INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 138318 | | Carlos Manuel Sagura Pérez INGENIERO CIVIL REGISTRO C.I.P. 12345 | |
| CIP | 75361 | CIP | 138318 | CIP | 32385 |
| Puntaje | 1 | Puntaje | 1 | Puntaje | 1 |
| Puntaje Total | | | 1 | | |

ANEXO 4. Ficha Técnica N°2 – Control de pH



CONTROL DE PH

| | | | |
|----------------|--|--------------|--|
| Tesis | "INCORPORACIÓN DE LA BACTERIA BACILLUS SUBTILIS PARA MEJORAR LA CAPACIDAD AUTORREPARABLE DEL CONCRETO F' _c =210 KG/CM ² , LIMA - 2020" | | |
| Autores | Ruiz Humareda, Anguiela Nikol | Fecha | |
| | Valverde Tapia, Emir Paul | Norma | |

| Escala de pH | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|---------------------|---|-------------------|---|--------|---|----------------------|---|------------------------|----|--------------|----|----|----|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| Muy ácido | Moderadamente ácido | | Ligeramente ácido | | Neutro | | Ligeramente alcalino | | Moderadamente alcalino | | Muy alcalino | | | |

| | PRUEBA 1 | PRUEBA 2 |
|----------------------|------------|------------|
| D₀ | FOTOGRAFÍA | FOTOGRAFÍA |
| D₁ | FOTOGRAFÍA | FOTOGRAFÍA |
| D₂ | FOTOGRAFÍA | FOTOGRAFÍA |

| DOSIFICACIÓN | CONCENTRACIÓN BACTERIANA | PRUEBA 1 | PRUEBA 2 | PROMEDIO |
|----------------|--------------------------|----------|----------|----------|
| D ₀ | | | | |
| D ₁ | | | | |
| D ₂ | | | | |

Validación por juicio de expertos:

| Bendezu Romero Lenin Miguel | | Rique Perez Gustavo Jeremías | | Segura Pérez Carlos Manuel | |
|---|-------|--|--------|--|-------|
| | | | | | |
| Lenin Miguel Bendezu INGENIERO CIVIL Reg. CIP. N° 75361 | | GUSTAVO JEREMIAS RIQUE PEREZ INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 138318 | | Carlos Manuel Segura Pérez INGENIERO CIVIL REGISTRO C.I.P. 32385 | |
| CIP | 75361 | CIP | 138318 | CIP | 32385 |
| Puntaje | 1 | Puntaje | 1 | Puntaje | 1 |
| | | | | Puntaje Total | 1 |

ANEXO 5. Ficha Técnica N°3 – Resistencia a la Compresión



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

| | | | |
|----------------|---|--------------|----------------------|
| Tesis | "INCORPORACIÓN DE LA BACTERIA BACILLUS SUBTILIS PARA MEJORAR LA CAPACIDAD AUTORREPARABLE DEL CONCRETO F'c=210 KG/CM ² , LIMA - 2020" | | |
| Autores | Ruiz Humareda, Anguiela Nikol | Fecha | |
| | Valverde Tapia, Emir Paul | Norma | ASTM C39 / C39M - 20 |

Esquema de los patrones de tipos de fractura

| | | | | | |
|--|--|---|---|--|--|
| <p>25 mm (1 pulgada)</p> | | | | | |
| <p>Tipo 1 Conos razonablemente bien formados en ambos extremos, fisuras a través de los cabezales de menos de 25 mm (1 pulgada)</p> | <p>Tipo 2 Conos bien formados en un extremo, fisuras verticales a través de los cabezales, cono no bien definido en el otro extremo</p> | <p>Tipo 3 Fisuras verticales encolumnadas a través de ambos extremos, conos mal formados</p> | <p>Tipo 4 Fractura diagonal sin fisuras a través de los extremos; golpee suavemente con un martillo para distinguirla del Tipo 1</p> | <p>Tipo 5 Fracturas en los lados en las partes superior o inferior (ocurre comúnmente con cabezales no adheridos)</p> | <p>Tipo 6 Similar a Tipo 5 pero el extremo del cilindro es puntiagudo</p> |

DOSIFICACIÓN

| EDAD | N° | TIPO | CARGA MÁXIMA | ÁREA (mm ²) | F'c (MPa) | PROMEDIO (Mpa) | % |
|---------|------|------|--------------|-------------------------|-----------|----------------|---|
| 3 días | P.01 | | | | | | |
| | P.02 | | | | | | |
| | P.03 | | | | | | |
| 7 días | P.01 | | | | | | |
| | P.02 | | | | | | |
| | P.03 | | | | | | |
| 14 días | P.01 | | | | | | |
| | P.02 | | | | | | |
| | P.03 | | | | | | |
| 28 días | P.01 | | | | | | |
| | P.02 | | | | | | |
| | P.03 | | | | | | |

Validación por juicio de expertos:

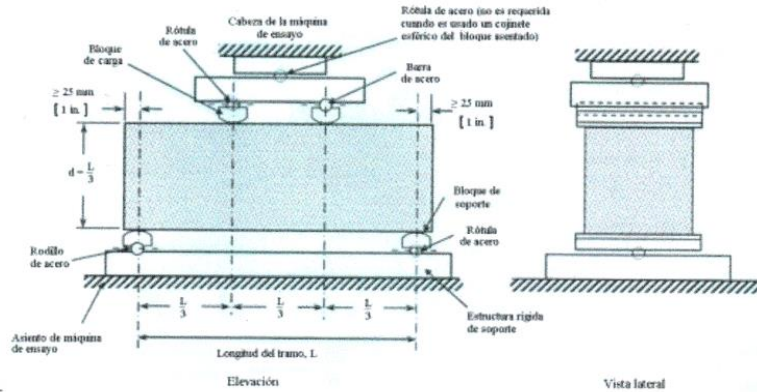
| | | | | | |
|---|-------|--|--------|---|-------|
| Bandeza Romero Lenin Miguel | | Riquie Perez Gustavo Jaramias | | Segura Perez Carlos Manuel | |
| <p>Lenin Miguel Romero INGENIERO CIVIL Reg. CIP. N° 75008</p> | | <p>GUSTAVO JEREMIAS RIQUE PEREZ INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 138319</p> | | <p>Carlos Manuel Segura Pérez INGENIERO CIVIL REGISTRO C.I.P. 32385</p> | |
| CIP | 75361 | CIP | 138318 | CIP | 32385 |
| Puntaje | 1 | Puntaje | 1 | Puntaje | 1 |
| Puntaje Total | | Puntaje Total | | Puntaje Total | |
| | | | | 1 | |

ANEXO 6. Ficha Técnica N°4 – Resistencia a la Flexión



RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

| | | | |
|----------------|---|--------------|----------------------|
| Tesis | "INCORPORACIÓN DE LA BACTERIA BACILLUS SUBTILIS PARA MEJORAR LA CAPACIDAD AUTORREPARABLE DEL CONCRETO F'c=210 KG/CM ² , LIMA - 2020" | | |
| Autores | Ruiz Humareda, Anguiela Nikol | Fecha | |
| | Valverde Tapia, Emir Paul | Norma | ASTM C78 / C78M - 18 |



| DOSIFICACIÓN | | | | | | |
|--------------|------------|--------------|----------------|----------|----------------|---|
| EDAD | N° | CARGA MÁXIMA | LUZ LIBRE (mm) | MR (MPa) | PROMEDIO (Mpa) | % |
| 3 días | P.01 | | | | | |
| | P.02 | | | | | |
| | Fecha P.03 | | | | | |
| 7 días | P.01 | | | | | |
| | P.02 | | | | | |
| | Fecha P.03 | | | | | |
| 14 días | P.01 | | | | | |
| | P.02 | | | | | |
| | Fecha P.03 | | | | | |
| 28 días | P.01 | | | | | |
| | P.02 | | | | | |
| | Fecha P.03 | | | | | |

Validación por juicio de expertos:

| Bandeza Romero Lenin Miguel | | Rique Perez Gustavo Jeremias | | Sagura Páez Carlos Manuel | |
|--|-------|--|--------|---|-------|
| Lenin Miguel Banderuzo Romero INGENIERO CIVIL Reg. CIP. N° 75361 | | GUSTAVO JEREMIAS RIQUE PEREZ INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 138318 | | Carlos Manuel Sagura Páez INGENIERO CIVIL REGISTRO C.I.P. 32385 | |
| CIP | 75361 | CIP | 138318 | CIP | 32385 |
| Puntaje 1 | | Puntaje 1 | | Puntaje 1 | |
| Puntaje Total 1 | | | | | |

ANEXO 7. Ficha técnica del Buffer pH7 – Calibrador del peachímetro

CHEMILAB SOLUCIONES Y REACTIVOS

PROTOCOLO DE ANALISIS DEL PH 7

Patrón volumétrico para calibración de pHmetros

ESPECIFICACIONES:

APARIENCIA: REACTIVO COLOR VERDE

FAMILIA: SOLUCIONES VOLUMÉTRICAS

PRESENTACION: FRASCO X 100 ML PLASTICO NATURAL

USO: EXCLUSIVO PARA LABORATORIO

FECHA DE FABRICACION: 05/08/2020

FECHA DE VENCIMIENTO: 05/08/2022

ESPECIFICACIONES DEL REACTIVO.


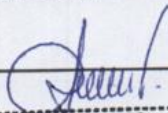

- **COMPOSICION:**
FOSFATO DE POTASIO MONOBÁSICO: 0.5 – 2.0 % FOSFATO DE SODIO DIBÁSICO: 0.5 – 2.0 % Y AGUA DEIONIZADA.
- **REACTIVO ESTABLE EN CONDICIONES NORMALES DE ALMACENAMIENTO.**

Use el equipo de seguridad personal recomendado: lentes, guantes, mandil. Limpiar inmediatamente cualquier vertido accidental con un material absorbente.

FABRICACION NACIONAL

CHEMILAB

ANEXO 8. Certificado de calibración – Máquina de Compresión

| | | | | | |
|--|--|--------------------|-------------|-------------------|------------|
| <h1>AM3</h1> | | | | | |
| AM3 Ingeniería & Negocios SAC | | | | | |
| RUC : 20513903261 | | | | | |
| Dirección : AV. Nicolás Ayllón 8510 Edif. 9 Of. 804, Lima | | | | | |
| - Lima - Ate | | | | | |
| Código Postal : Lima 03 | | | | | |
| Teléfono : 511-679 8002 | | | | | |
| Email : soportetecnico@am3.com.pe | | | | | |
| | <table border="1"><tr><td>N° de certificado:</td><td>22072020-05</td></tr><tr><td>Fecha de emisión:</td><td>22/07/2020</td></tr></table> | N° de certificado: | 22072020-05 | Fecha de emisión: | 22/07/2020 |
| N° de certificado: | 22072020-05 | | | | |
| Fecha de emisión: | 22/07/2020 | | | | |
| DATOS DEL CLIENTE | | | | | |
| Razón Social : INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. | | | | | |
| RUC : 20602979190 | | | | | |
| Dirección : MZA. A LOTE. 24 INT. 1 URB. MAYORAZGO NARANJAL 2DA ETAPA LIMA - LIMA - SAN MARTIN DE PORRES | | | | | |
| <hr/> | | | | | |
| Equipo : Máquina de Compresión Accu-Tek Touch Control PRO 250 | | | | | |
| Marca : ELE International | | | | | |
| Modelo Marco de Carga : 36-0690/06 | | | | | |
| N° de Serie Marco de Carga : 180300131 | | | | | |
| Capacidad : 1112 KN | | | | | |
| División de Escala : 0.1 KN | | | | | |
| N° de Serie Panel de Lectura : 1939-1-10045 | | | | | |
| Procedencia : USA | | | | | |
| Patrón de Trabajo : Celda ELE International Tipo: CCDHA-2000 KN-004-000, N° de Serie: 56638, Capacidad: 2000 KN, trazable al HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK GmbH - Alemania, calibrado de acuerdo a la norma ASTM E74-18, Certificado de Calibración INF-LE 013-20. | | | | | |
| Método de Verificación : ASTM E-4 "Standard Practices for Force Verification of Testing Machines" Método C | | | | | |
| Temp. Inicial (°C) : 18 | H.R. Inicial (%) 74 | | | | |
| Temp. Final (°C) : 18 | H.R. Final (%) 69 | | | | |
| Fecha de Verificación : 21/07/2020 | | | | | |
| Lugar de Verificación : Mza. A Lote. 24 Int. 1 Urb. Mayorazgo Naranjal 2da Etapa Lima - Lima - San Martín de Porres | | | | | |
| N° de Páginas : 2 | | | | | |
|  HECHO POR Emilio Malca |  ALDO MARCO MUCHA MALLAUPOMA Ingeniero Civil CIP N° 234122 REVISADO POR | | | | |
| |  | | | | |
| Este certificado de verificación solo puede ser difundido sin alteraciones posterior a la autorización asignada por AM3 Ingeniería & Negocios S.A.C. Este certificado de verificación sin firma y sello carece de validez. | | | | | |
| 1/2 | | | | | |

ANEXO 9. Ficha técnica de Bacillus Subtilis 1x10⁹ cel./ml



BIO-SUBTILIS

(**Bacillus subtilis. Concentración 1x 10⁹ UFC/ CC**)

BIO-SUBTILIS está compuesto por bacterias que controlan enfermedades foliares bacterianas y de hongos (roya, cenicilla, moho gris, mildiú y tizón) y edáficas causadas por hongos y bacterias patógenas. **BIO-SUBTILIS** contiene la bacteria benéfica *Bacillus subtilis*, que previene y cura enfermedades foliares de la planta causadas por hongos patógenos de las clases Deuteromicetes, Oomycetes y Ascomycetes, así como patógenos bacterianos como Erwinia, Xanthomonas y Pseudomonas.

BIO-SUBTILIS forma una capa protectora de toxinas naturales alrededor de la superficie de la planta inhibiendo la unión del patógeno al tejido de la planta. La capa consiste de tres grupos de lipopéptidos que detienen la germinación de las esporas de los fitopatógenos y perforan las membranas de su micelio y tubos germinativos. *Bacillus subtilis* y *bacillus spp.* También induce la resistencia natural de las plantas contra patógenos, bacterianos y fúngicos. El producto se presenta en formulación líquida.

BENEFICIOS

- Es eficaz contra patógenos resistentes a fungicidas químicos.
- No es tóxico para insectos y hongos benéficos.
- Puede ser aplicado hasta el día de la cosecha.

Bactericidas: **BIO-SUBTILIS** no es compatible con antibióticos como oxytetraciclina, estreptomicina, sulfato de gentamicina y kasugamicina, pero estos productos se pueden utilizar en un programa de rotación.

Insecticidas: Los siguientes insecticidas se pueden mezclar en el mismo tanque: Abamectina, Bacillus thuringiensis, Cryolite, Dimetoato, Imidacloprid y Spinosad. Beauveria bassiana, Paecilomyces fomesorozeus, paecilomyces lilacinu, Metarhizium anisopliae.

Adyuvantes: No se combina con adyuvantes tipo penetrantes. Las siguientes marcas compatibles pueden mezclarse en el mismo tanque: Biogrin y otros coadyuvantes de origen orgánico.

Insectos: No es tóxico para abejas melíferas, crisopas, avispas parasíticas y catarinitas.

bioalternativasac@gmail.com – www.bioalternativaeyf.com
Av. Juan Pablo II No. 172 Las Lomas de Huanchaco – Trujillo – La Libertad – Perú
Telf. (044) 418431 - 950 210 064 – 949 386 222

ANEXO 10. Ficha técnica de Bacillus Subtilis 1x10¹² cel./ml

FICHA TECNICA PROBAC BS

DATOS DE LA EMPRESA

Empresa Comercializadora : FARMAGRO S.A.
Titular de Registro : FARMAGRO S.A.
Número de Registro : PBUA N° 186-SENASA

IDENTIDAD

Composición: Bacillus subtilis Concentración:
1 x 10¹² UFC /ml como mínimo Formulación
: Suspensión concentrada
Clase de Uso: Fungicida Biológico

CARACTERÍSTICAS

Probac BS es un biofungicida mejorado fisiológicamente y genéticamente, de actividad biológica antagonista sobre hongos fitopatógenos y de adaptación a diferentes tipos de suelos, climas y pH.

