

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL

MENCIÓN RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE



TESIS

"ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL AGUA EN EL CONCRETO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS (BIOCONCRETO), CUSCO - 2018"

Presentado por:

Br. Renato Héctor Mendoza Nina

Para optar al Grado Académico de
Maestro en Ingeniería Civil

Mención Recursos Hídricos y Medio Ambiente

Asesores:

Mgt. Ing. Nilton Mariano Montoya Jara (Asesor)

Mgt. Blgo. Lugó Miranda Barriga (Coasesor)

CUSCO – PERÚ

2022



Autor: Renato Héctor Mendoza Nina

Orcid: 0000-0002-2454-354X

Correo: 173031@unsaac.edu.pe

Fecha: Agosto 2022

En cumplimiento de los requisitos para el grado de Maestro en Ingeniería Civil
Mención Recursos Hídricos y Medio Ambiente.

Miembros del Jurado evaluador

Dr. Adriel Gamarra Durand (Presidente del Jurado Evaluador)

M.sc. José Francisco Serrano Flores (Primer Replicante)

Dra. Hedy Yiyi Espinoza Carrasco (Segundo Replicante)

Dr. Adan Wilbert Solorzano Montesinos (Primer Dictaminante)

Dra. Greta Margot Paiva Prado (Segundo Dictaminante)

DEDICATORIA

A **Dios** por darme la vida, sabiduría, intuición, inteligencia y por guiar mi camino.

Al **Señor de Huanca**, por ser mi guía, mi luz, y por bendecirme en todas las pruebas de la vida que me toca pasar, lo llevo en mi corazón.

A mi querida y amada madre, **Rosalía Nina Cruz**, por su infinito amor, por sus palabras de aliento, por ser mi ejemplo de: perseverancia, paciencia, constancia, sacrificio y humildad. A ella, por haberme motivado y mostrarme el camino correcto del bien para lograr mis metas. Tan lejos, pero siempre presente Mamá. ¡Cómo te extraño! Cuídanos desde arriba y síguenos bendiciendo. ¡Te Amo Madre Mía!

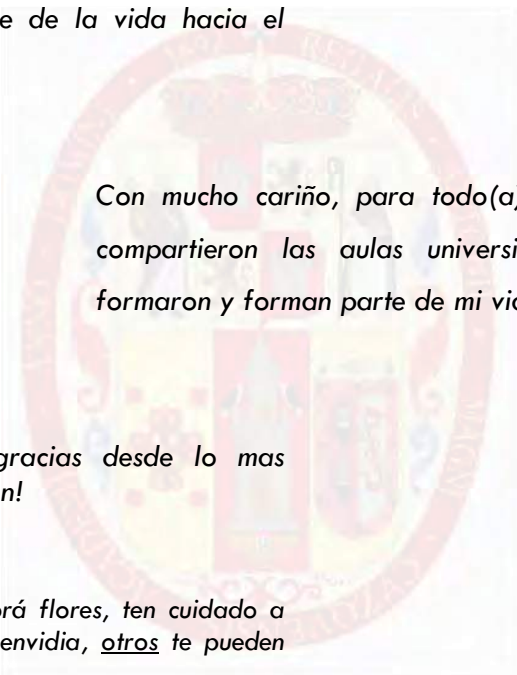
A mi querido padre, por toda su enseñanza, por su sabiduría, por sus sabios consejos, por su motivación y por supuesto por guiarme por el camino correcto del bien.

A mi querida hermana, **Ana María Mendoza Nina**, por ser como mi segunda madre, por su compañía, por su amistad, por sus consejos y alientos, y por formar parte de mi vida diaria desde niños.

A mis amados sobrinos: **Philler Boza Mendoza**, Valeria Boza Mendoza, Niurka Boza Mendoza, Bright Boza Mendoza, Adriana Boza Mendoza; **Kenneth Huamán Mendoza**, Keith Huamán Mendoza, Khabib Huamán Mendoza. A ellos, por ser mi alegría e inspiración de ser niño, por alegrar mis días, y recordarme que todos llevamos ese niño por dentro.

*A la Dra. **Di-Yanira Bravo Gonzales**, Rectora de la Universidad Andina del Cusco, por su apoyo fundamental en la investigación científica de este trabajo, gracias a ella se pudo realizar el presente estudio, y vaya donde vaya, siempre lo recordaré por ser como una madre, una persona buena y solidaria. ¡Dios la bendiga!*

*Con mucha estima, a todos mis **docentes** del pregrado y posgrado, sin olvidarme a quienes partieron de este viaje de la vida hacia el mundo divino.*



Con mucho cariño, para todo(a)s mis compañero(a)s que compartieron las aulas universitarias, y amigo(a)s que formaron y forman parte de mi vida.

¡A ustedes, muchas gracias desde lo mas profundo de mi corazón!

"En la vida siempre habrá flores, ten cuidado a quien echas flores, por envidia, otros te pueden cortar las alas".

"Entre nuestras manos crece el presente y las horas no esperan, y hoy es otro día, otra historia".