Probac BS actúa sinérgicamente destruyendo el tubo germinativo y el micelio de los hongos que causan severos daños a los cultivos; su aplicación no genera riesgos de toxicidad para el hombre, organismos benéficos o el medio ambiente, siendo una alternativa efectiva en el manejo de plagas mediante control biológico.

PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS

| | |
|--------------------------------|---|
| •Densidad Relativa | : No disponible |
| •pH | : 3.0 a 7.0 |
| •Estado Físico | : Líquido |
| •Color | : Té |
| •Olor | : Característico |
| •Corrosividad | : No corrosivo |
| •Estabilidad en Almacenamiento | : Es estable bajo condiciones normales de manipulación y almacenamiento por 2 años. |

MODO DE ACCION

Probac BS es un fungicida microbiano de contacto, tiene efectos antagonistas hacia los patógenos de las plantas.

MECANISMO DE ACCION

La alta producción de biomasa incrementa su inóculo en las superficies tratadas y evita el establecimiento de enfermedades por efecto de exclusión competitiva, crea una zona de inhibición en la superficie que previene y detiene el ataque de patógenos por competencia de nutrientes y espacio.

Es capaz de generar productos metabólicos antibióticos e inducir tolerancia por activación de genes defensivos de las plantas.

ANEXO 11. Ficha técnica de Arcilla Expandida



ARGEX® 2-4

DOC 04.01-002 REV00

Ficha Técnica

DESCRIPCIÓN

ARGEX® 2-4 es un árido ligero de arcilla que se expande en un horno rotatorio a 1200°C. Es un producto natural, ligero, resistente, incombustible, no inflamable e inalterable con el tiempo.

CAMPOS DE APLICACIÓN

Hormigones ligeros con un buen comportamiento térmico y acústico, hormigones ligeros estructurales y rehabilitación. Las propiedades mecánicas y físicas de estos áridos, hacen que sea indicado para su utilización en elementos prefabricados con óptimas características térmicas y acústicas, como bloques y bovedillas.

CARACTERÍSTICAS

| ARGEX® 2-4 | Valor declarado | Unidades |
|----------------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| Granulometría real | 4,0 – 8,0 | mm |
| Densidad aparente seca | 358 | (±15%) kg/m ³ |
| Partículas machacadas | N.A. | (% masa) |
| Resistencia a compresión (± 10%) | 4,8 | MPa |
| Conductividad térmica | 0,11 | (W/m.°C) |
| Absorción de agua | 26,2 | (% masa seca) |
| Resistencia al fuego | Incombustible Euro Clase A1 | - |

RECOMENDACIONES DE UTILIZACIÓN

ARGEX® puede ser utilizada suelta, regada con lechada de cemento o como árido para la confección de hormigones ligeros. En la aplicación como morteros y hormigones, hacer la mezcla con 2/3 del agua prevista, echando el resto al final, para evitar el exceso de agua y la fluctuación de ARGEX®.

MODO DE SUMINISTRO

ARGEX® 2-4 se encuentra disponible en sacos de 50 litros, y sacas de 1,5 m³ y de 3,0 m³. También puede ser suministrada a granel o camiones cisternas.

El volumen considerado en fábrica es el aparente y no el del material compactado.

TRANSPORTE Y ALMACENAJE

Durante el transporte y almacenamiento, puede existir una segregación de los áridos más finos, alteraciones en el contenido de humedad, y disminución del volumen aparente debido a la compactación del material, similar a la de otros áridos como arena y grava.


HIGIENE Y SEGURIDAD

Producto inerte, no representa riesgo para la salud ni el medio ambiente. En algunas aplicaciones se puede dar la formación de polvo, por lo que es conveniente la utilización de máscaras de protección.

ARGEX – Argila Expandida, S.A.
Zona Industrial, Azurveira, 3770-011 Bustos, Aveiro - Portugal
T (+351) 234 751 533 F (+351) 234 751 534 @ argex@argex.pt W www.argex.pt



ANEXO 12. Ficha técnica de aditivo acelerante de resistencia


CONSTRUYENDO CONFIANZA

HOJA DE DATOS DEL PRODUCTO

SikaRapid®-1

ACELERANTE DE RESISTENCIAS INICIALES LIBRE DE CLORUROS

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Es un aditivo líquido, acelerante de resistencias iniciales libre de cloruros para concretos y morteros. Acelera el desarrollo de las resistencias mecánicas iniciales aumentando las resistencias finales. SikaRapid®-1 cumple los requisitos de un aditivo acelerado de endurecimiento, sin efectos secundarios no deseados.

USOS

- Concreto para rápida puesta en servicio.
- Concreto curado al vapor.
- Concreto en tiempo frío.
- Concreto prefabricado.
- Desencofrado rápido

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

- Acelera el proceso de endurecimiento.
- Alta resistencia temprana a temperaturas entre 5 °C y 30 °C en concreto.
- No induce a corrosión de armaduras.
- Compatible con los productos Plastiment®, Sikament®, Sika®ViscoCrete.
- Permite tiempo suficiente para la colocación del concreto.
- Estable a temperaturas entre -5 °C y 40 °C.
- No tóxico para su manipulación ni para el ambiente.

CERTIFICADOS / NORMAS

SikaRapid®-1 cumple con los requerimientos LEED. Conforme con el LEED V3 IEQc 4.1 Low-emitting materials - adhesives and sealants.
Contenido de VOC < 420 g/L (menos agua)

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

| | |
|--------------------------------------|---|
| Empaques | Paquete de 4 envases PET x 4 Litros Cilindro x 180 Litros |
| Apariencia / Color | Líquido amarillento a marrón |
| Vida Útil | 1 año |
| Condiciones de Almacenamiento | El producto debe de ser almacenado en su envase original bien cerrado y no deteriorado, al resguardo del sol y las heladas. |
| Densidad | 1.27 kg/L ± 0.01 |

Hoja De Datos Del Producto
SikaRapid®-1
Mayo 2018, Versión 01.01
021402021000000004

1 / 2

ANEXO 13. Ficha técnica de fibra de polipropileno



CONSTRUYENDO CONFIANZA

HOJA DE DATOS DEL PRODUCTO

SikaFiber® PE

FIBRA SINTÉTICA PARA EL REFUERZO DE CONCRETO

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

SikaFiber® PE, es un refuerzo de fibra sintética de alta tenacidad que evita el agrietamiento de concretos y morteros.

SikaFiber® PE está compuesto por una mezcla de monofilamentos reticulados y enrollados.

Durante la mezcla SikaFiber® PE se distribuye aleatoriamente dentro de la masa de concreto o mortero formando una red tridimensional muy uniforme.

USOS

- Losas de concreto (placas, pavimentos, techos, etc)
- Mortero y concreto proyectado (Shotcrete).
- Paneles de fachada.
- Elementos prefabricados.
- Revestimientos de canales.

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

La adición de SikaFiber® PE sustituye a la armadura destinada a absorber las tensiones que se producen durante el fraguado y endurecimiento del concreto, aportando las siguientes ventajas:

- Reducción de la fisuración por retracción e impidiendo su propagación.
- Aumento importante del índice de tenacidad del concreto.
- Mejora la resistencia al impacto, reduciendo la fragilidad.
- En mayor cuantía, mejora la resistencia a la tracción y a la comprensión.
- La acción del SikaFiber® PE es de tipo físico y no afecta el proceso de hidratación del cemento.

CERTIFICADOS / NORMAS

A los concretos a los que se agregado SikaFiber® PE cumplen con los requerimientos de la norma ASTM C 1116


INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

| | |
|--------------------------------------|---|
| Empaques | Bolsa de 600 g |
| Apariencia / Color | Fibra de color crema |
| Vida Útil | 1 año |
| Condiciones de Almacenamiento | El producto debe de ser almacenado en un lugar seco y bajo techo, en envases bien cerrados. |
| Densidad | 1.17 kg/L |

Hoja De Datos Del Producto
SikaFiber® PE
Mayo 2019, Versión 01.01
02140802.1010000014

1 / 2

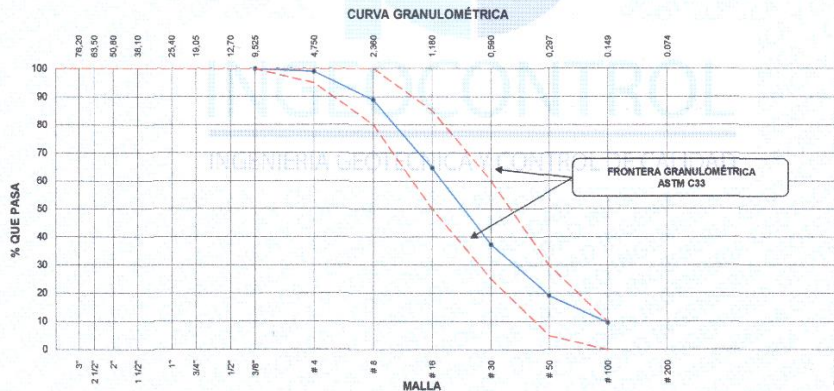
ANEXO 14. Resultados de laboratorio


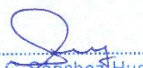
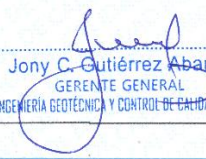
| | | | |
|---|---|---------|------------|
|  | INFORME | Código | AE-FO-63 |
| | ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS ASTM C136 | Versión | 01 |
| | | Fecha | 07-06-2018 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|-----------------------|--|------------------|------------------|
| Proyecto | : Incorporación de bacterias Bacillus Subtilis para mejorar la capacidad autorreparable del concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$, Lima - 2020 | Registro N°: | IGC20-LEM-244-01 |
| Solicitante | : Nikol Ruiz Humareda / Emir Valverde Tapia | Muestreado por : | Cliente |
| Atención | : Nikol Ruiz Humareda / Emir Valverde Tapia | Ensayado por : | R. Leyva |
| Ubicación de Proyecto | : Lima | Fecha de Ensayo: | 24/6/2020 |
| Material | : Agregado Fino | Turno: | Diuino |

| | |
|-------------------|--------------------|
| Código de Muestra | : -- |
| Procedencia | : Cantera Trapiche |
| N° de Muestra | : -- |
| Progresiva | : -- |

| AGREGADO FINO ASTM C33/C33M - 18 - ARENA GRUESA | | | | | | | |
|---|-----------|-----------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------|----------------|
| Malla | | Peso Retenido g | % Parcial Retenido | % Acumulado Retenido | % Acumulado que pasa | ASTM "LIM INF" | ASTM "LIM SUP" |
| 4" | 100.00 mm | | | | | 100.00 | 100.00 |
| 3 1/2" | 90.00 mm | | | | | 100.00 | 100.00 |
| 3" | 75.00 mm | | | | | 100.00 | 100.00 |
| 2 1/2" | 63.00 mm | | | | | 100.00 | 100.00 |
| 2" | 50.00 mm | | | | | 100.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 37.50 mm | | | | | 100.00 | 100.00 |
| 1" | 25.00 mm | | | | | 100.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.00 mm | | | | | 100.00 | 100.00 |
| 1/2" | 12.50 mm | | | | | 100.00 | 100.00 |
| 3/8" | 9.50 mm | | | | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| # 4 | 4.75 mm | 6.4 | 0.97 | 0.97 | 99.03 | 95.00 | 100.00 |
| # 8 | 2.36 mm | 67.5 | 10.22 | 11.19 | 88.81 | 80.00 | 100.00 |
| # 16 | 1.18 mm | 160.4 | 24.28 | 35.46 | 64.54 | 50.00 | 85.00 |
| # 30 | 600 µm | 180.2 | 27.27 | 62.74 | 37.26 | 25.00 | 60.00 |
| # 50 | 300 µm | 119.5 | 18.09 | 80.82 | 19.18 | 5.00 | 30.00 |
| # 100 | 150 µm | 62.7 | 9.49 | 90.31 | 9.69 | 0.00 | 10.00 |
| Fondo | - | 64.0 | 9.69 | 100.00 | 0.00 | - | - |
| | | | | | | MF | 2.81 |
| | | | | | | TMN | -- |



| INGEOCONTROL SAC | | |
|---|--|---|
| TECNICO LEM | JEFE LEM | CQC - LEM |
| Nombre y firma: | Nombre y firma: | Nombre y firma: |
|  |  Noemi C. Sanchez Huaman INGENIERA CIVIL - CIP N°: 195029 INGENIERIA GEOTÉCNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. |  Jony C. Gutiérrez Abanto GERENTE GENERAL INGENIERIA GEOTÉCNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. |



INFORME

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS
ASTM C136

Código

AE-FO-03

Versión

01

Fecha

07-05-2018

Página

1 de 1

Proyecto : Incorporación de bacterias Bacillus Subtilis para mejorar la capacidad autorreparable del concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$, Lima - 2020
Solicitante : Nikol Ruiz Humareda / Emir Valverde Tapia
Atención : Nikol Ruiz Humareda / Emir Valverde Tapia
Ubicación de Proyecto : Lima
Material : Agregado Grueso

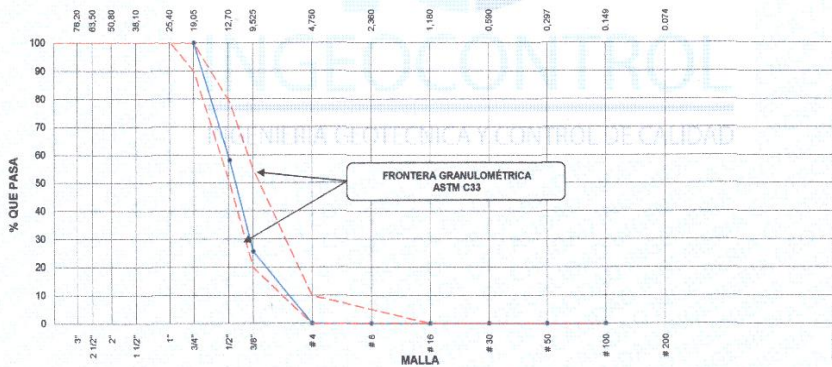
Registro N°: IGC20-LEM-244-02

Muestreado por : Cliente
Ensayado por : R. Leyva
Fecha de Ensayo: 24/8/2020
Turno: Diurno

Código de Muestra : --
Procedencia : Cantera Trapiche
N° de Muestra : --
Progresiva : --

| AGREGADO GRUESO ASTM C33/C33M - 18 - HUSO # 67 | | | | | | |
|--|-----------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------|----------------|
| Malla | Peso Retenido g | % Parcial Retenido | % Acumulado Retenido | % Acumulado que pasa | ASTM "LIM INF" | ASTM "LIM SUP" |
| 4" | 100.00 mm | | | | 100.00 | 100.00 |
| 3 1/2" | 90.00 mm | | | | 100.00 | 100.00 |
| 3" | 75.00 mm | | | | 100.00 | 100.00 |
| 2 1/2" | 63.00 mm | | | | 100.00 | 100.00 |
| 2" | 50.00 mm | | | | 100.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 37.50 mm | | | | 100.00 | 100.00 |
| 1" | 25.00 mm | | | | 100.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.00 mm | | | 100.00 | 90.00 | 100.00 |
| 1/2" | 12.50 mm | 1532.2 | 41.81 | 41.81 | 58.19 | 79.00 |
| 3/8" | 9.50 mm | 1189.9 | 32.47 | 74.27 | 25.73 | 55.00 |
| # 4 | 4.75 mm | 938.4 | 25.60 | 99.88 | 0.12 | 10.00 |
| # 8 | 2.36 mm | 4.1 | 0.11 | 99.99 | 0.01 | 5.00 |
| # 16 | 1.18 mm | 0.4 | 0.01 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| # 30 | 600 µm | | | | 0.00 | 0.00 |
| # 50 | 300 µm | | | | 0.00 | 0.00 |
| # 100 | 150 µm | | | | 0.00 | 0.00 |
| Fondo | - | 0.0 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | - |
| | | | | | MF | 6.74 |
| | | | | | TMN | 1/2" |

CURVA GRANULOMÉTRICA



| INGEOCONTROL SAC | | |
|------------------|---|---|
| TECNICO LEM | JEFE LEM | CCC - LEM |
| Nombre y firma: | Nombre y firma: | Nombre y firma: |
| | Noemi C. Sanchez Huaman INGENIERA CIVIL - CIP N°: 196029 INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. | Jony C. Gutierrez Abanto GERENTE GENERAL INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. |



INFORME

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS
ASTM C136

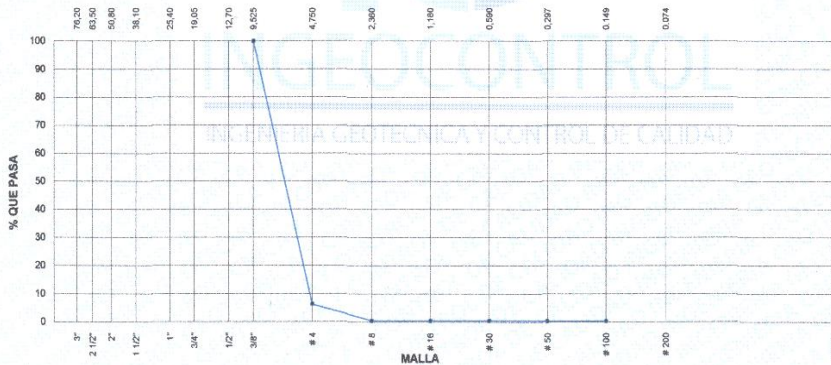
| | |
|---------|------------|
| Código | AE-FO-63 |
| Versión | 01 |
| Fecha | 07-05-2018 |
| Página | 1 de 1 |



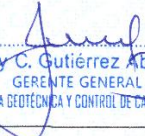
Proyecto : Incorporación de bacterias Bacillus Subtilis para mejorar la capacidad autorreparable del concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$, Lima - 2020 Registro N°: IGC20-LEM-244-03
 Solicitante : Nikol Ruiz Humareda / Emir Valverde Tapia Muestreado por : Cliente
 Atención : Nikol Ruiz Humareda / Emir Valverde Tapia Ensayado por : R. Leyva
 Ubicación de Proyecto : Lima Fecha de Ensayo : 24/8/2020
 Material : Arcilla Expandida Turno : Diurno


Código de Muestra : --
 Procedencia : Agriplant
 N° de Muestra : --
 Progresiva : --

| AGREGADO LIGERO | | | | | | |
|-----------------|-----------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------|----------------|
| Malla | Peso Retenido g | % Parcial Retenido | % Acumulado Retenido | % Acumulado que pasa | ASTM "LIM INF" | ASTM "LIM SUP" |
| 4" | 100.00 mm | | | | 100.00 | 100.00 |
| 3 1/2" | 90.00 mm | | | | 100.00 | 100.00 |
| 3" | 75.00 mm | | | | 100.00 | 100.00 |
| 2 1/2" | 63.00 mm | | | | 100.00 | 100.00 |
| 2" | 50.00 mm | | | | 100.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 37.50 mm | | | | 100.00 | 100.00 |
| 1" | 25.00 mm | | | | 100.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.00 mm | | | | 90.00 | 100.00 |
| 1/2" | 12.50 mm | | | | 50.00 | 79.00 |
| 3/8" | 9.50 mm | | | 100.00 | 20.00 | 55.00 |
| # 4 | 4.75 mm | 529.9 | 93.61 | 93.61 | 6.39 | 10.00 |
| # 8 | 2.36 mm | 33.9 | 5.99 | 99.59 | 0.41 | 5.00 |
| # 16 | 1.18 mm | | | | | |
| # 30 | 600 µm | | | | | |
| # 50 | 300 µm | | | | | |
| # 100 | 150 µm | | | | | |
| Fondo | - | 2.3 | 0.41 | 100.00 | 0.00 | - |
| | | | | | MF | 5.92 |
| | | | | | TMN | --- |

CURVA GRANULOMÉTRICA



| INGEOCONTROL SAC | | |
|---|---|---|
| TECNICO LEM | JEFE LEM | CQC - LEM |
| Nombre y firma: | Nombre y firma: | Nombre y firma: |
|  |  Noemí C. Sánchez Huamán INGENIERA CIVIL - CIP N°: 196029 INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. |  Jony C. Gutiérrez Abanto GERENTE GENERAL INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. |

| | | | |
|---|--|----------------|-------------------|
|  | INFORME | Código | AE-FO-87 |
| | CONTENIDO DE HUMEDAD EVAPORABLE DE LOS AGREGADOS ASTM C566-19 | Versión | 01 |
| | | Fecha | 30-04-2018 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | |
|---|--|
| Proyecto : Incorporación de bacterias Bacillus Subtilis para mejorar la capacidad autorreparable del concreto $f_c=210$ kg/cm ² , Lima - 2020 Solicitante : Nikol Ruiz Humareda / Emir Valverde Tapia Atención : Nikol Ruiz Humareda / Emir Valverde Tapia Ubicación de Proyecto : Lima Material : Agregado Fino / Agregado Grueso | REGISTRO N°: IGC20-LEM-244-04 MUESTREADO POR : Cliente ENSAYADO POR : B. Melgar FECHA DE ENSAYO : 24/8/2020 TURNO : Diurno |
|---|--|

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO

| ITEM | DESCRIPCION | UND. | DATOS | CANTERA |
|------|--------------------------------------|------|--------|----------|
| 1 | Masa del Recipiente | g | 717.0 | Trapiche |
| 2 | Masa del Recipiente + muestra húmeda | g | 4395.0 | |
| 3 | Masa del Recipiente + muestra seca | g | 4382.0 | |
| 4 | CONTENIDO DE HUMEDAD | % | 0.4 | |

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO


| ITEM | DESCRIPCION | UND. | DATOS | CANTERA |
|------|--------------------------------------|------|-------|----------|
| 1 | Masa del Recipiente | g | 154.5 | Trapiche |
| 2 | Masa del Recipiente + muestra húmeda | g | 826.3 | |
| 3 | Masa del Recipiente + muestra seca | g | 815.2 | |
| 4 | CONTENIDO DE HUMEDAD | % | 1.7 | |

CONTENIDO DE HUMEDAD DE ARCILLA EXPANDIDA

| ITEM | DESCRIPCION | UND. | DATOS | CANTERA |
|------|--------------------------------------|------|-------|---------|
| 1 | Masa del Recipiente | g | 154.5 | --- |
| 2 | Masa del Recipiente + muestra húmeda | g | 458.6 | |
| 3 | Masa del Recipiente + muestra seca | g | 448.6 | |
| 4 | CONTENIDO DE HUMEDAD | % | 3.4 | |

INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD

| | | |
|--|---|--|
| INGEOCONTROL SAC | | |
| TECNICO LEM Nombre y firma:  | JEFE LEM Nombre y firma:  Noemí C. Sánchez Huamán INGENIERA CIVIL - CIP N°: 196029 INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. | CQC - LEM Nombre y firma:  Jony C. Gutiérrez Abanto GERENTE GENERAL INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. |

| | | | |
|---|---|---------|------------|
|  | INFORME | Código | AE-FO-101 |
| | DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DE LOS AGREGADOS ASTM C29 / C29M - 17a | Versión | 01 |
| | | Fecha | 30-04-2018 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|-----------------------|--|------------------|------------------|
| Proyecto | : Incorporación de bacterias Bacillus Subtilis para mejorar la capacidad autorreparable del concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$, Lima - 2020 | Registro N°: | IGC20-LEM-244-05 |
| Solicitante | : Nikol Ruiz Humareda / Emir Valverde Tapia | Muestreado por : | Solicitante |
| Atención | : Nikol Ruiz Humareda / Emir Valverde Tapia | Ensayado por : | R. Layva |
| Ubicación de Proyecto | : Lima | Fecha de Ensayo: | 24/8/2020 |
| Material | : Agregado Fino | Turno: | Diurno |

| | |
|-------------------|--------------------|
| Código de Muestra | : --- |
| Procedencia | : Cantera Trapiche |
| N° de Muestra | : --- |
| Progresiva | : --- |


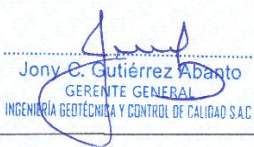
PESO UNITARIO SUELTO

| IDENTIFICACIÓN | 1 | 2 | PROMEDIO |
|-------------------------------------|----------|----------|----------|
| Peso de molde (kg) | 1.628 | 1.628 | |
| Volumen de molde (m3) | 0.002809 | 0.002809 | |
| Peso de molde + muestra suelta (kg) | 6.103 | 6.000 | |
| Peso de muestra suelta (kg) | 4.475 | 4.372 | |
| PESO UNITARIO SUELTO (kg/m3) | 1593 | 1556 | 1575 |

PESO UNITARIO COMPACTADO

| IDENTIFICACIÓN | 1 | 2 | PROMEDIO |
|-------------------------------------|----------|----------|----------|
| Peso de molde (kg) | 1.628 | 1.628 | |
| Volumen de molde (m3) | 0.002809 | 0.002809 | |
| Peso de molde + muestra suelta (kg) | 6.574 | 6.574 | |
| Peso de muestra suelta (kg) | 4.946 | 4.946 | |
| PESO UNITARIO COMPACTADO (kg/m3) | 1761 | 1761 | 1761 |


INGEOCONTROL
 INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD



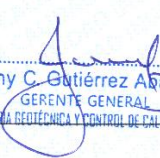
| INGEOCONTROL SAC | | |
|---|---|--|
| TECNICO LEM | JEFE LEM | CQC - LEM |
| Nombre y firma: | Nombre y firma: | Nombre y firma: |
|  |  Noemí C. Sánchez Huamán INGENIERA CIVIL - CIP N°: 196029 INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. |  Jony C. Gutiérrez Abanto GERENTE GENERAL INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. |

| | | | |
|---|---|----------------|-------------------|
|  | INFORME | Código | AE-FO-67 |
| | DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO ASTM C128-15 | Versión | 01 |
| | | Fecha | 30-04-2018 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|-----------------------|---|------------------|-------------------------|
| Proyecto | : Incorporación de bacterias Bacillus Subtilis para mejorar la capacidad autorreparable del concreto $f'_{c}=210 \text{ kg/cm}^2$, Lima - 2020 | Registro N°: | IGC20-LEM-244-06 |
| Solicitante | : Nikol Ruiz Humareda / Emir Valverde Tapia | Muestreado por : | Solicitante |
| Atención | : Nikol Ruiz Humareda / Emir Valverde Tapia | Ensayado por : | R. Leyva |
| Ubicación de Proyecto | : Lima | Fecha de Ensayo: | 24/8/2020 |
| Material | : Agregado Fino | Turno: | Diuño |
| Código de Muestra | : --- | | |
| Procedencia | : Canteras Trapiiche | | |
| N° de Muestra | : --- | | |
| Progresiva | : --- | | |

| IDENTIFICACIÓN | | 1 |
|--|----------------------------------|-------|
| A | Peso Mat. Sat. Sup. Seca (SSS) | 500.0 |
| B | Peso Frasco + agua | 670.8 |
| C | Peso Frasco + agua + muestra SSS | 985.7 |
| D | Peso del Mat. Seco | 492.2 |
| Pe Bulk (Base seca) o Peso específico de masa = $D/(B+A-C)$ | | 2.66 |
| Pe Bulk (Base Saturada) o Peso específico SSS = $A/(B+A-C)$ | | 2.70 |
| Pe Aparente (Base seca) o Peso específico aparente = $D/(B+D-C)$ | | 2.78 |
| % Absorción = $100 \cdot (A-D)/D$ | | 1.6 |


INGEOCONTROL
 INGENIERIA GEOTÉCNICA Y CONTROL DE CALIDAD

| INGEOCONTROL SAC | | |
|--|--|---|
| TECNICO LEM | JEFE LEM | CQC - LEM |
| Nombre y firma:  | Nombre y firma:  Noemi Sánchez Huamán INGENIERA CIVIL - CIP N°: 196029 INGENIERIA GEOTÉCNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. | Nombre y firma:  Jony C. Gutiérrez Abanto GERENTE GENERAL INGENIERIA GEOTÉCNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. |






| INFORME | | Código | AE-FO-78 |
|--|--|---------|------------|
| MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y LA ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS ASTM C127-15 | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 30-04-2018 |
| | | Página | 1 de 1 |


| | | | |
|-----------------------|--|------------------|------------------|
| Proyecto | : Incorporación de bacterias Bacillus Subtilis para mejorar la capacidad autorreparable del concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$, Lima - 2020 | Registro N°: | IGC20-LEM-244-07 |
| Solicitante | : Nikol Ruiz Humareda / Emir Valverde Tapia | Muestreado por : | Cliente |
| Atención | : Nikol Ruiz Humareda / Emir Valverde Tapia | Ensayado por : | R.Leyva |
| Ubicación de Proyecto | : Lima | Fecha de Ensayo: | 24/8/2020 |
| Material | : Agregado Grueso | Turno: | Diurno |
| Tipo de muestra | : --- | | |
| Procedencia | : Cantera Trapiche | | |
| N° de Muestra | : --- | | |
| Progresiva | : --- | | |

| DATOS | | A |
|-------|------------------------------------|--------|
| 1 | Peso de la muestra sss | 2074.0 |
| 2 | Peso de la muestra sss sumergida | 1353.3 |
| 3 | Peso de la muestra secada al horno | 2057.0 |

| RESULTADOS | | 1 |
|-------------------------------|--|-------|
| PESO ESPECIFICO DE MASA | | 2.854 |
| PESO ESPECIFICO DE MASA S.S.S | | 2.878 |
| PESO ESPECIFICO APARENTE | | 2.923 |
| PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%) | | 0.8 |

INGEOCONTROL
INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD

| INGEOCONTROL SAC | | |
|--|--|--|
| TECNICO LEM | JEFE LEM | CQC - LEM |
| Nombre y firma:  | Nombre y firma:  Noemí C. Sánchez Huamán INGENIERA CIVIL - CIP N°: 196029 INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. | Nombre y firma:  Jony C. Gutiérrez Abanto GERENTE GENERAL INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. |

| | | | |
|---|---|----------------|-------------------|
|  | INFORME | Código | AE-FO-101 |
| | DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DE LOS AGREGADOS ASTM C29 / C29M - 17a | Versión | 01 |
| | | Fecha | 30-04-2018 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|-----------------------|--|------------------|-------------------------|
| Proyecto | : Incorporación de bacterias Bacillus Subtilis para mejorar la capacidad autorreparable del concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$, Lima - 2020 | Registro N°: | IGC20-LEM-244-08 |
| Solicitante | : Nikol Ruiz Humareda / Emir Valverde Tapia | Muestreado por : | Solicitante |
| Atención | : Nikol Ruiz Humareda / Emir Valverde Tapia | Ensayado por : | R. Leyva |
| Ubicación de Proyecto | : Lima | Fecha de Ensayo: | 24/8/2020 |
| Material | : Agregado Grueso | Turno: | Diuño |
| Código de Muestra | : --- | | |
| Procedencia | : Cantera Trapiche | | |
| N° de Muestra | : --- | | |
| Progresiva | : --- | | |



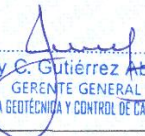
PESO UNITARIO SUELTO


| IDENTIFICACIÓN | 1 | 2 | PROMEDIO |
|-------------------------------------|----------|----------|-------------|
| Peso de molde (kg) | 1.628 | 1.628 | |
| Volumen de molde (m3) | 0.002809 | 0.002809 | |
| Peso de molde + muestra suelta (kg) | 5.660 | 5.646 | |
| Peso de muestra suelta (kg) | 4.032 | 4.018 | |
| PESO UNITARIO SUELTO (kg/m3) | 1435 | 1430 | 1433 |

PESO UNITARIO COMPACTADO

| IDENTIFICACIÓN | 1 | 2 | PROMEDIO |
|-------------------------------------|----------|----------|-------------|
| Peso de molde (kg) | 1.628 | 1.628 | |
| Volumen de molde (m3) | 0.002809 | 0.002809 | |
| Peso de molde + muestra suelta (kg) | 6.064 | 6.072 | |
| Peso de muestra suelta (kg) | 4.436 | 4.444 | |
| PESO UNITARIO COMPACTADO (kg/m3) | 1579 | 1582 | 1581 |