Renato Héctor Mendoza Nina

Cusco, agosto del 2022

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haberme guiado por el buen camino, por iluminar mi viaje en esta vida, por ser parte de mi vida diaria, y por supuesto, por darme gotitas de sabiduría para realizar este trabajo de investigación multidisciplinar.

A mis padres y hermanas, por todo su apoyo incondicional para realizar el presente trabajo de investigación (tesis). Prácticamente, se tuvo que, recopilar información, procesar e investigar desde el año 2016 en temas de bioconcreto (self-healing concrete). A ellos, por toda su paciencia, motivación, apoyo y comprensión. ¡Siempre los llevo en mi corazón!

A la Universidad Andina del Cusco, Facultad de Ciencias de la Salud, por el apoyo con los Laboratorios de Ciencias Básicas, Laboratorio de Investigación I y II, para el desarrollo del componente biológico; Facultad de Ingeniería y Arquitectura, por el apoyo con el laboratorio de suelos, materiales, concreto y asfalto, para desarrollar el componente de ingeniería.

A la Dra. Di-Yanira Bravo Gonzales, cuando inicié con el estudio del Bioconcreto en el año 2016, en aquel momento ella, Vicerrectora de Investigación de la Universidad Andina del Cusco, mostró todo el interés para brindar el apoyo necesario para la investigación multidisciplinaria; en el año 2018, para esta investigación, lo propio, con la solidaridad que le caracteriza brindó su apoyo para el desarrollo del presente trabajo de investigación. Un agradecimiento muy especial para Ud. Dra. Di-Yanira, actual Rectora de la Universidad Andina del Cusco.

A la Decana de la Facultad de Ciencias de la Salud – UAC, Dra. Herminia Naveda Cahuana, por permitir realizar el trabajo de Investigación.

A la Directora de los laboratorios de la Facultad de Ciencias de la Salud – UAC, Dra. Angelica Anchari Morales, por permitir realizar el trabajo de Investigación.

A mi asesor de tesis, el Mgt. Ing. Nilton Mariano Montoya Jara, por su apoyo, sugerencia, orientación y supervisión del presente trabajo de investigación.

A mi coasesor, Mgt. Blgo. Lugó Miranda Barriga, por ser guía y apoyo en el proceso metodológico de la parte microbiológica del trabajo de investigación.

Con mucha estima, reconocimiento y gran admiración a mi querido docente y asesor del pregrado, Dr. Ing. Víctor Chacón Sánchez, por su enseñanza, apoyo y orientación en la elaboración del trabajo de investigación (el mejor docente en Metodología de la Investigación).

A la M.S.c. Yara Wehbe, Civil Engineering at University of Miami, por su apoyo en este proceso de la investigación científica.

Al M.S.c. Martin Megalla, Civil Engineering at Delft University of Technology, por su apoyo en este proceso de la investigación científica.

A la Mgt. Elsa Gladys Aguilar Ancori, por facilitarme el laboratorio de Microbiología e inmunología de la Facultad de Ciencias Biológicas – UNSAAC, para el uso de la centrífuga.

A la Mgt. Luz Jacqueline Aragón Alencastre, por su apoyo en la determinación del análisis de carbonatos en el Laboratorio de Área Química Analítica – UNSAAC.

A la Téc. Lab. Vilma Béjar Lívano, por sus orientaciones y tips en el componente biológico.

Renato Héctor Mendoza Nina

Cusco, agosto del 2022

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	iii
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xix
ABSTRAC.....	xxi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	5
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	5
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	7
1.2.1. PROBLEMA GENERAL.....	7
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	7
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	8
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	10
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	10
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
CAPITULO II.....	11
MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....	11
2.1. BASES TEÓRICAS.....	11
2.1.1. Concreto.....	11
2.1.2. Bacterias.....	16
2.2. MARCO CONCEPTUAL.....	22
2.3. ANTECEDENTES EMPÍRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	23

CAPITULO III	27
HIPÓTESIS Y VARIABLES	27
3.1. HIPÓTESIS	27
3.1.1. HIPÓTESIS GENERAL	27
3.1.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	27
3.2. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES E INDICADORES	28
3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	29
CAPITULO IV.....	30
METODOLOGÍA.....	30
4.1. ÁMBITO DE ESTUDIO: LOCALIZACIÓN POLÍTICA Y GEOGRÁFICA	30
4.2. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	31
4.3. UNIDAD DE ANÁLISIS	32
4.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO	32
4.5. TAMAÑO DE MUESTRA	33
4.6. TÉCNICAS DE SELECCIÓN DE MUESTRA	35
4.6.1. Material biológico.....	35
4.7. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	35
4.7.2. Lectura de la concentración bacteriana	37
4.7.3. Formación de esporas bacterianas	39
4.7.4. Obtención de esporas bacterianas	42
4.7.5. Muestreo de agregados.....	44
4.7.6. Ensayo de resistencia a la abrasión.....	45
4.7.7. Granulometría de los agregados.....	50
4.7.8. Contenido de humedad de los agregados.....	57
4.7.9. Peso específico y absorción de los agregados	61
4.7.10. Peso unitario de los agregados.....	66
4.7.11. Preparación de la mezcla de concreto	69
4.7.12. Curado de prismas de concreto	79