INGEOCONTROL
 INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y CONTROL DE CALIDAD

| INGEOCONTROL SAC | | |
|--|--|---|
| TECNICO LEM | JEFE LEM | CQC - LEM |
| Nombre y firma:  | Nombre y firma:  Noemí Sánchez Huamán INGENIERA CIVIL - CIP N°: 196029 INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. | Nombre y firma:  Jony C. Gutiérrez Abanto GERENTE GENERAL INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. |

| | | | |
|---|---|----------------|-------------------|
|  | INFORME | Código | AE-FO-101 |
| | DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DE LOS AGREGADOS ASTM C29 / C29M - 17a | Versión | 01 |
| | | Fecha | 30-04-2018 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|------------------------------|--|------------------------|-------------------------|
| Proyecto | : Incorporación de bacterias Bacillus Subtilis para mejorar la capacidad autorreparable del concreto f'c=210 kg/cm², Lima - 2020 | Registro N° | IGC20-LEM-244-09 |
| Solicitante | : Nikol Ruiz Humareda / Emir Valverde Tapia | Muestreado por | : Solicitante |
| Atención | : Nikol Ruiz Humareda / Emir Valverde Tapia | Ensayado por | : R. Leyva |
| Ubicación de Proyecto | : Lima | Fecha de Ensayo | : 25/8/2020 |
| Material | : Arcilla Expandida | Turno | : Diurno |
| Código de Muestra | : --- | | |
| Procedencia | : --- | | |
| N° de Muestra | : --- | | |
| Progresiva | : --- | | |



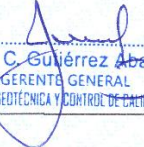
PESO UNITARIO SUELTO


| IDENTIFICACIÓN | 1 | 2 | PROMEDIO |
|-------------------------------------|------------|------------|------------|
| Peso de molde (kg) | 1.628 | 1.628 | |
| Volumen de molde (m3) | 0.002809 | 0.002809 | |
| Peso de molde + muestra suelta (kg) | 2.685 | 2.664 | |
| Peso de muestra suelta (kg) | 1.057 | 1.036 | |
| PESO UNITARIO SUELTO (kg/m3) | 376 | 369 | 373 |

PESO UNITARIO COMPACTADO

| IDENTIFICACIÓN | 1 | 2 | PROMEDIO |
|---|------------|------------|------------|
| Peso de molde (kg) | 1.628 | 1.628 | |
| Volumen de molde (m3) | 0.002809 | 0.002809 | |
| Peso de molde + muestra suelta (kg) | 2.743 | 2.745 | |
| Peso de muestra suelta (kg) | 1.115 | 1.118 | |
| PESO UNITARIO COMPACTADO (kg/m3) | 397 | 398 | 397 |


INGEOCONTROL
 INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y CONTROL DE CALIDAD

| INGEOCONTROL SAC | | |
|--|---|---|
| TECNICO LEM | JEFE LEM | CQC - LEM |
| Nombre y firma:  | Nombre y firma:  Noemí C. Sánchez Huamán INGENIERA CIVIL - CIP N°: 196029 INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. | Nombre y firma:  Jony C. Gutiérrez Abanto GERENTE GENERAL INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. |

| | | | |
|---|---|------------------------|------------------------|
|  | INFORME | Código | AE-FO-93 |
| | DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO - DISEÑO COMPROBADO REFERENCIA ACI 211.1 | Versión | 01 |
| | | Fecha | 30-09-2019 |
| | | Página | 1 de 1 |
| Proyecto | : Incorporación de bacterias Bacillus Subtilis para mejorar la capacidad autorreparable del concreto f'c=210 kg/cm ² , Lima - 2020 | REGISTRO N°: | IGC20-LEM-244-10 |
| Solicitante | : Nikol Ruiz Humareda / Emir Valverde Tapia | REALIZADO POR : | L. Melgar |
| Atención | : Nikol Ruiz Humareda / Emir Valverde Tapia | REVISADO POR : | J. Gutiérrez |
| Ubicación de Proyecto | : Lima | FECHA DE ELABORACIÓN : | 14/9/2020 |
| Agregado | : Ag. Grueso / Ag. Fino / Arcilla Expandida | Fm de diseño: | 210 kg/cm ² |
| Procedencia | : Cantera Trapiche | Asentamiento: | 6" - 7" |
| Cemento | : Cemento Sol Tipo I | Código de mezcla: | PATRON |

1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN REQUERIDA
F'cr = 294
2. RELACIÓN AGUA CEMENTO
R a/c = 0.57 R a/c/te = No aplica
3. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE AGUA
Agua = 245 L
4. CANTIDAD DE AIRE ATRAPADO
Aire = 2.5%
5. CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE CEMENTO
Cemento = 430 kg = 10.1 Bolsas x m³
6. ADICIONES
Grafito = No aplica
7. FIBRAS
Fibra polipropileno = 600 g
8. ADITIVOS
Sika Rapid 1 = 9.5 kg

9. CÁLCULO DEL VOLUMEN DE AGREGADOS

| INSUMO | PESO ESPECÍFICO | VOLUMEN ABSOLUTO | HUMEDAD | ABSORCIÓN | MÓD. FINEZA | P.U. SUELTO | P.U. COMPACTADO | TMN |
|----------------------|------------------------|-----------------------|---------|-----------|-------------|-------------|-----------------|------|
| Cemento Sol Tipo I | 3110 kg/m ³ | 0.1382 m ³ | | | | | | |
| Agua | 1000 kg/m ³ | 0.2450 m ³ | | | | | | |
| Aire atrapado = 2.5% | --- | 0.0250 m ³ | | | | | | |
| Sika Rapid 1 | 1270 kg/m ³ | 0.0074 m ³ | | | | | | |
| Agregado grueso | 2878 kg/m ³ | 0.3021 m ³ | 0.4% | 0.8% | 6.74 | 1433 | 1581 | 1/2" |
| Agregado fino | 2701 kg/m ³ | 0.2822 m ³ | 1.6% | 1.6% | 2.81 | 1575 | 1761 | --- |
| Arcilla expandida | 358 kg/m ³ | 0.0000 m ³ | 3.4% | 26.2% | 5.93 | 373 | 397 | --- |
| Volumen de pasta | | 0.4157 m ³ | | | | | | |
| Volumen de agregados | | 0.5843 m ³ | | | | | | |

10. PROPORCIÓN DE AGREGADOS SECOS

| | | | |
|-------------------|-------|-------------------------|----------|
| Agregado grueso | 51.7% | = 0.3021 m ³ | = 870 kg |
| Agregado fino | 48.3% | = 0.2822 m ³ | = 762 kg |
| Arcilla expandida | 0.0% | = 0.0000 m ³ | = 0 kg |

11. PESO HÚMEDO DE LOS AGREGADOS - CORRECCIÓN POR HUMEDAD

| | |
|-------------------|--------|
| Agregado grueso | 873 kg |
| Agregado fino | 774 kg |
| Arcilla expandida | 0 kg |

14. RESUMEN DE PROPORCIONES EN PESO

| COMPONENTE | PESO SECO | PESO HÚMEDO |
|----------------------|-----------|-------------|
| Cemento Sol Tipo I | 430 kg | 430 kg |
| Agua | 245 L | 248 L |
| Aire atrapado = 2.5% | 0.0 kg | 0.0 kg |
| Grafito | 0.0 kg | 0.0 kg |
| Sika Rapid 1 | 9.5 kg | 9.5 kg |
| Agregado grueso | 870 kg | 873 kg |
| Agregado fino | 762 kg | 774 kg |
| Arcilla expandida | 0 kg | 0 kg |
| Fibra polipropileno | 0.60 kg | 0.60 kg |
| PUT | | 2336 kg |

12. AGUA EFECTIVA CORREGIDA POR ABSORCIÓN Y HUMEDAD

| | |
|------|-------|
| Agua | 248 L |
|------|-------|

13. PROPORCIÓN EN VOLUMEN DE OBRA




| | | | | |
|-----|-------|-------|--------|----------|
| CEM | A.F. | A.G. | AR.EXP | AGUA |
| 1 | : 1.7 | : 2.1 | : 0.0 | : 24.6 L |

15. TANDA DE PRUEBA MÍNIMA

| COMPONENTE | PESO HÚMEDO |
|---------------------|-------------|
| Cemento Sol Tipo I | 23.64 kg |
| Agua | 13.67 L |
| Sika Rapid 1 | 520 g |
| Agregado grueso | 48.02 kg |
| Agregado fino | 42.59 kg |
| Arcilla expandida | 0 kg |
| Fibra polipropileno | 33 g |
| Slump obtenido | 7" |

OBSERVACIONES:

- * Muestras provistas e identificadas por el solicitante
- * Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de INGENCOCONTROL
- * Los valores presentados en el presente diseño pueden variar ligeramente en obra por cambios en la granulometría del agregado, correcciones por humedad y absorción, la limpieza de los agregados, el cambio de tipo de cemento y/o proporción de aditivo.

| | | |
|--|--|---|
| INGEOCONTROL SAC | | |
| TECNICO LEM | JEFE LEM | COC - LEM |
| Nombre y firma:  | Nombre y firma:  Noemí C. Sánchez Huamán INGENIERA CIVIL - CIP N°: 196029 INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. | Nombre y firma:  Jony C. Gutiérrez Abanto GERENTE GENERAL INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. |



INFORME

Código AE-FO-93

Versión 01

Fecha 30-09-2019

Página 1 de 1

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO - DISEÑO COMPROBADO
REFERENCIA ACI 211.1

Proyecto : Incorporación de bacterias Bacillus Subtilis para mejorar la capacidad autorreparable del concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$, Lima - 2020
Solicitante : Nikol Ruiz Humareda / Emir Valverde Tapia
Atención : Nikol Ruiz Humareda / Emir Valverde Tapia
Ubicación de Proyecto : Lima

REGISTRO N°: IGC20-LEM-244-11
REALIZADO POR : L. Melgar
REVISADO POR : J. Gutiérrez
FECHA DE ELABORACIÓN : 19/9/2020

Agregado : Ag. Grueso / Ag. Fino / Arcilla Expandida
Procedencia : Cantera Trapiche
Cemento : Cemento Sol Tipo I

Fm de diseño: 210 kg/cm²
Asentamiento: 6" - 7"
Código de mezcla: ARC 1x10*9

1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN REQUERIDA

F_{cr} = 294

5. CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE CEMENTO

Cemento = 430 kg = 10.1 Bolsas x m³

2. RELACIÓN AGUA CEMENTO

R a/c = 0.57

R a/ccte = No aplica

6. ADICIONES

Gravito No aplica

3. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE AGUA

Agua = 245 L

7. FIBRAS

Fibra polipropileno = 600 g

4. CANTIDAD DE AIRE ATRAPADO

Aire = 2.5%

8. ADITIVOS

Sika Rapid 1 = 9.5 kg

9. CÁLCULO DEL VOLUMEN DE AGREGADOS

| INSUMO | PESO ESPECÍFICO | VOLUMEN ABSOLUTO |
|----------------------|------------------------|-----------------------|
| Cemento Sol Tipo I | 3110 kg/m ³ | 0.1382 m ³ |
| Agua | 1000 kg/m ³ | 0.2450 m ³ |
| Aire atrapado = 2.5% | --- | 0.0250 m ³ |
| Sika Rapid 1 | 1270 kg/m ³ | 0.0074 m ³ |
| Agregado grueso | 2878 kg/m ³ | 0.3021 m ³ |
| Agregado fino | 2701 kg/m ³ | 0.1411 m ³ |
| Arcilla expandida | 358 kg/m ³ | 0.1411 m ³ |
| Volumen de pasta | 0.4157 m ³ | |
| Volumen de agregados | 0.5843 m ³ | |

| | HUMEDAD | ABSORCIÓN | MÓD. FINEZA | P.U. SUELTO | P.U. COMPACTADO | TMN |
|-------------------|---------|-----------|-------------|-------------|-----------------|------|
| Agregado grueso | 0.4% | 0.8% | 6.74 | 1433 | 1581 | 1/2" |
| Agregado fino | 1.6% | 1.6% | 2.81 | 1575 | 1761 | --- |
| Arcilla expandida | 31.4% | 26.2% | 5.93 | 373 | 397 | --- |

10. PROPORCIÓN DE AGREGADOS SECOS

Agregado grueso 51.7% = 0.3021 m³ = 870 kg
Agregado fino 24.1% = 0.1411 m³ = 381 kg
Arcilla expandida 24.2% = 0.1411 m³ = 51 kg

14. RESUMEN DE PROPORCIONES EN PESO

| COMPONENTE | PESO SECO | PESO HÚMEDO |
|----------------------|-----------|-------------|
| Cemento Sol Tipo I | 430 kg | 430 kg |
| Agua | 245 L | 246 L |
| Aire atrapado = 2.5% | 0.0 kg | 0.0 kg |
| Gravito | 0.0 kg | 0.0 kg |
| Sika Rapid 1 | 9.5 kg | 9.5 kg |
| Agregado grueso | 870 kg | 873 kg |
| Agregado fino | 381 kg | 387 kg |
| Arcilla expandida | 51 kg | 66 kg |
| Fibra polipropileno | 0.60 kg | 0.60 kg |
| PUT | | 2012 kg |

11. PESO HÚMEDO DE LOS AGREGADOS - CORRECCIÓN POR HUMEDAD

Agregado grueso 873 kg
Agregado fino 387 kg
Arcilla expandida 66 kg

12. AGUA EFECTIVA CORREGIDA POR ABSORCIÓN Y HUMEDAD

Agua = 246 L

13. PROPORCIÓN EN VOLUMEN DE OBRA

CEM A.F. A.G. A.REXP. AGUA
1 : 0.9 : 2.1 : 0.62 : 24.3 L

15. TANDA DE PRUEBA MÍNIMA


| COMPONENTE | PESO HÚMEDO |
|---------------------|-------------|
| Cemento Sol Tipo I | 18.48 kg |
| Agua | 10.57 L |
| Sika Rapid 1 | 410 g |
| Agregado grueso | 37.54 kg |
| Agregado fino | 16.65 kg |
| Arcilla expandida | 2.85 kg |
| Fibra polipropileno | 26 g |
| Slump obtenido | 8" |

OBSERVACIONES:

- * Muestras provistas e identificadas por el solicitante
- * Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de INGENCOCONTROL
- * Los valores presentados en el presente diseño pueden variar ligeramente en obra por cambios en la granulometría del agregado, correcciones por humedad y absorción, la limpieza de los agregados, el cambio de tipo de cemento y/o proporción de aditivo.

INGENCOCONTROL SAC

| TECNICO LEM | JEFE LEM | CCO - LEM |
|---------------------|---|---|
| Nombre y firma: | Nombre y firma: Noemí C. Sánchez Huamán INGENIERA CIVIL - CIP N°: 196029 INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. | Nombre y firma: Jony C. Gutiérrez Abanto GERENTE GENERAL INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. |

| | | | | |
|---|---|--|------------------------|------------------------|
|  | INFORME | | Código | AE-FO-93 |
| | DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO - DISEÑO COMPROBADO | | Versión | 01 |
| | REFERENCIA ACI 211.1 | | Fecha | 30-09-2019 |
| | | | Página | 1 de 1 |
| Proyecto | Incorporación de bacterias Bacillus Subtilis para mejorar la capacidad autorreparable del concreto f'c=210 kg/cm ² , Lima - 2020 | | REGISTRO N°: | IGC20-LEM-244-12 |
| Solicitante | Nicol Ruiz Humareda / Emir Valverde Tapia | | REALIZADO POR : | L. Melgar |
| Atención | Nicol Ruiz Humareda / Emir Valverde Tapia | | REVISADO POR : | J. Gutiérrez |
| Ubicación de Proyecto | Lima | | FECHA DE ELABORACIÓN : | 7/8/2020 |
| Agregado | Ag. Grueso / Ag. Fino / Arcilla Expandida | | Fm de diseño: | 210 kg/cm ² |
| Procedencia | Cantera Trapiche | | Asentamiento: | 6" - 7" |
| Cemento | Cemento Sol Tipo I | | Código de mezcla: | ARC 1x10*12 |

1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN REQUERIDA
F'cr = 294

5. CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE CEMENTO
Cemento = 430 kg = 10.1 Bolsas x m³

2. RELACIÓN AGUA CEMENTO
R a/c = 0.57 R a/c = No aplica

6. ADICIONES
Grafito No aplica

3. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE AGUA
Agua = 245 L

7. FIBRAS
Fibra polipropileno = 600 g

4. CANTIDAD DE AIRE ATRAPADO
Aire = 2.5%

8. ADITIVOS
Sika Rapid 1 = 9.5 kg

9. CÁLCULO DEL VOLUMEN DE AGREGADOS

| INSUMO | PESO ESPECÍFICO | VOLUMEN ABSOLUTO | HUMEDAD | ABSORCIÓN | MÓD. FINEZA | P.U. SUELTO | P.U. COMPACTADO | TMN |
|----------------------|------------------------|-----------------------|---------|-----------|-------------|-------------|-----------------|------|
| Cemento Sol Tipo I | 3110 kg/m ³ | 0.1382 m ³ | | | | | | |
| Agua | 1000 kg/m ³ | 0.2450 m ³ | | | | | | |
| Aire atrapado = 2.5% | --- | 0.0250 m ³ | | | | | | |
| Sika Rapid 1 | 1270 kg/m ³ | 0.0074 m ³ | | | | | | |
| Agregado grueso | 2878 kg/m ³ | 0.3021 m ³ | 0.4% | 0.8% | 6.74 | 1433 | 1581 | 1/2" |
| Agregado fino | 2701 kg/m ³ | 0.1411 m ³ | 1.6% | 1.6% | 2.81 | 1575 | 1761 | --- |
| Arcilla expandida | 358 kg/m ³ | 0.1411 m ³ | 36.1% | 26.2% | 5.93 | 373 | 397 | --- |
| Volumen de pasta | | 0.4157 m ³ | | | | | | |
| Volumen de agregados | | 0.5843 m ³ | | | | | | |

10. PROPORCIÓN DE AGREGADOS SECOS
Agregado grueso 51.7% = 0.3021 m³ = 870 kg
Agregado fino 24.1% = 0.1411 m³ = 381 kg
Arcilla expandida 24.2% = 0.1411 m³ = 51 kg

14. RESUMEN DE PROPORCIONES EN PESO

| COMPONENTE | PESO SECO | PESO HÚMEDO |
|----------------------|-----------|-------------|
| Cemento Sol Tipo I | 430 kg | 430 kg |
| Agua | 245 L | 243 L |
| Aire atrapado = 2.5% | 0.0 kg | 0.0 kg |
| Grafito | 0.0 kg | 0.0 kg |
| Sika Rapid 1 | 9.5 kg | 9.5 kg |
| Agregado grueso | 870 kg | 873 kg |
| Agregado fino | 381 kg | 387 kg |
| Arcilla expandida | 51 kg | 69 kg |
| Fibra polipropileno | 0.60 kg | 0.60 kg |
| PUT | | 2012 kg |

11. PESO HÚMEDO DE LOS AGREGADOS - CORRECCIÓN POR HUMEDAD
Agregado grueso 873 kg
Agregado fino 387 kg
Arcilla expandida 69 kg

12. AGUA EFECTIVA CORREGIDA POR ABSORCIÓN Y HUMEDAD
Agua 243 L


13. PROPORCIÓN EN VOLUMEN DE OBRA
CEM A.F. A.G. AR.EXP AGUA
1 : 0.9 : 2.1 : 0.64 : 24.1 L

15. TANDA DE PRUEBA MÍNIMA = 0.043 m³

| COMPONENTE | PESO HÚMEDO |
|---------------------|-------------|
| Cemento Sol Tipo I | 18.48 kg |
| Agua | 10.47 L |
| Sika Rapid 1 | 410 g |
| Agregado grueso | 37.54 kg |
| Agregado fino | 16.65 kg |
| Arcilla expandida | 2.96 kg |
| Fibra polipropileno | 26 g |
| Slump obtenido | 8 1/2" |

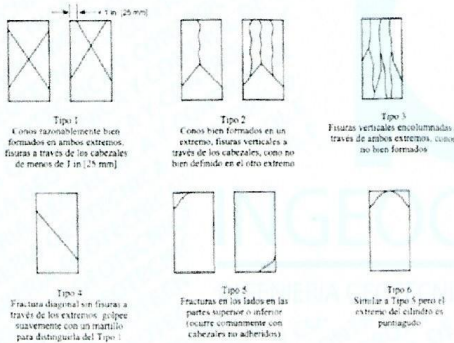
OBSERVACIONES:
* Muestras provistas e identificadas por el solicitante
* Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD
* Los valores presentados en el presente diseño pueden variar ligeramente en obra por cambios en la granulometría del agregado, correcciones por humedad y absorción, la limpieza de los agregados, el cambio de tipo de cemento y/o proporción de aditivo.

| | | |
|--|--|--|
| INGEOCONTROL SAC | | |
| TECNICO LEM | JEFE LEM | CGC - LEM |
| Nombre y firma:  | Nombre y firma:  Noemi C. Sánchez Huamán INGENIERA CIVIL - CIP N°: 195029 INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. | Nombre y firma:  Jony C. Gutiérrez Abanto GERENTE GENERAL INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. |

| | | | |
|---|---|-----------------|------------------|
|  | INFORME | Código | AE-FQ-101 |
| | MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE HORMIGÓN | Versión | 01 |
| | | Fecha | 30-04-2018 |
| | | Página | 1 de 1 |
| PROYECTO | Incorporación de bacterias Bacillus Subtilis para mejorar la capacidad autorreparable del concreto f'c=210 kg/cm ² , Lima - 2020 | REGISTRO N°: | IGC20-LEM-244-13 |
| CLIENTE | Nikol Ruiz Humareda / Emir Valverde Tapia | REALIZADO POR | R Leyva |
| SOLICITANTE | Nikol Ruiz Humareda / Emir Valverde Tapia | REVISADO POR | J Gutierrez |
| UBICACION DE PROYECTO | Lima | FECHA DE ENSAYO | --- |
| FECHA DE EMISION | --- | TURNO | Diurno |
| Tipo de muestra | Concreto endurecido | | |
| Presentación | Especímenes cilíndricos 6" x 12" | | |
| f'c de diseño | 210 kg/cm ² | | |

**Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens
ASTM C39/C39M-18**

| IDENTIFICACIÓN | FECHA DE VACIADO | FECHA DE ROTURA | EDAD (días) | DIÁMETRO (cm) | ALTURA (cm) | TIPO DE FALLA | RELACIÓN ALTURA / DIÁMETRO | FUERZA MÁXIMA (kg) | ESFUERZO | % F'c |
|--|------------------|-----------------|-------------|---------------|-------------|---------------|----------------------------|--------------------|------------------------|--------|
| PATRON | 14/09/2020 | 17/09/2020 | 3 | 9.72 | 20.00 | 5 | 2.06 | 18691.1 | 262 kg/cm ² | 119.6% |
| PATRON | 14/09/2020 | 17/09/2020 | 3 | 9.73 | 20.00 | 4 | 2.06 | 19914.7 | 268 kg/cm ² | 127.5% |
| PATRON | 14/09/2020 | 17/09/2020 | 3 | 9.75 | 20.00 | 5 | 2.05 | 19037.8 | 255 kg/cm ² | 121.4% |
| 1 x 10 ¹ de Basillus Subtilis | 18/09/2020 | 19/09/2020 | 3 | 9.84 | 20.00 | 4 | 2.03 | 17498.1 | 230 kg/cm ² | 109.6% |
| 1 x 10 ¹ de Basillus Subtilis | 18/09/2020 | 19/09/2020 | 3 | 9.70 | 20.00 | 3 | 2.06 | 17181.9 | 233 kg/cm ² | 110.7% |
| 1 x 10 ¹ de Basillus Subtilis | 18/09/2020 | 19/09/2020 | 3 | 9.78 | 20.00 | 5 | 2.04 | 17243.1 | 230 kg/cm ² | 109.5% |
| 1 x 10 ² de Basillus Subtilis | 19/09/2020 | 22/09/2020 | 3 | 9.93 | 20.00 | 5 | 2.01 | 18274.4 | 210 kg/cm ² | 100.1% |
| 1 x 10 ¹ de Basillus Subtilis | 19/09/2020 | 22/09/2020 | 3 | 9.97 | 20.00 | 3 | 2.01 | 18131.7 | 207 kg/cm ² | 98.4% |
| 1 x 10 ² de Basillus Subtilis | 19/09/2020 | 22/09/2020 | 3 | 9.95 | 20.00 | 5 | 2.01 | 16050.1 | 206 kg/cm ² | 98.3% |



8.2 If the specimen length to diameter ratio is 1.75 or less, correct the result obtained in 8.1 by multiplying by the appropriate correction factor shown in the following table Note 11:

| L/D Factor | 1.75 | 1.50 | 1.25 | 1.00 |
|------------|------|------|------|------|
| | 0.98 | 0.96 | 0.93 | 0.87 |

Use interpolation to determine correction factors for L/D values between those given in the table.

Fuente: ASTM C39

| | Coefficient of Variation ^a | Acceptable Range ^a of Individual Cylinder Strengths 2 cylinders | Acceptable Range ^a of Individual Cylinder Strengths 3 cylinders |
|----------------------------|---------------------------------------|--|--|
| 6 by 12 in [150 by 300 mm] | | | |
| Laboratory conditions | 2.4 % | 6.6 % | 7.8 % |
| Field conditions | 2.9 % | 8.0 % | 9.5 % |
| 4 by 8 in [100 by 200 mm] | | | |
| Laboratory conditions | 3.2 % | 9.0 % | 10.6 % |



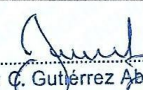
Fuente: ASTM C39

FIG. 2 Esquema de los Modelos de Fractura Típicos

Fuente: ASTM C39

OBSERVACIONES:

- Muestras elaboradas y curadas por el solicitante
- Las muestras cumplen con la relación altura / diámetro por lo que no fue necesaria la corrección de esfuerzo
- Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento sin la autorización escrita de INGEOCONTROL

| | | |
|---|---|---|
| INGEOCONTROL SAC | | |
| TECNICO LEM | JEFE LEM | CQC - LEM |
| Nombre y firma  | Nombre y firma  Noemí C. Sánchez Huamán INGENIERA CIVIL - CIP N°: 196029 INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. | Nombre y firma  Jony C. Gutiérrez Abanto GERENTE GENERAL INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. |

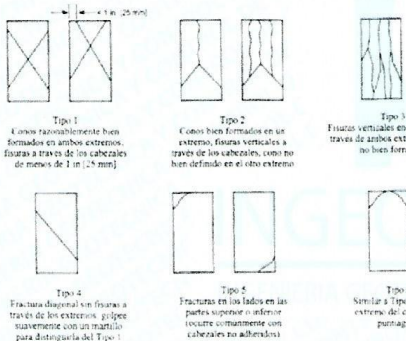


| | | |
|--|---------|------------|
| INFORME | Código | AE-FO-101 |
| MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE HORMIGÓN | Versión | 01 |
| | Fecha | 30-04-2018 |
| | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|--------------------------|---|-----------------|------------------|
| PROYECTO | Incorporación de bacterias Bacillus Subtilis para mejorar la capacidad autorreparable del concreto $f_c=210$ kg/cm ² , Lima - 2020 | REGISTRO N° | IGC20-LEM-244-14 |
| CLIENTE | Nikol Ruiz Humareda / Emir Valverde Tapia | REALIZADO POR | R Leyva |
| SOLICITANTE | Nikol Ruiz Humareda / Emir Valverde Tapia | REVISADO POR | J Gutierrez |
| UBICACIÓN DE PROYECTO | Lima | FECHA DE ENSAYO | --- |
| FECHA DE EMISIÓN | --- | TURNO | Diurno |
| Tipo de muestra | Concreto endurecido | | |
| Presentación | Especímenes cilíndricos 4" x 8" | | |
| F _c de diseño | 210 kg/cm ² | | |

**Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens
ASTM C39/C39M-18**

| IDENTIFICACIÓN | FECHA DE VACIADO | FECHA DE ROTURA | EDAD (días) | DIÁMETRO (cm) | ALTURA (cm) | TIPO DE FALLA | RELACIÓN ALTURA / DIÁMETRO | FUERZA MÁXIMA (kg) | ESFUERZO | % F _c |
|--|------------------|-----------------|-------------|---------------|-------------|---------------|----------------------------|--------------------|------------------------|------------------|
| PATRON | 14/09/2020 | 21/09/2020 | 7 | 9.86 | 20.00 | 4 | 2.03 | 20006.5 | 262 kg/cm ² | 124.8% |
| PATRON | 14/09/2020 | 21/09/2020 | 7 | 9.62 | 20.00 | 5 | 2.08 | 19517.1 | 269 kg/cm ² | 127.8% |
| PATRON | 14/09/2020 | 21/09/2020 | 7 | 9.74 | 20.00 | 5 | 2.05 | 19843.4 | 266 kg/cm ² | 126.8% |
| 1 x 10 ¹ de Bacillus Subtilis | 18/09/2020 | 23/09/2020 | 7 | 9.86 | 20.00 | 6 | 2.03 | 19782.2 | 259 kg/cm ² | 123.4% |
| 1 x 10 ¹ de Bacillus Subtilis | 18/09/2020 | 23/09/2020 | 7 | 9.87 | 20.00 | 5 | 2.03 | 19829.2 | 257 kg/cm ² | 122.2% |
| 1 x 10 ¹ de Bacillus Subtilis | 18/09/2020 | 23/09/2020 | 7 | 9.85 | 20.00 | 5 | 2.03 | 19955.5 | 262 kg/cm ² | 124.7% |
| 1 x 10 ¹ Bacillus Subtilis | 19/09/2020 | 26/09/2020 | 7 | 9.86 | 20.00 | 5 | 2.03 | 17793.8 | 233 kg/cm ² | 111.0% |
| 1 x 10 ¹ Bacillus Subtilis | 19/09/2020 | 26/09/2020 | 7 | 9.80 | 20.00 | 5 | 2.04 | 17457.3 | 231 kg/cm ² | 110.2% |
| 1 x 10 ¹ Bacillus Subtilis | 19/09/2020 | 26/09/2020 | 7 | 9.84 | 20.00 | 3 | 2.03 | 17722.4 | 233 kg/cm ² | 111.0% |



8.2 If the specimen length to diameter ratio is 1.75 or less, correct the result obtained in 8.1 by multiplying by the appropriate correction factor shown in the following table Note 11:

| | | | | |
|--------|------|------|------|------|
| L/D | 1.75 | 1.50 | 1.25 | 1.00 |
| Factor | 0.95 | 0.96 | 0.93 | 0.87 |

Use interpolation to determine correction factors for L/D values between those given in the table.