4.7.13. Rotura intencional de muestras de concreto.....	80
4.7.14. Preparación de la solución bacteriana	85
4.7.15. Aplicación de solución bacteriana	93
4.7.16. Prueba de permeabilidad.....	97
4.7.17. Observación a estereoscopio.....	104
4.8. TÉCNICAS DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	105
4.8.1. Análisis de la curva de curva de crecimiento de <i>Bacillus subtilis</i>	105
4.8.2. Análisis de la resistencia a la abrasión y/o desgaste de agregado grueso.....	108
4.8.3. Análisis de la granulometría de los agregados	110
4.8.4. Análisis del contenido de humedad de los agregados.....	115
4.8.5. Análisis del peso específico y porcentaje de absorción de los agregados.....	118
4.8.6. Análisis del peso unitario de los agregados	122
4.8.7. Análisis del diseño de mezclas del concreto (Método del ACI – 211) .	127
4.8.8. Análisis del revenimiento (consistencia - slump) del concreto.....	144
4.8.9. Análisis de la preparación de la solución bacteriana.....	146
4.8.10. Análisis de la aplicación de solución bacteriana (<i>Bacillus subtilis</i>)	146
4.8.11. Análisis de la prueba de permeabilidad.....	147
4.8.12. Análisis de la bio-precipitación (SELF HEALING CONCRETE)	149
4.8.13. Análisis de la observación a estereoscopio	159
CAPITULO V.....	162
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	162
5.1. RESULTADO DEL DESARROLLO DE UN SISTEMA DE REPARACIÓN A BASE BIOLÓGICA.....	162
5.2. RESULTADO DE LA DETERMINACIÓN DE PERMEABILIDAD DEL CONCRETO FISURADO REPARADO MEDIANTE BACTERIAS.	163
5.3. RESULTADO DEL TIEMPO DE PRECIPITACIÓN DE CARBONATO DE CALCIO INDUCIDA POR BACTERIAS.....	170

DISCUSIÓN	178
CONCLUSIONES.....	187
RECOMENDACIONES	189
BIBLIOGRAFÍA	190
ANEXOS	206



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de las fisuras en edificación _____	14
Tabla 2 Población de prismas de concreto _____	32
Tabla 3 Muestras de concreto para ensayo a flexión _____	34
Tabla 4 Muestras de concreto para prueba de permeabilidad después de aplicar la bacteria _____	34
Tabla 5 Serie de tamices para ensayo de abrasión _____	46
Tabla 6 Composición de la muestra de prueba y carga abrasiva _____	48
Tabla 7 Composición de solución A _____	85
Tabla 8 Composición de solución B _____	85
Tabla 9 Tiempo de crecimiento de la bacteria _____	106
Tabla 10 Selección de gradación de la muestra de ensayo _____	108
Tabla 11 Desgaste a la abrasión de agregado grueso de Vicho _____	109
Tabla 12 Verificación de resistencia mecánica de los agregados _____	110
Tabla 13 Límites granulométricos del agregado fino _____	110
Tabla 14 Granulometría de agregado fino combinado y módulo finiza _____	111
Tabla 15 Granulometría (gradación) del agregado grueso _____	114
Tabla 16 Contenido de humedad del agregado fino _____	116
Tabla 17 Contenido de humedad del material de Vicho _____	117
Tabla 18 Peso específico y absorción del agregado fino _____	119
Tabla 19 Peso específico y porcentaje de absorción de agregado grueso _____	121
Tabla 20 Peso unitario suelto de agregado fino _____	123
Tabla 21 Peso unitario compactado de agregado fino _____	124
Tabla 22 Peso unitario suelto de agregado grueso _____	125
Tabla 23 Peso unitario compactado de agregado grueso _____	126
Tabla 24 Propiedades del concreto a diseñar _____	127
Tabla 25 Características del cemento _____	128
Tabla 26 Características físicas de agregados fino y grueso para el diseño de mezclas _____	128
Tabla 27 Valores para determinar la resistencia promedio _____	129

Tabla 28 Asentamiento mínimo y máximo para el tipo de estructura _____	130
Tabla 29 Consistencia y asentamiento _____	130
Tabla 30 Volumen de agua por metro cúbico _____	131
Tabla 31 Contenido de aire atrapado _____	132
Tabla 32 Contenido de aire total _____	132
Tabla 33 Determinación de la relación agua-cemento por resistencia y por durabilidad _____	133
Tabla 34 Relación de agua cemento _____	134
Tabla 35 Volumen de la pasta por metro cúbico _____	135
Tabla 36 Volumen del agregado grueso seco y compactado por unidad de volumen de concreto _____	136
Tabla 37 Volúmenes absolutos _____	138
Tabla 38 Humedad superficial del agregado _____	140
Tabla 39 Aporte de agua de los agregados _____	141
Tabla 40 Volumen de agua efectiva _____	141
Tabla 41 Valores de diseño de concreto por 1 m^3 (Dosificación final) _____	142
Tabla 42 Proporción por peso corregidos por humedad por kilogramo (Kg) de cemento _____	143
Tabla 43 Peso por tandas de una bolsa _____	143
Tabla 44 Proporción por volumen corregidos por humedad por cada pie^3 de cemento _____	143
Tabla 45 Proporción por volumen corregido por humedad por cada m^3 de concreto _____	144
Tabla 46 Revenimiento del concreto _____	145
Tabla 47 Toma de datos de muestras para el ensayo de permeabilidad _____	148
Tabla 48 Permeabilidad de muestras a los 30 días (control) y a los 58 días (con bacteria) _____	164
Tabla 49 Permeabilidad de muestras a los 30 días (control) y a los 86 días (con bacteria) _____	166

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Canal Hidráulico, Pisac - Cusco _____	1
Figura 2. Fotografía izquierda, Tipón - Maravilla de la Ingeniería Inca; fotografía derecha, Ollantaytambo - Baño de la Ñusta _____	1
Figura 3. Fotografía izquierda, canal hidráulico en proceso de construcción; fotografía derecha, canal hidráulico existente _____	5
Figura 4. Canal de agua de los baños termales de Occobamba, Sicuani, Canchis - Cusco _____	8
Figura 5. Hipótesis de la auto-curación del concreto. _____	15
Figura 6. Tipos de bacteria (https://www.vectorstock.com) _____	17
Figura 7. Curva de crecimiento microbiano (Google Scholar) _____	18
Figura 8. Proceso de esporulación de <i>Bacillus subtilis</i> (Online Biology Notes) _____	19
Figura 9. Mecanismo de trabajo de la auto-curación de concreto a base biológica desarrollada en Microlab _____	20
Figura 10. Proceso de extracción de cultivo bacteriano _____	37
Figura 11. Depósito en pequeñas cubetas (12.5 x 12.5 x 45 mm) _____	38
Figura 12. Proceso de medición la concentración bacteriana _____	38
Figura 13. Lectura en el espectrofotómetro _____	39
Figura 14. Cultivo bacteriano en su máxima concentración (crecimiento) _____	40
Figura 15. Lectura en el espectrofotómetro (máxima concentración de bacterias = 1.259) _____	40
Figura 16. Colocación de cultivo bacteriano (<i>Bacillus. subtilis</i>) en baño isotérmico _____	41
Figura 17. Muestras de cultivo bacteriano, después del baño isotérmico _____	42
Figura 18. Proceso de decantación para la centrifugación del cultivo bacteriano _____	42
Figura 19. Izquierda, cultivo bacteriano; derecha, esporas bacterianas _____	43
Figura 20. Esporas bacterianas obtenidas para la investigación (tesis) _____	43
Figura 21. Muestreo de agregado fino y grueso _____	45
Figura 22. Ensayo de abrasión del agregado grueso _____	47
Figura 23. Tamizado del agregado fino (3/8", #4, #8, #16, #30, #50, #100, #200, fondo) _____	52

Figura 24. Pesaje de agregado fino retenido en cada tamiz _____	52
Figura 25. Granulometría de agregado fino _____	52
Figura 26. Muestra de agregado grueso para el tamizado _____	55
Figura 27. Serie de tamices y tamizador eléctrico _____	55
Figura 28. Tamizado del agregado grueso _____	55
Figura 29. Ensayo de peso específico del agregado fino _____	62
Figura 30. Muestra sumergida de agregado grueso _____	64
Figura 31. Ensayo de revenimiento del concreto (consistencia - slump) _____	70
Figura 32. Revenimiento del concreto (consistencia – slump) _____	71
Figura 33. Medición del Slump del concreto _____	71
Figura 34. Proceso de auto-curación de la muestra de concreto fisurado _____	74
Figura 35. Colocación de moldes en superficie plana _____	75
Figura 36. Colocación de acero liso $\emptyset \frac{1}{2}$ " y elaboración de prismas de concreto _____	76
Figura 37. Desmoldeo de prismas de concreto _____	77
Figura 38. Medida de altura del prisma de concreto _____	78
Figura 39. Medida horizontal del prisma de concreto (L=34 cm) _____	78
Figura 40. Prismas de concreto desmoldeados _____	78
Figura 41. Curado de prismas de concreto _____	79
Figura 42. Proceso de medición de los prismas de concreto _____	80
Figura 43. Calibración de máquina universal de ensayos (HUMBOLDT) _____	81
Figura 44. Ensayo a flexión de prismas de concreto _____	81
Figura 45. Ensayo a flexión y creación de fisuras de manera controlada _____	82
Figura 46. Creación de fisuras de manera controlada _____	82
Figura 47. Prisma de concreto fisurado de manera intencional _____	83
Figura 48. Materiales e insumos sacados de la refrigeradora _____	86
Figura 49. Insumos para la preparación de solución A y B _____	87
Figura 50. Insumos + esporas bacterianas para la solución A y B _____	87
Figura 51. Pesaje de insumos _____	88
Figura 52: Adición de insumos a 2000 mL de agua destilada _____	89