Fuente: ASTM C39

| | Coefficient of Variation ^a | Acceptable Range ^b of Individual Cylinder Strengths |
|----------------------------|---------------------------------------|--|
| 6 by 12 in [150 by 300 mm] | | |
| Laboratory conditions | 2.4 % | 6.6 % |
| Field conditions | 2.9 % | 8.0 % |
| 4 by 8 in [100 by 200 mm] | | |
| Laboratory conditions | 3.2 % | 9.0 % |

Fuente: ASTM C39


FIG. 2 Esquema de los Modelos de Fractura Típicos

Fuente: ASTM C39

OBSERVACIONES:

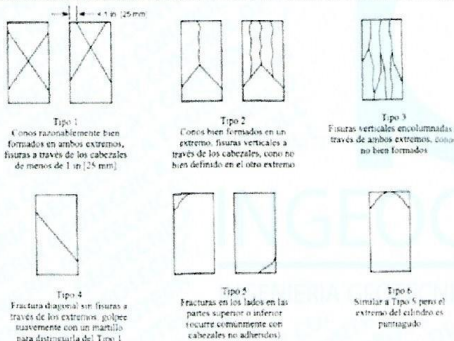
- * Muestras elaboradas y curadas por el solicitante
- * Las muestras cumplen con la relación altura / diámetro por lo que no fue necesaria la corrección de esfuerzo
- * Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento sin la autorización escrita de INGENCOCONTROL

| | | |
|---------------------|---|---|
| INGEOCONTROL SAC | | |
| TECNICO LEM | JEFE LEM | COC - LEM |
| Nombre y firma: | Nombre y firma: Noemí C. Sánchez Huamán INGENIERA CIVIL - CIP N°: 196029 INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. | Nombre y firma: Jony C. Gutiérrez Abanto GERENTE GENERAL INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. |

| | | | | |
|---|---|-----------------|------------------|------------|
|  | INFORME | | Código | AE-FO-101 |
| | MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE HORMIGÓN | | Versión | 01 |
| | | | Fecha | 30-04-2018 |
| | | | Página | 1 de 1 |
| PROYECTO | Incorporación de bacterias Bacillus Subtilis para mejorar la capacidad autorreparable del concreto f'c=210 kg/cm ² Lima - 2020 | REGISTRO N. | IGC20-LEM-244-15 | |
| CLIENTE | Nikol Ruiz Humareda / Emir Valverde Tapia | REALIZADO POR | R Leyva | |
| SOLICITANTE | Nikol Ruiz Humareda / Emir Valverde Tapia | REVISADO POR | J Gutierrez | |
| UBICACIÓN DE PROYECTO | Lima | FECHA DE ENSAYO | --- | |
| FECHA DE EMISIÓN | --- | TURNO | Diurno | |
| Tipo de muestra | Concreto endurecido | | | |
| Presentación | Especímenes cilíndricos 4" x 8" | | | |
| F'c de diseño | .210 kg/cm ² | | | |

**Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens
ASTM C39/C39M-18**

| IDENTIFICACIÓN | FECHA DE VACIADO | FECHA DE ROTURA | EDAD (días) | DIÁMETRO (cm) | ALTURA (cm) | TIPO DE FALLA | RELACIÓN ALTURA / DIÁMETRO | FUERZA MÁXIMA (kg) | ESFUERZO | % F'c |
|--|------------------|-----------------|-------------|---------------|-------------|---------------|----------------------------|--------------------|------------------------|--------|
| PATRON | 14/09/2020 | 28/09/2020 | 14 | 9.83 | 20.00 | 5 | 2.03 | 21220.0 | 280 kg/cm ² | 133.1% |
| PATRON | 14/09/2020 | 28/09/2020 | 14 | 9.84 | 20.00 | 5 | 2.01 | 20975.2 | 270 kg/cm ² | 128.7% |
| PATRON | 14/09/2020 | 28/09/2020 | 14 | 9.99 | 20.00 | 3 | 2.00 | 21087.4 | 289 kg/cm ² | 128.1% |
| 1 x 10 ³ de Basilius Suptilis | 18/09/2020 | 30/09/2020 | 14 | 9.80 | 20.01 | 6 | 2.04 | 19537.5 | 259 kg/cm ² | 123.3% |
| 1 x 10 ³ de Basilius Suptilis | 18/09/2020 | 30/09/2020 | 14 | 9.80 | 19.99 | 5 | 2.04 | 19935.1 | 264 kg/cm ² | 125.9% |
| 1 x 10 ³ de Basilius Suptilis | 18/09/2020 | 30/09/2020 | 14 | 9.80 | 20.03 | 3 | 2.02 | 19812.6 | 257 kg/cm ² | 122.0% |
| 1 x 10 ³ de Basilius Suptilis | 19/09/2020 | 31/10/2020 | 14 | 9.80 | 20.01 | 6 | 2.04 | 18935.6 | 251 kg/cm ² | 119.5% |
| 1 x 10 ³ de Basilius Suptilis | 19/09/2020 | 31/10/2020 | 14 | 9.87 | 20.00 | 4 | 2.03 | 19313.1 | 252 kg/cm ² | 120.2% |
| 1 x 10 ³ de Basilius Suptilis | 19/09/2020 | 31/10/2020 | 14 | 9.92 | 20.00 | 5 | 2.02 | 19190.6 | 248 kg/cm ² | 118.2% |



8.2 If the specimen length to diameter ratio is 1.75 or less, correct the result obtained in 8.1 by multiplying by the appropriate correction factor shown in the following table. Note 11:

| | | | | |
|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| L/D Factor | 1.75 0.98 | 1.50 0.96 | 1.25 0.93 | 1.00 0.87 |
|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|

Use interpolation to determine correction factors for L/D values between those given in the table.

Fuente: ASTM C39

| | Coefficient of Variation ^a | Acceptable Range ^b of Individual Cylinder Strengths 2 cylinders | Acceptable Range ^b of Individual Cylinder Strengths 3 cylinders |
|--|---------------------------------------|---|---|
| 6 by 12 in [150 by 300 mm] Laboratory conditions | 2.4 % | 6.6 % | 7.8 % |
| Field conditions | 2.9 % | 8.0 % | 9.5 % |
| 4 by 8 in [100 by 200 mm] Laboratory conditions | 3.2 % | 9.0 % | 10.6 % |




Fuente: ASTM C39


FIG. 2 Esquema de los Modos de Fractura Típicos

Fuente: ASTM C39

OBSERVACIONES:

- Muestras elaboradas y curadas por el solicitante
- Las muestras cumplen con la relación altura / diámetro por lo que no fue necesaria la corrección de esfuerzo
- Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento sin la autorización escrita de INGEOCONTROL

| | | |
|--|--|--|
| INGEOCONTROL SAC | | |
| TECNICO LEM | JEFE LEM | COC - LEM |
| Nombre y firma:  | Nombre y firma:  Noemí C. Sánchez Huamán INGENIERA CIVIL - CIP N°: 196029 INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. | Nombre y firma:  Jony C. Gutiérrez Abanto GERENTE GENERAL INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. |

| | | | | |
|---|--|--|-----------------|------------------|
|  | INFORME | | Código | AE-FO-101 |
| | MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE HORMIGÓN | | Version | 01 |
| | | | Fecha | 30-04-2018 |
| | | | Página | 1 de 1 |
| PROYECTO | Incorporación de bacterias <i>Bacillus Subtilis</i> para mejorar la capacidad autorreparable del concreto $f_c=210$ kg/cm ² , Lima - 2020 | | REGISTRO N° | IGC20-LEM-244-19 |
| CLIENTE | Nikol Ruiz Humareda / Emir Valverde Tapia | | REALIZADO POR | R Leyva |
| SOLICITANTE | Nikol Ruiz Humareda / Emir Valverde Tapia | | REVISADO POR | J Gutierrez |
| UBICACIÓN DE PROYECTO | Lima | | FECHA DE ENSAYO | --- |
| FECHA DE EMISIÓN | --- | | TURNO | Diurno |
| Tipo de muestra | Concreto endurecido | | | |
| Presentación | Especímenes cilíndricos 4" x 8" | | | |
| F _c de diseño | 210 kg/cm ² | | | |

**Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens
ASTM C39/C39M-18**

| IDENTIFICACIÓN | FECHA DE VACIADO | FECHA DE ROTURA | EDAD (días) | DIÁMETRO (cm) | ALTURA (cm) | TIPO DE FALLA | RELACIÓN ALTURA / DIÁMETRO | FUERZA MÁXIMA (kg) | ESFUERZO | % F _c |
|--|------------------|-----------------|-------------|---------------|-------------|---------------|----------------------------|--------------------|------------------------|------------------|
| PATRON | 14/09/2020 | 12/10/2020 | 28 | 9.87 | 20.00 | 4 | 2.03 | 25845.5 | 335 kg/cm ² | 159.0% |
| PATRON | 14/09/2020 | 12/10/2020 | 28 | 9.94 | 20.00 | 3 | 2.01 | 26349.0 | 340 kg/cm ² | 161.7% |
| PATRON | 14/09/2020 | 12/10/2020 | 28 | 9.96 | 20.00 | 3 | 2.01 | 26022.7 | 334 kg/cm ² | 159.0% |
| 1 x 10 ² de <i>Bacillus Subtilis</i> | 16/09/2020 | 14/10/2020 | 28 | 9.89 | 20.01 | 1 | 2.02 | 20975.2 | 273 kg/cm ² | 130.0% |
| 1 x 10 ¹ de <i>Bacillus Subtilis</i> | 16/09/2020 | 14/10/2020 | 28 | 9.86 | 19.99 | 5 | 2.03 | 20863.1 | 273 kg/cm ² | 130.1% |
| 1 x 10 ⁰ de <i>Bacillus Subtilis</i> | 16/09/2020 | 14/10/2020 | 28 | 9.91 | 20.03 | 5 | 2.02 | 21146.6 | 274 kg/cm ² | 130.6% |
| 1 x 10 ⁻² de <i>Bacillus Subtilis</i> | 19/09/2020 | 17/10/2020 | 28 | 9.96 | 20.01 | 5 | 2.01 | 21423.9 | 275 kg/cm ² | 130.9% |
| 1 x 10 ¹ de <i>Bacillus Subtilis</i> | 19/09/2020 | 17/10/2020 | 28 | 10.00 | 20.00 | 6 | 2.00 | 21198.4 | 269 kg/cm ² | 128.2% |
| 1 x 10 ⁻² de <i>Bacillus Subtilis</i> | 19/09/2020 | 17/10/2020 | 28 | 10.02 | 20.02 | 5 | 2.00 | 21301.5 | 270 kg/cm ² | 128.6% |

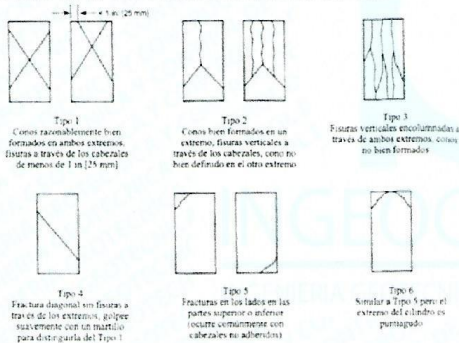


FIG. 2 Esquema de los Modelos de Fractura Típicos

Fuente: ASTM C39

8.2 If the specimen length to diameter ratio is 1.75 or less, correct the result obtained in 8.1 by multiplying by the appropriate correction factor shown in the following table Note 11:

| L/D | 1.75 | 1.50 | 1.25 | 1.00 |
|--------|------|------|------|------|
| Factor | 0.98 | 0.96 | 0.93 | 0.87 |

Use interpolation to determine correction factors for L/D values between those given in the table.


Fuente: ASTM C39


| | Coefficient of Variation ^a | Acceptable Range ^a of Individual Cylinder Strengths | |
|----------------------------|---------------------------------------|--|-------------|
| | | 2 cylinders | 3 cylinders |
| 6 by 12 in [150 by 300 mm] | | | |
| Laboratory conditions | 2.4 % | 6.6 % | 7.0 % |
| Field conditions | 2.9 % | 8.0 % | 9.5 % |
| 4 by 8 in [100 by 200 mm] | | | |
| Laboratory conditions | 3.0 % | 9.0 % | 10.6 % |

Fuente: ASTM C39

OBSERVACIONES:

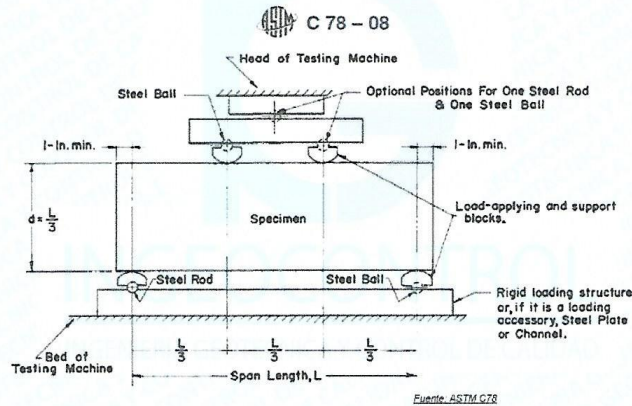
- * Muestras elaboradas y curadas por el solicitante
- * Las muestras cumplen con la relación altura / diámetro por lo que no fue necesaria la corrección de esfuerzo
- * Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento sin la autorización escrita de INGENIOCONTROL

| | | |
|--|--|--|
| INGEOCONTROL SAC | | |
| TECNICO LEM | JEFE LEM | CCC - LEM |
| Nombre y firma:  | Nombre y firma:  Noemí C. Sánchez Huamán INGENIERA CIVIL - CIP N°: 196029 INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. | Nombre y firma:  Jony C. Gutiérrez Abanto GERENTE GENERAL INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. |

| | | | |
|---|--|-----------------|------------------|
|  | INFORME | Código | AE-FO-124 |
| | MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ROTURA DEL HORMIGÓN - CONCRETO | Version | 01 |
| | | Fecha | 30-04-2018 |
| | | Página | 1 de 1 |
| PROYECTO | Incorporación de bacterias <i>Bacillus Subtilis</i> para mejorar la capacidad autoreparable del concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$, Lima - 2020 | REGISTRO N° | IGC20-LEM-244-16 |
| CLIENTE | Nikol Ruiz Humareda / Emir Valverde Tapia | REALIZADO POR | R. Leyva |
| SOLICITANTE | Nikol Ruiz Humareda / Emir Valverde Tapia | REVISADO POR | J. Gutiérrez |
| UBICACIÓN DE PROYECTO | Lima | FECHA DE ENSAYO | --- |
| FECHA DE EMISIÓN | --- | TURNO | Diurno |
| Tipo de muestra | Concreto endurecido | | |
| Presentación | Prismas de concreto endurecido | | |
| F _c de diseño | 210 kg/cm ² | | |



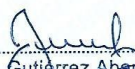
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO ENDURECIDO ASTM C78


| IDENTIFICACIÓN | FECHA DE VACIADO | FECHA DE ROTURA | EDAD | UBICACIÓN DE FALLA | LUZ LIBRE | MÓDULO DE ROTURA |
|--|------------------|-----------------|--------|--------------------|-----------|-----------------------|
| PATRON | 14/09/2020 | 17/09/2020 | 3 días | TERCIO CENTRAL | 45.0 | 46 kg/cm ² |
| PATRON | 14/09/2020 | 17/09/2020 | 3 días | TERCIO CENTRAL | 45.0 | 47 kg/cm ² |
| PATRON | 14/09/2020 | 17/09/2020 | 3 días | TERCIO CENTRAL | 45.0 | 47 kg/cm ² |
| 1 x 10 ¹ de <i>Bacillus Subtilis</i> | 18/09/2020 | 19/09/2020 | 3 días | TERCIO CENTRAL | 45.0 | 45 kg/cm ² |
| 1 x 10 ¹ de <i>Bacillus Subtilis</i> | 18/09/2020 | 19/09/2020 | 3 días | TERCIO CENTRAL | 45.0 | 44 kg/cm ² |
| 1 x 10 ¹ de <i>Bacillus Subtilis</i> | 18/09/2020 | 19/09/2020 | 3 días | TERCIO CENTRAL | 45.0 | 47 kg/cm ² |
| 1 x 10 ¹² de <i>Bacillus Subtilis</i> | 25/09/2020 | 28/09/2020 | 3 días | TERCIO CENTRAL | 45.0 | 46 kg/cm ² |
| 1 x 10 ¹² de <i>Bacillus Subtilis</i> | 25/09/2020 | 28/09/2020 | 3 días | TERCIO CENTRAL | 45.0 | 43 kg/cm ² |
| 1 x 10 ¹⁴ de <i>Bacillus Subtilis</i> | 25/09/2020 | 28/09/2020 | 3 días | TERCIO CENTRAL | 45.0 | 45 kg/cm ² |



OBSERVACIONES:

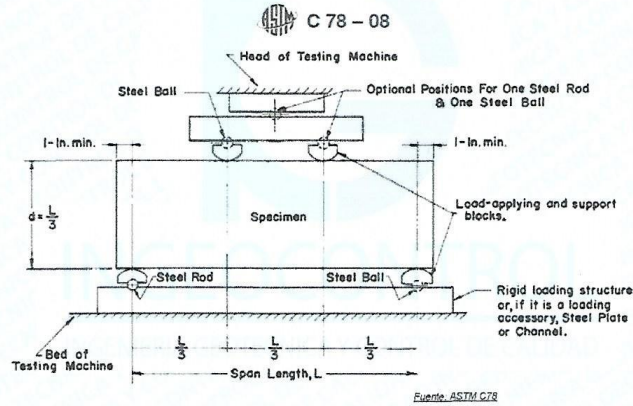
- * Muestras elaboradas y curadas por el personal técnico de INGECONTROL
- * Las muestras cumplen con las dimensiones dadas en la norma de ensayo
- * Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento sin la autorización escrita de INGECONTROL

| | | |
|--|--|---|
| INGECONTROL SAC | | |
| TECNICO LEM | JEFE LEM | COC - LEM |
| Nombre y firma:  | Nombre y firma:  Noemí C. Sánchez Huamán INGENIERA CIVIL - CIP N°: 196029 INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. | Nombre y firma:  Jony C. Gutiérrez Adams GERENTE GENERAL INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. |

| | | | |
|---|---|-----------------|------------------|
|  | INFORME | Código | AE-FO-124 |
| | MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ROTURA DEL HORMIGÓN - CONCRETO | Versión | 01 |
| | | Fecha | 30-04-2018 |
| | | Página | 1 de 1 |
| PROYECTO | Incorporación de bacterias <i>Bacillus Subtilis</i> para mejorar la capacidad autorreparable del concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$, Lima - 2020 | REGISTRO N° | IGC20-LEM-244-17 |
| CLIENTE | Nikol Ruiz Humareda / Emir Valverde Tapia | REALIZADO POR | R. Leyva |
| SOLICITANTE | Nikol Ruiz Humareda / Emir Valverde Tapia | REVISADO POR | J. Gutiérrez |
| UBICACIÓN DE PROYECTO | Lima | FECHA DE ENSAYO | --- |
| FECHA DE EMISIÓN | --- | TURNO | Diurno |
| Tipo de muestra | Concreto endurecido | | |
| Presentación | Prismas de concreto endurecido | | |
| Fc de diseño | 210 kg/cm ² | | |