Figura 53. Solución A (izquierda) y solución B (derecha) _____	89
Figura 54. Traslado de solución A y B, a laboratorio de investigación II _____	90
Figura 55. Proceso de homogenización en laboratorio de investigación II _____	90
Figura 56. Proceso de homogenización de la solución B _____	91
Figura 57. Solución B, homogenizado _____	91
Figura 58. Solución A y B, completamente homogenizado _____	92
Figura 59. Adición de esporas bacterianas en solución A y B _____	94
Figura 60. Adición de esporas de <i>Bacillus subtilis</i> a solución B _____	94
Figura 61. Solución A final (izquierda); solución B final (derecha) _____	95
Figura 62. Mezcla de solución bio-precipitadora _____	95
Figura 63. Adición de la solución bio-precipitadora para la reparación de prismas fisuradas _____	96
Figura 64. Prismas inmeros en solución bio-precipitadora de CaCO_3 _____	96
Figura 65. Sellado de agujero de prisma _____	98
Figura 66. Permeámetro Recursos Hídricos y Medio Ambiente _____	99
Figura 67. Prueba de permeabilidad antes de la bioprecipitación _____	100
Figura 68. Prueba de permeabilidad sin aplicación de bacterias _____	101
Figura 69. Proceso de Bioprecipitación de CaCO_3 _____	102
Figura 70. Prueba de permeabilidad después de la bio-precipitación _____	102
Figura 71. Adición de 750 mL de agua en envase para la prueba de permeabilidad _____	103
Figura 72. Toma de datos y comparación el antes y después de la permeabilidad _____	103
Figura 73. Observación a estereoscopio de Bioprecipitación _____	104
Figura 74. Curva de crecimiento bacteriana _____	107
Figura 75. Desgaste a la abrasión del agregado grueso _____	109
Figura 76. Granulometría de agregado fino combinado _____	112
Figura 77. Granulometría del agregado grueso (cantera de Vicho) _____	114
Figura 78. Curva granulométrica del agregado grueso _____	115
Figura 79. Contenido de humedad del agregado fino _____	116
Figura 80. Contenido de humedad de agregado grueso _____	117
Figura 81. Peso unitario suelto de agregado fino _____	123

Figura 82. Peso unitario compactado de agregado fino	124
Figura 83. Peso unitario suelto de agregado grueso	125
Figura 84. Peso unitario compactado de agregado grueso	126
Figura 85. Valor porcentual del concreto por m ³	142
Figura 86. Revenimiento del concreto	145
Figura 87. Prismas de concreto fisurado (antes de la curación a base de bacterias)	149
Figura 88. Curación de prismas de concreto fisurado (a base de bacterias)	149
Figura 89. Proceso de auto-curación del concreto a base de bacterias	150
Figura 90. Bio-precipitación de CaCO ₃ a base de bacterias a los 12 días	150
Figura 91. Precipitación de carbonato de calcio en fisuras de concreto	151
Figura 92. Sellado de fisuras a base de bacterias	152
Figura 93. Bioprecipitación de fisuras en prismas de concreto	153
Figura 94. Formación de CaCO ₃ en las fisuras de concreto	154
Figura 95. Bioreparación de fisuras de las muestras de concreto mediante las bacterias (86 días)	155
Figura 96. Proceso de bioprecipitación de CaCO ₃ , mediante la aplicación de <i>Bacillus subtilis</i>	156
Figura 97. Proceso de formación de CaCO ₃ (a base de bacteria con solución A y B)	157
Figura 98. Curación de fisuras del concreto a base de bacterias a los 56 y 84 días	158
Figura 99. Observación a nivel estereoscopio de la precipitación de CaCO ₃	159
Figura 100. Observación mediante estereoscopio	159
Figura 101. Observación a nivel estereoscopio con aumento de 32X	160
Figura 102. Observación a nivel estereoscopio de la precipitación de CaCO ₃	160
Figura 103. Proceso de determinación de carbonato de calcio	161
Figura 104. Comparación de permeabilidad en muestras (30 días - control vs 58 días - con bacteria)	165
Figura 105. Comparación de permeabilidad en muestras (30 días - control vs 86 días - con bacteria)	167
Figura 106. Comparación de permeabilidad en muestras (30 días - control vs 86 días - con bacteria)	168
Figura 107. Precipitación de CaCO ₃ por acción microbiana	171
Figura 108. Bioreparación de fisuras (self healing concrete by use of bacteria to repair cracks in concrete)	172
Figura 109. Fisura de concreto reparado con CaCO ₃ a base de bacterias a los 47 días	173

Figura 110. Autosación del concreto a base de bacterias a los 86 días (self healing concrete by use of bacteria).	174
Figura 111. Fisura de concreto reparado mediante la aplicación de bacterias.	175
Figura 112. Observación estereoscópica de CaCO_3 a base de bacterias a los 58 días.	176
Figura 113. Observación estereoscópica de CaCO_3 a base de bacterias a los 86 días.	177
Figura 114. Observación SEM de muestra fisurada con <i>B. subtilis</i> + zeolita después de 1 mes de curación (Bhaskar, 2016).	178
Figura 115. Precipitado de CaCO_3 y auto-reparación de la fisura del concreto.	179
Figura 116. Espécimen curado con <i>Bacillus subtilis</i> antes (arriba) y después de la carga (abajo) mostrando la desviación de la formación de fisuras (Bhaskar, 2016).	179
Figura 117. Auto-curado de fisuras de concreto a base de bacterias después de 86 días.	180
Figura 118. Imágenes de superficie de especímenes después de diferentes tiempos de curación (Qian, Chen, Ren, y Luo, 2015).	181
Figura 119. Proceso de autocuración de fisura de concreto.	181
Figura 120. Bioprecipitación de calcita por metabolismo bacteriano.	182
Figura 121. Prueba de permeabilidad de la muestra de concreto fisurado a los 30 días sin la aplicación de bacteria vs prueba de permeabilidad mediante la aplicación de bacteria a los 86 días	183
Figura 122. (a) Foto a microscopio de la fisura en una muestra de concreto antes de la autorreparación, (b) Foto de la misma fisura seis semanas después.	184
Figura 123. Observación a estereoscopio (32X) del sellado de fisuras (86 días) con la aplicación de bacterias (Renato H Mendoza N).	184
Figura 124. Imágenes estereoscópicas microscópicas	185
Figura 125. Sellado de fisuras (< 1.00mm de ancho) del concreto a base de bacterias a los 58 días	185
Figura 126. Curación del concreto fisurado a base de bacterias metabolizadoras	186
Figura 127. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 1. A los 30 días (sin aplicación de bacteria) vs 58 días (curado mediante la aplicación de solución bacteriana).	232

Figura 128. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 1. A los 30 días (sin solución A y B) vs 58 días (con solución A y B). _____	232
Figura 129. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 2 _____	233
Figura 130. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 2 _____	233
Figura 131. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 3 _____	234
Figura 132. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 3 _____	234
Figura 133. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 4 _____	235
Figura 134. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 4 _____	235
Figura 135. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 5 _____	236
Figura 136. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 5 _____	236
Figura 137. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 6 _____	237
Figura 138. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 6 _____	237
Figura 139. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 7 _____	238
Figura 140. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 7 _____	238
Figura 141. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 8 _____	239
Figura 142. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 8 _____	239
Figura 143. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 9 _____	240
Figura 144. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 9 _____	240
Figura 145. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 10 _____	241
Figura 146. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 10 _____	241
Figura 147. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 11 _____	242
Figura 148. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 11 _____	242
Figura 149. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 12 _____	243
Figura 150. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 12 _____	243
Figura 151. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 13 _____	244
Figura 152. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 13 _____	244
Figura 153. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 14 _____	245
Figura 154. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 14 _____	245
Figura 155. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 15 _____	246

Figura 156. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 15 _____	246
Figura 157. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 16 _____	247
Figura 158. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 16 _____	247
Figura 159. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 17 _____	248
Figura 160. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 17 _____	248
Figura 161. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 18 _____	249
Figura 162. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 18 _____	249
Figura 163. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 19 _____	250
Figura 164. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 19 _____	250
Figura 165. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 20 _____	251
Figura 166. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 20 _____	251
Figura 167. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 21 _____	252
Figura 168. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 21 _____	252
Figura 169. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 22 _____	253
Figura 170. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 22 _____	253
Figura 171. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 23 _____	254
Figura 172. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 23 _____	254
Figura 173. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 24 _____	255
Figura 174. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 24 _____	255
Figura 175. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 25 _____	256
Figura 176. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 25 _____	256
Figura 177. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 26 _____	257
Figura 178. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 26 _____	257
Figura 179. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 27 _____	258
Figura 180. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 27 _____	258
Figura 181. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 28 _____	259
Figura 182. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 28 _____	259
Figura 183. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 29 _____	260
Figura 184. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 29 _____	260

Figura 185. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 30 _____	261
Figura 186. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 30 _____	261
Figura 187. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 31 _____	262
Figura 188. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 31 _____	262
Figura 189. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 32 _____	263
Figura 190. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 32 _____	263



RESUMEN

La autocuración de las fisuras en el concreto mediante la aplicación de bacterias que convierten metabólicamente los compuestos en condiciones aeróbicas en calcita (CaCO_3) pudiendo sellar las fisuras, está dada por la investigación multidisciplinaria - interdisciplinaria en la confluencia de microbiología, química e ingeniería civil. Las infraestructuras a base de concreto, muchas veces tienden a fisurarse por movimientos sísmicos, asentamientos diferenciales, cambios bruscos de temperatura y presencia de humedad. Las mismas que, por estas fisuras pueden ingresar el agua y otras sustancias nocivas, con el paso del tiempo puede afectar al acero y reducir su resistencia y durabilidad, teniendo como efecto la falla estructural de las construcciones, trayendo consigo pérdidas económicas y ambientales. El presente trabajo de investigación científica multidisciplinaria trata sobre el bioconcreto, la cual es el proceso autocurativo a base biológica. El objetivo principal de la investigación es analizar la permeabilidad del concreto fisurado mediante la aplicación de bacterias. El presente estudio tiene dos áreas específicas que se desarrolló tanto el componente biológico e ingenieril. Se utilizó la especie *Bacillus subtilis* y prismas de concreto (100 mm x 100 mm x 340 mm). La parte experimental es referida al cultivo de la bacteria y la obtención de esporas bacterianas; por otra parte, el componente ingenieril fue la elaboración del concreto con una resistencia a flexión de $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, la misma que se asemeja a elementos estructurales de las infraestructuras. La aplicación de la solución bioreparadora fue en las fisuras mediante el proceso de inmersión de muestras de concreto, donde las bacterias indujeron la precipitación de calcita en las fisuras. La evaluación del efecto curativo de las fisuras ($e \leq 1 \text{ mm}$) se determinó mediante la prueba de permeabilidad a los 30 días sin la aplicación de bacterias; a los 54 y 86 días con la aplicación de bacterias. Asimismo, la curación de las fisuras se analizó mediante un estereoscopio con aumento de 16X y 32X.