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO ENDURECIDO ASTM C78


| IDENTIFICACIÓN | FECHA DE VACIADO | FECHA DE ROTURA | EDAD | UBICACIÓN DE FALLA | LUZ LIBRE | MÓDULO DE ROTURA |
|--|------------------|-----------------|--------|--------------------|-----------|-----------------------|
| PATRON | 14/09/2020 | 21/09/2020 | 7 días | TERCIO CENTRAL | 45.0 | 51 kg/cm ² |
| PATRON | 14/09/2020 | 21/09/2020 | 7 días | TERCIO CENTRAL | 45.0 | 47 kg/cm ² |
| PATRON | 14/09/2020 | 21/09/2020 | 7 días | TERCIO CENTRAL | 45.0 | 47 kg/cm ² |
| 1 x 10 ¹ de <i>Bacillus Subtilis</i> | 16/09/2020 | 23/09/2020 | 7 días | TERCIO CENTRAL | 45.0 | 47 kg/cm ² |
| 1 x 10 ¹ de <i>Bacillus Subtilis</i> | 18/09/2020 | 23/09/2020 | 7 días | TERCIO CENTRAL | 45.0 | 48 kg/cm ² |
| 1 x 10 ¹ de <i>Bacillus Subtilis</i> | 18/09/2020 | 23/09/2020 | 7 días | TERCIO CENTRAL | 45.0 | 47 kg/cm ² |
| 1 x 10 ¹¹ de <i>Bacillus Subtilis</i> | 25/09/2020 | 21/10/2020 | 7 días | TERCIO CENTRAL | 45.0 | 46 kg/cm ² |
| 1 x 10 ¹² de <i>Bacillus Subtilis</i> | 25/09/2020 | 21/10/2020 | 7 días | TERCIO CENTRAL | 45.0 | 48 kg/cm ² |
| 1 x 10 ¹² de <i>Bacillus Subtilis</i> | 25/09/2020 | 21/10/2020 | 7 días | TERCIO CENTRAL | 45.0 | 47 kg/cm ² |



OBSERVACIONES:

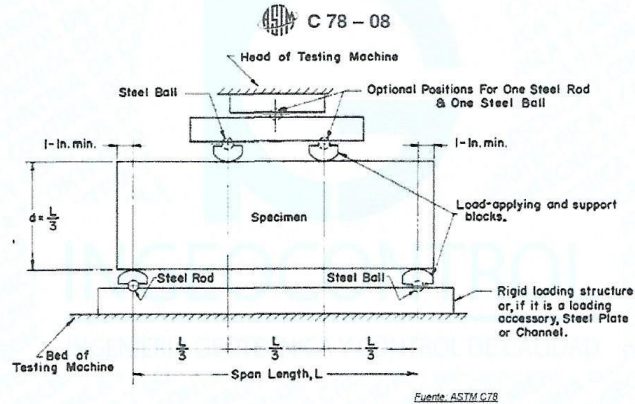
- * Muestras elaboradas y curadas por el personal técnico de INGENCOCONTROL
- * Las muestras cumplen con las dimensiones dadas en la norma de ensayo
- * Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento sin la autorización escrita de INGENCOCONTROL

| | | |
|---|---|---|
| INGEOCONTROL SAC | | |
| TECNICO LEM | JEFE LEM | COC - LEM |
| Nombre y firma  | Nombre y firma  Noemí C. Sánchez Huamán INGENIERA CIVIL - CIP N°: 196029 INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. | Nombre y firma  Jony C. Gutiérrez Abanto GERENTE GENERAL INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. |

| | | | |
|---|--|-----------------|------------------|
|  | INFORME | Código | AE-PO-124 |
| | MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ROTURA DEL HORMIGÓN - CONCRETO | Versión | 01 |
| | | Fecha | 30-04-2018 |
| | | Página | 1 de 1 |
| PROYECTO | Incorporación de bacterias Bacillus Subtilis para mejorar la capacidad autorreparable del concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$, Lima - 2020 | REGISTRO N | IGC20-LEM-244-18 |
| CLIENTE | Nikol Ruiz Humareda / Emir Valverde Tapia | REALIZADO POR | R Leyva |
| SOLICITANTE | Nikol Ruiz Humareda / Emir Valverde Tapia | REVISADO POR | J Gutiérrez |
| UBICACIÓN DE PROYECTO | Lima | FECHA DE ENSAYO | --- |
| FECHA DE EMISIÓN | --- | TURNO | Diurno |
| Tipo de muestra | Concreto endurecido | | |
| Presentación | Prismas de concreto endurecido | | |
| Fc de diseño | 210 kg/cm ² | | |


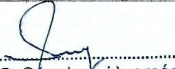

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO ENDURECIDO ASTM C78


| IDENTIFICACIÓN | FECHA DE VACIADO | FECHA DE ROTURA | EDAD | UBICACIÓN DE FALLA | LUZ LIBRE | MÓDULO DE ROTURA |
|--|------------------|-----------------|---------|--------------------|-----------|-----------------------|
| PATRON | 15/09/2020 | 29/09/2020 | 14 días | TERCIO CENTRAL | 45.0 | 80 kg/cm ² |
| PATRON | 15/09/2020 | 29/09/2020 | 14 días | TERCIO CENTRAL | 45.0 | 59 kg/cm ² |
| PATRON | 15/09/2020 | 29/09/2020 | 14 días | TERCIO CENTRAL | 45.0 | 81 kg/cm ² |
| 1 x 10 ¹ de Basillus Suptilis | 16/09/2020 | 30/09/2020 | 14 días | TERCIO CENTRAL | 45.0 | 47 kg/cm ² |
| 1 x 10 ¹ de Basillus Suptilis | 16/09/2020 | 30/09/2020 | 14 días | TERCIO CENTRAL | 45.0 | 45 kg/cm ² |
| 1 x 10 ¹ de Basillus Suptilis | 16/09/2020 | 30/09/2020 | 14 días | TERCIO CENTRAL | 45.0 | 48 kg/cm ² |
| 1 x 10 ¹ de Basillus Suptilis | 19/09/2020 | 3/10/2020 | 14 días | TERCIO CENTRAL | 45.0 | 47 kg/cm ² |
| 1 x 10 ¹ de Basillus Suptilis | 19/09/2020 | 3/10/2020 | 14 días | TERCIO CENTRAL | 45.0 | 48 kg/cm ² |
| 1 x 10 ¹ de Basillus Suptilis | 19/09/2020 | 3/10/2020 | 14 días | TERCIO CENTRAL | 45.0 | 48 kg/cm ² |



OBSERVACIONES:

- * Muestras elaboradas y curadas por el personal técnico de INGEOCONTROL
- * Las muestras cumplen con las dimensiones dadas en la norma de ensayo
- * Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento sin la autorización escrita de INGEOCONTROL

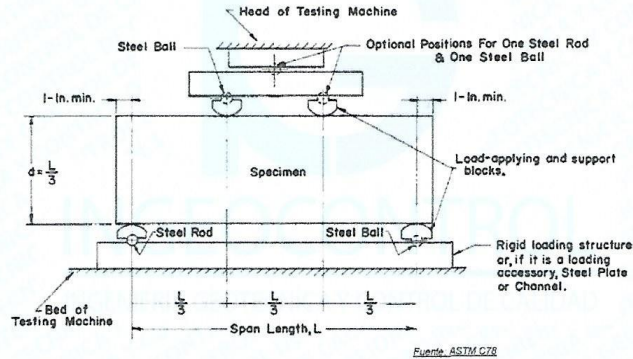
| | | |
|---|--|--|
| INGEOCONTROL SAC | | |
| TECNICO LEM | JEFE LEM | COC - LEM |
| Nombre y firma: | Nombre y firma: | Nombre y firma: |
|  |  Noemi C. Sánchez Huamán INGENIERA CIVIL - CIP N°: 196029 INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. |  Jony C. Gutiérrez Abanto GERENTE GENERAL INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. |

| | | | |
|---|---|-----------------|------------------|
|  | INFORME | Código | AE-FO-124 |
| | MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ROTURA DEL HORMIGÓN - CONCRETO | Version | 01 |
| | | Fecha | 30-04-2018 |
| | | Página | 1 de 1 |
| PROYECTO | Incorporación de bacterias <i>Bacillus Subtilis</i> para mejorar la capacidad autorreparable del concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$, Lima - 2020 | REGISTRO N | IGC20-LEM-244-20 |
| CLIENTE | Nikol Ruiz Humareda / Emir Valverde Tapia | REALIZADO POR | R. Leyva |
| SOLICITANTE | Nikol Ruiz Humareda / Emir Valverde Tapia | REVISADO POR | J. Gutiérrez |
| UBICACIÓN DE PROYECTO | Lima | FECHA DE ENSAYO | --- |
| FECHA DE EMISIÓN | --- | TURNO | Diurno |
| Tipo de muestra | Concreto endurecido | | |
| Presentación | Prismas de concreto endurecido | | |
| Fc de diseño | 210 kg/cm ² | | |

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO ENDURECIDO ASTM C78


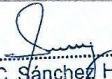

| IDENTIFICACIÓN | FECHA DE VACIADO | FECHA DE ROTURA | EDAD | UBICACIÓN DE FALLA | LUZ LIBRE | MÓDULO DE ROTURA |
|---|------------------|-----------------|---------|--------------------|-----------|-----------------------|
| PATRON | 15/09/2020 | 13/10/2020 | 28 días | TERCIO CENTRAL | 45 0 | 59 kg/cm ² |
| PATRON | 15/09/2020 | 13/10/2020 | 28 días | TERCIO CENTRAL | 45 0 | 57 kg/cm ² |
| PATRON | 15/09/2020 | 13/10/2020 | 28 días | TERCIO CENTRAL | 45 0 | 56 kg/cm ² |
| 1 x 10 ¹ de <i>Bacillus Subtilis</i> | 16/09/2020 | 14/10/2020 | 28 días | TERCIO CENTRAL | 45 0 | 50 kg/cm ² |
| 1 x 10 ¹ de <i>Bacillus Subtilis</i> | 18/09/2020 | 14/10/2020 | 28 días | TERCIO CENTRAL | 45 0 | 48 kg/cm ² |
| 1 x 10 ¹ de <i>Bacillus Subtilis</i> | 16/09/2020 | 14/10/2020 | 28 días | TERCIO CENTRAL | 45 0 | 49 kg/cm ² |
| 1 x 10 ¹ de <i>Bacillus Subtilis</i> | 19/09/2020 | 17/10/2020 | 28 días | TERCIO CENTRAL | 45 0 | 49 kg/cm ² |
| 1 x 10 ² de <i>Bacillus Subtilis</i> | 19/09/2020 | 17/10/2020 | 28 días | TERCIO CENTRAL | 45 0 | 48 kg/cm ² |
| 1 x 10 ¹ de <i>Bacillus Subtilis</i> | 19/09/2020 | 17/10/2020 | 28 días | TERCIO CENTRAL | 45 0 | 50 kg/cm ² |


C 78 - 08



OBSERVACIONES:

- * Muestras elaboradas y curadas por el personal técnico de INGECONTROL
- * Las muestras cumplen con las dimensiones dadas en la norma de ensayo
- * Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento sin la autorización escrita de INGECONTROL

| | | |
|--|--|--|
| INGECONTROL SAC | | |
| TECNICO LEM | JEFE LEM | COO - LEM |
| Nombre y firma.  | Nombre y firma.  Noemi C. Sánchez Huamán INGENIERA CIVIL - CIP N°: 196029 INGENIERIA BIOTÉCNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. | Nombre y firma.  Jony C. Gutiérrez Abanto GERENTE GENERAL INGENIERIA BIOTÉCNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. |

| | | | |
|---|---|---------|------------|
|  | INFORME | Código | AE-FO-78 |
| | DETERMINACIÓN DE pH DEL CONCRETO | Versión | 01 |
| | | Fecha | 19-11-2019 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|-----------------------|---|-----------------|------------------|
| Proyecto | Incorporación de bacterias Bacillus Subtilis para mejorar la capacidad autorreparable del concreto f'c=210 kg/cm ² Lima - 2020 | Registro N° | IGC20-LEM-244-21 |
| Solicitante | Nicol Ruiz Humareda / Emir Valverde Tapia | Muestreado por | Solicitante |
| Atención | Nicol Ruiz Humareda / Emir Valverde Tapia | Ensayado por | B. Melgar |
| Ubicación de Proyecto | Lima | Fecha de Ensayo | 27/10/2020 |
| Material | Concreto endurecido | Turno | Diurno |
| Código de Muestra | --- | | |
| Procedencia | --- | | |
| N° de Muestra | --- | | |
| Progresiva | --- | | |



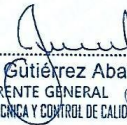
RESULTADO DE pH DEL CONCRETO

| Características | M-1 | M-2 |
|---|-------|-------|
| Concreto Patrón | 12.78 | 12.79 |
| Dosificación 1 x 10 ¹¹ cel/ml | 12.78 | 12.79 |
| Dosificación 1 x 10 ¹² dcel/ml | 12.76 | 12.82 |

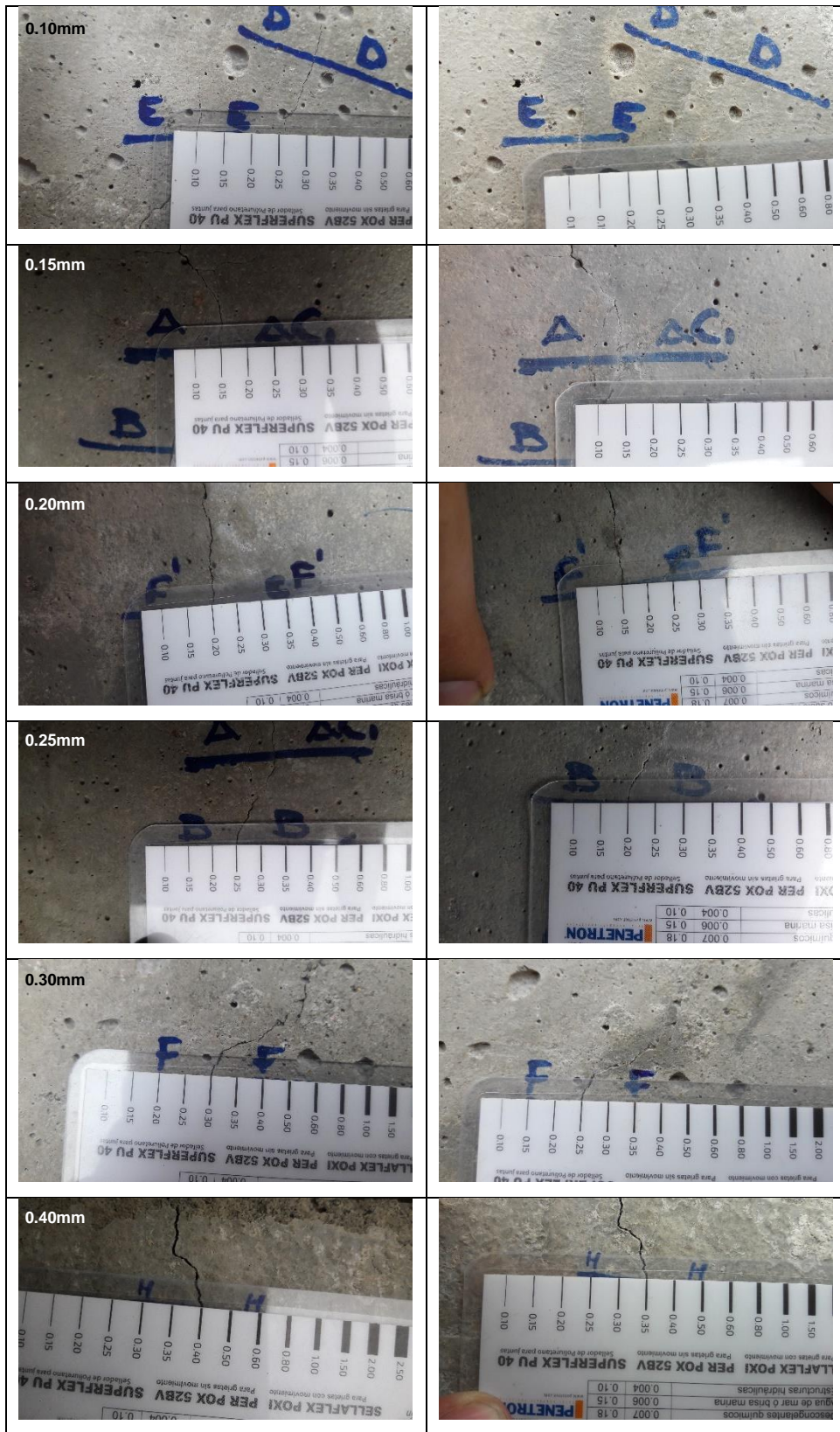
OBSERVACIONES:

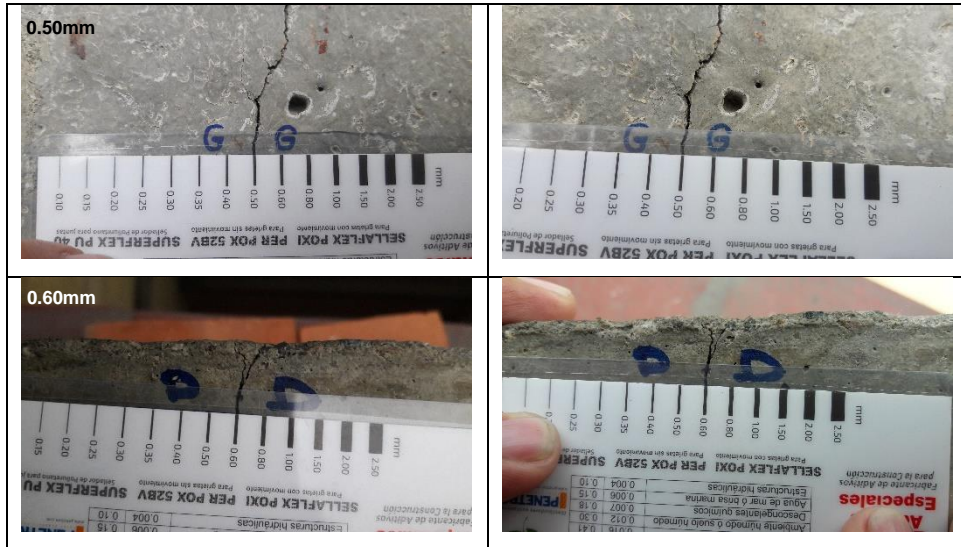
- Las muestras para este ensayo se adquirieron en el laboratorio de INGEOCONTROL
- Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento sin la autorización escrita de INGEOCONTROL



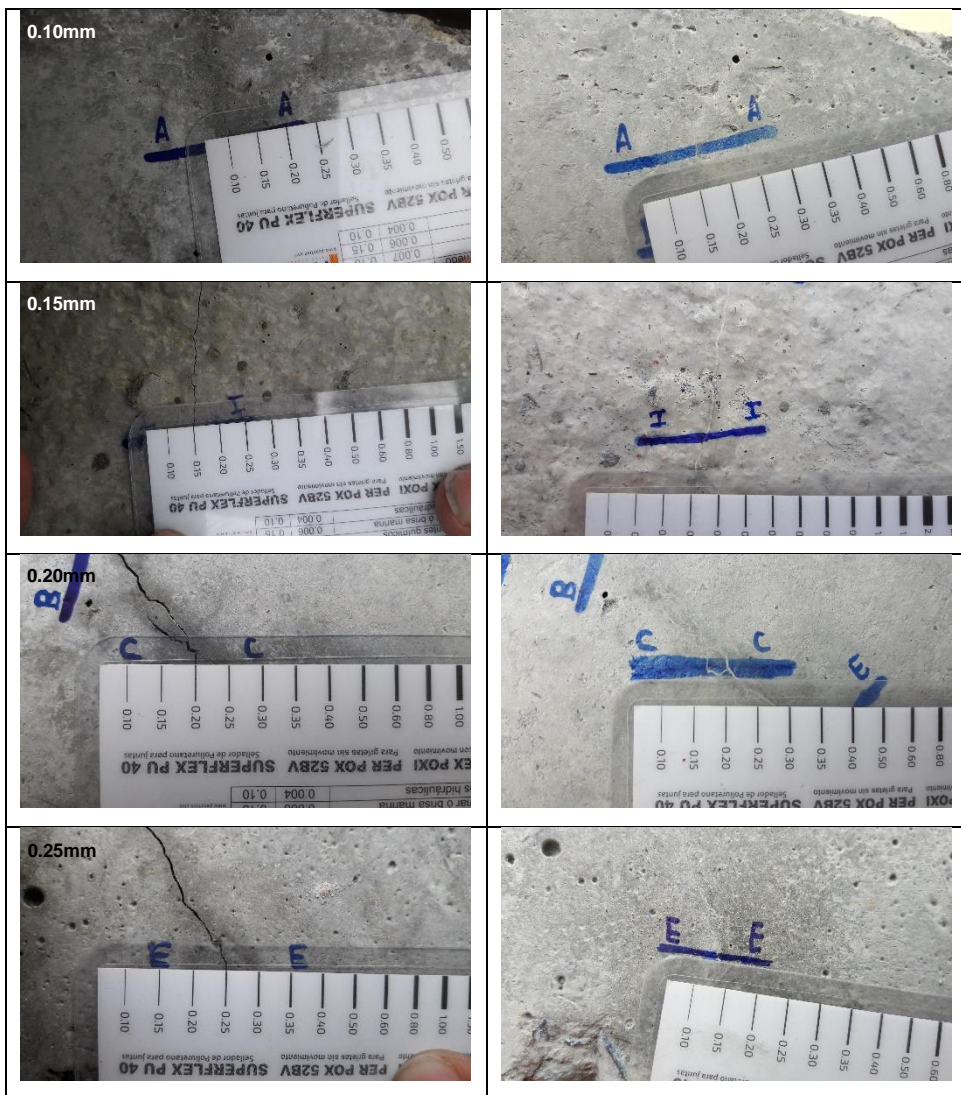
| INGEOCONTROL SAC | | |
|---|--|---|
| TECNICO LEM Nombre y firma  | JEFE LEM Nombre y firma  Noemí C. Sánchez Huamán INGENIERA CIVIL - CIP N°: 196029 INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. | CQC - LEM Nombre y firma  Jony C. Gutiérrez Abanto GERENTE GENERAL INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C. |

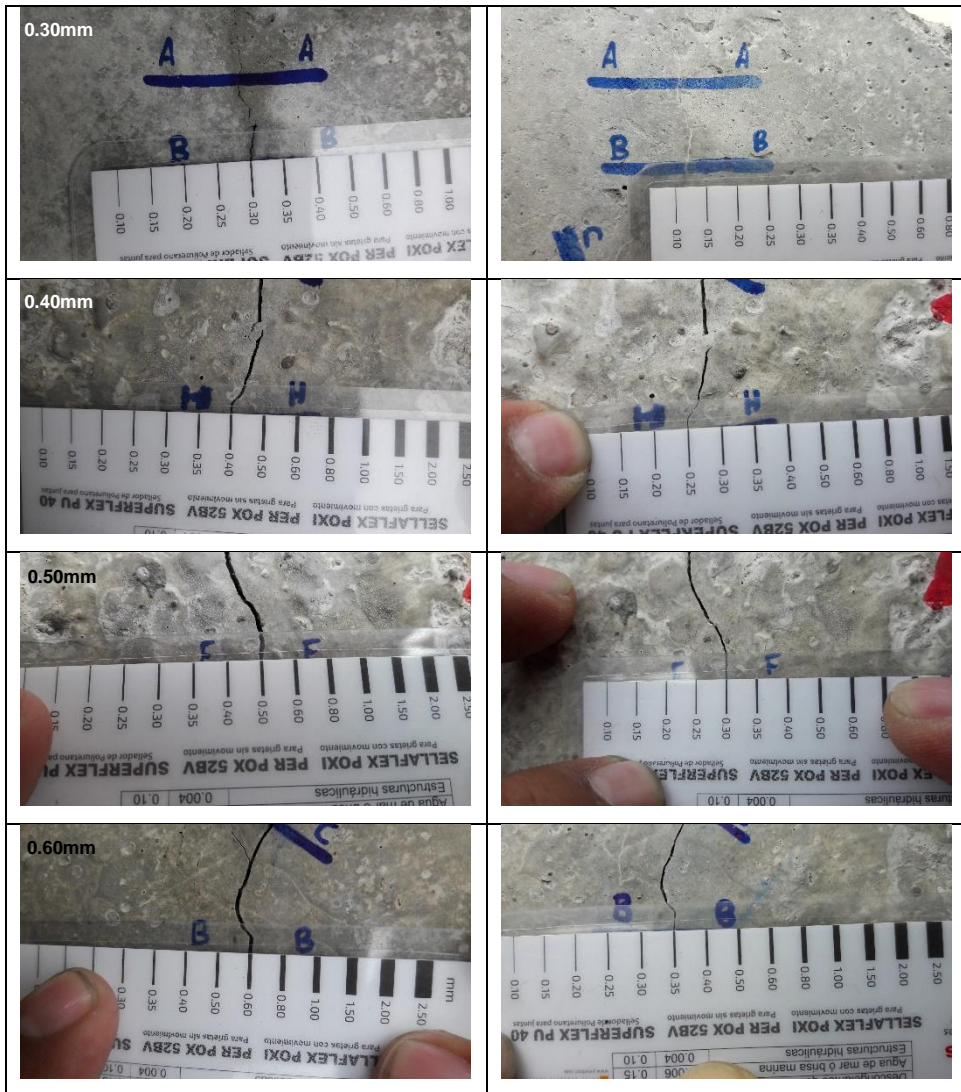
ANEXO 15. Panel Fotográfico



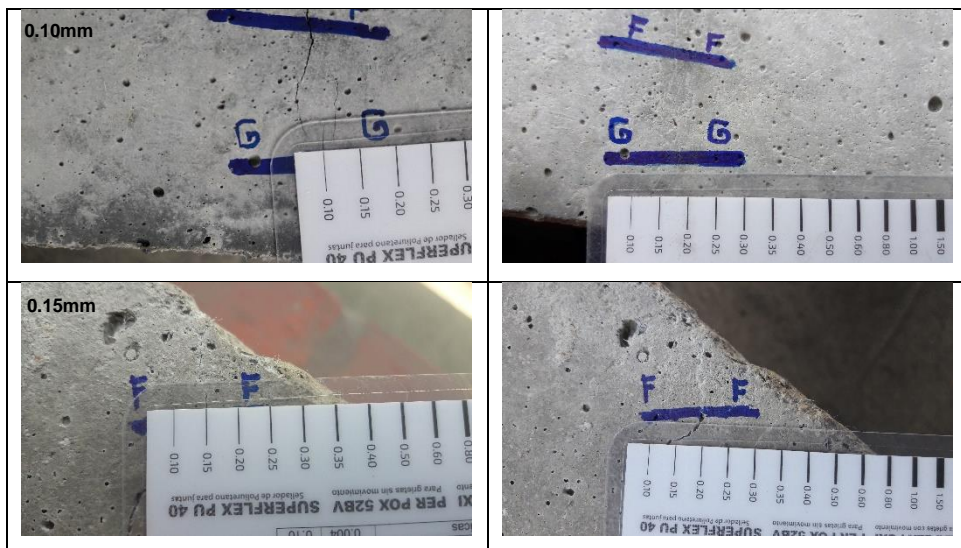


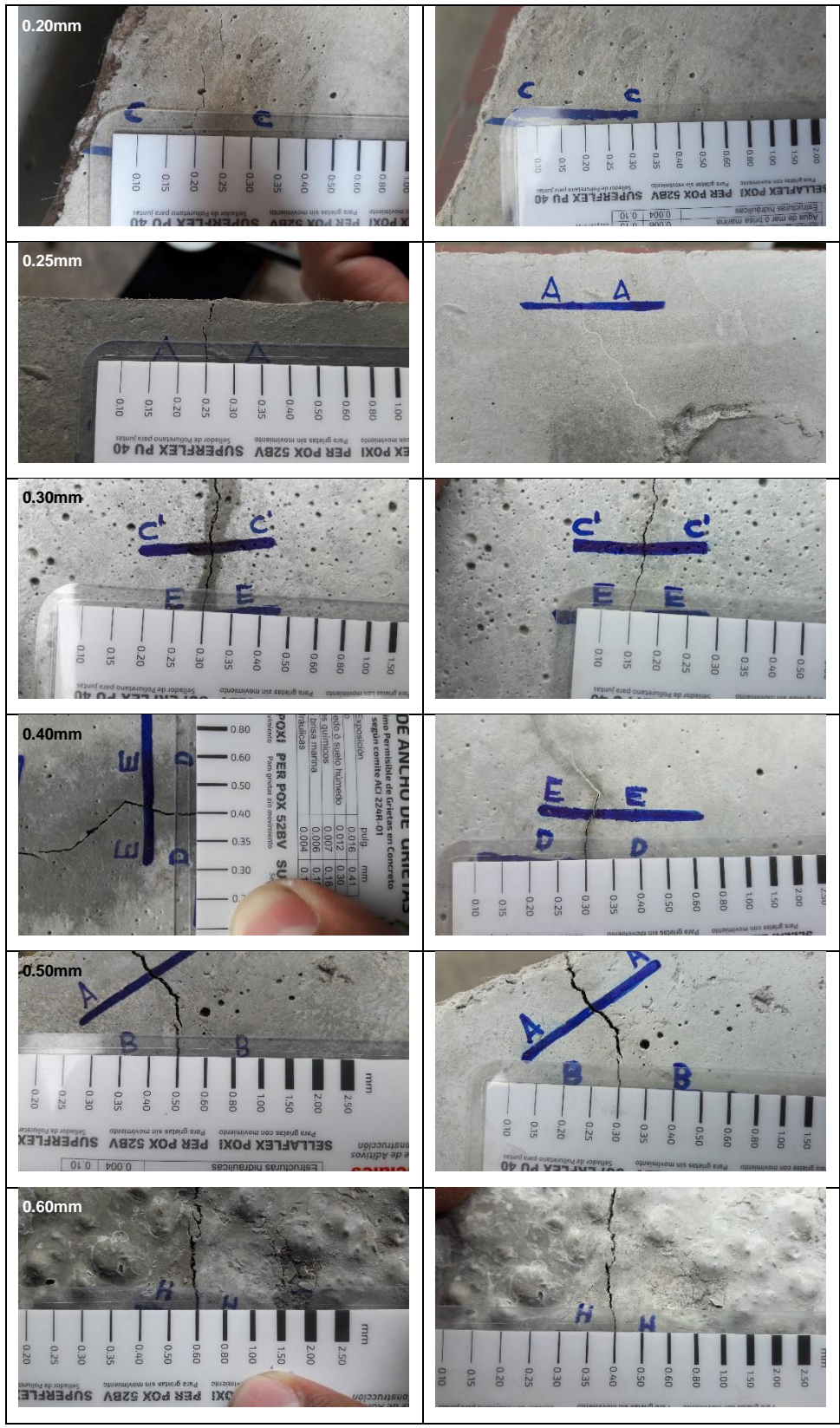
Concreto Patrón





Dosificación 1×10^9 cel/ml





Dosificación 1×10^{12} cel/ml