Los Resultados experimentales indicaron que, las fisuras de las muestras de concreto que no fueron tratados con las bacterias no fueron bioreparadas por tal motivo la permeabilidad en estas muestras fue mayor en comparación con muestras que fueron tratados con las bacterias. Así mismo, cabe indicar que, estos resultados tuvieron tres criterios fundamentales: la formación del carbonato de calcio en las fisuras, el sellado de fisuras menor o igual a 1 mm de ancho, y la reducción de la permeabilidad de las fisuras. La prueba de permeabilidad, la observación a estereoscopio, y el análisis químico de los carbonatos revelaron que se produjo la curación de las fisuras en las muestras de prismas de concreto tratado con bacterias a los 54 y 86 días. Es preciso indicar que, este estudio es importante para futuras investigaciones e implementación de este producto innovador en el mercado, teniendo en cuenta la Política Nacional del Ambiente 2030 del Ministerio del Ambiente del Estado Peruano y la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.

Palabras claves: Bioconcreto, permeabilidad, bacteria, autocuración, bioprecipitación.

ABSTRAC

The self-healing of cracks in concrete through the application of bacteria that metabolically convert compounds under aerobic conditions into calcite (CaCO_3) and can seal the cracks, is provided by multidisciplinary - interdisciplinary research at the confluence of microbiology, chemistry and civil engineering. Concrete-based infrastructures often tend to crack due to seismic movements, differential settlements, sudden changes in temperature and the presence of humidity. Water and other harmful substances can enter through these cracks, which over time can affect the steel and reduce its strength and durability, resulting in the structural failure of buildings, bringing with it economic and environmental losses. The present multidisciplinary scientific research work deals with bioconcrete, which is a self-healing process based on biological. The main objective of the research is to analyze the permeability of cracked concrete through the application of bacteria. The present study has two specific areas that developed both the biological and engineering components. *Bacillus subtilis* species and concrete prisms (100 mm x 100 mm x 340 mm) were used. The experimental part refers to the cultivation of the bacteria and the obtaining of bacterial spores; on the other hand, the engineering component was the elaboration of concrete with a flexural strength of $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, which resembles structural elements of the infrastructures. The application of the biorepair solution was in the cracks through the process of immersion of concrete samples, where the bacteria induced the precipitation of calcite in the cracks. The evaluation of the crack healing effect ($e \leq 1 \text{ mm}$) was determined by the permeability test at 30 days without the application of bacteria; at 54 and 86 days with bacteria application. The healing of the fissures was also analyzed using a stereoscope with 16X and 32X magnification. The experimental results indicated that the cracks in the concrete samples

that were not treated with the bacteria were not biorepaired and therefore the permeability in these samples was higher compared to samples that were treated with the bacteria. It should also be noted that these results were based on three fundamental factors: formation of calcium carbonate in cracks, sealing of cracks less than or equal to 1 mm wide, and reduction of crack permeability. Permeability testing, stereoscopic observation, and chemical analysis of carbonates revealed that crack healing occurred in the bacteria-treated concrete prism samples at 54 and 86 days. It should be noted that this study is important for future research and implementation of this innovative product in the market, taking into account the National Environmental Policy 2030 of the Peruvian Ministry of the Environment and the 2030 Agenda for Sustainable Development.

Keywords: Bioconcrete, permeability, bacteria, self-healing, bioprecipitation.

INTRODUCCIÓN

En la región Cusco desde el nacimiento de la cultura Inca (aproximadamente hace 500 años), se construyeron canales hidráulicos, acueductos y grandes fuentes de agua. Símbolo de una Maravilla en Ingeniería Hidráulica de los Incas, las mismas que persisten con el paso del tiempo.



Figura 1. Canal Hidráulico, Pisac - Cusco.

En la actualidad existen varios canales de irrigación, funcionando y proveyendo a los parques arqueológicos como: Tipón, Sacsayhuamán, Pisac, Ollantaytambo, Machupicchu, todas ubicadas en el departamento de Cusco – Perú.



Figura 2. Fotografía izquierda, Tipón - Maravilla de la Ingeniería Inca; fotografía derecha, Ollantaytambo - Baño de la Ñusta.

Estas estructuras hidráulicas Incas, a base de piedras talladas, transportan el agua sin haber sufrido daño alguno por el paso del tiempo. Sin embargo, las estructuras hidráulicas a base de concreto, muchas veces tienden a fisurarse por cambios bruscos de temperatura, pH, las mismas que, con el paso del tiempo puede variar su resistencia y durabilidad.

El concreto es el segundo material más consumido en la tierra, siguiendo al agua. En todo el mundo se incurren en grandes costos para reparar fisuras en concreto. Para la reparación de fisuras, una variedad de técnicas está disponibles, pero la mayoría de los sistemas tradicionales de reparación son químicos, costosos y conducen a los riesgos ambientales y de salud. (Krishnapriya, Venkatesh y Prince, 2015)

Es mejor la curación del concreto cuando aparece recientemente la fisura. Existen polímeros estudiados para la reparación. Empero, la precipitación de CaCO_3 por parte de las bacterias puede ser utilizado para la autocuración del concreto. Es más compatible con la mezcla de concreto y es *favorable al medio ambiente*. (Wang, Van Tittelboom, De Belie y Verstraete, 2012)

Con el fin de aumentar la frecuencia autógena el potencial de curación de fisuras del concreto, se pueden incorporar agentes curativos específicos en la matriz de concreto (Wiktor y Jonkers, 2011). Las causas primarias de la curación autógena se consideran basadas en factores químicos, físicos y mecánicos (Schlangen y Joseph, 2009; Edvardsen, 1999). En general, hay tres mecanismos asociados con la precipitación de bio-carbonato. Una es la reducción del sulfato realizada por bacterias reductoras de sulfato en condiciones anóxicas. El segundo es la degradación de ácidos orgánicos. Otra vía está relacionada con el ciclo del nitrógeno, en particular la degradación de la urea por bacterias ureolítica (De Muyneck W. , 2009).

Las causas naturales que afectan la durabilidad y por lo tanto la vida útil del concreto están relacionadas con el daño superficial y el fisuramiento del material. Las fisuras pueden influir en la funcionalidad de las estructuras de retención de líquidos y también pueden disminuir la durabilidad debido a la entrada de agua e iones hacia el refuerzo de acero, lo que conduce a la corrosión (Tziviloglou, Jonkers y Schlangen, 2014). Sin embargo, el deterioro de la edad temprana no es fácil de predecir y la formación de microfisuras, por ejemplo, conduce a un aumento significativo de la permeabilidad del concreto. La penetración posterior de sustancias corrosivas agresivas puede conducir a la corrosión prematura del refuerzo y al fallo temprano de la estructura (Wiktor y Jonkers, 2014).

En los últimos años, la producción de cemento a nivel mundial viene aumentando. Según (Jonkers, Thijssen, Muyzer, Copuroglu y Schlangen, 2010), afirman que, el 7 % de CO₂ emitido a la atmósfera es debido a la producción del cemento. Por ende, es fundamental elaborar concretos sostenibles, para tener un ambiente ecológico. Uno de estos mecanismos que recibe atención creciente en los últimos años, es la capacidad de autorreparación, es decir, la curación autónoma de fisuras en concreto (Jonkers *et al.*, 2010). La bio-deposición, un método por el cual la precipitación del carbonato de calcio (CaCO₃) es inducida por bacterias, se ha propuesto como un interesante enfoque alternativo para proteger los materiales de construcción. Varias vías están involucradas en la inducción microbiana de precipitación (MIP). Entre ellos, la hidrólisis enzimática de la urea en un medio rico en calcio es el sistema más común usado (Dhami, Reddy y Mukherjee, 2012).

Las paredes celulares bacterianas podrían actuar como una mezcla prometedora de concreto con beneficios en mejorar el rendimiento mecánico y mejorar otras propiedades relacionadas con la carbonatación (Pei, Liu, Wang y Yang, 2013).

El concreto auto-curable es un producto producido biológicamente en piedra caliza, para curar fisuras que aparecen en la superficie de estructuras de concreto. Se agregan a los componentes del concreto, cuando se mezcla, tipos especialmente seleccionados del género *Bacillus*, junto con nutriente calcio, como lactato de calcio, nitrógeno y fósforo. Estos agentes de auto-curación pueden permanecer inactivos dentro del concreto hasta 200 años (Vekariya y Pitroda, 2013).

Esta nueva tecnología puede proporcionar vías para caminos de bajo costo y duraderos, edificios de alta resistencia con más capacidad de carga, bancos de río de larga duración, prevención de erosión de arenas sueltas y viviendas duraderas de bajo costo. La emisión de gases de efecto invernadero y la alta energía consumida durante la producción de estos materiales durante los procesos de fabricación de materiales de construcción está contribuyendo a una cantidad perjudicial para el calentamiento global. Junto con esto, el alto costo de construcción de materiales de construcción. Por lo tanto, el material bacteriano como un material inteligente que se puede utilizar en el área de construcción para mejorar el rendimiento de la estructura en la nueva era (Vekariya y Pitroda, 2013, p. 4134).

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

El concreto en infraestructuras hidráulicas tiene muchas ventajas en sus propiedades mecánicas, el bajo costo, la durabilidad. Sin embargo, estas estructuras hidráulicas por asentamientos diferenciales, cambios de temperatura, presencia de humedad y movimientos sísmicos, las mismas pueden sufrir fisuraciones, adicionado a ello, muchas veces expuesto a ambientes con presencia de sustancias químicas como el ion cloruro, pueden ingresar a la estructura hidráulica provocando el deterioro del concreto y la corrosión del acero en las estructuras hidráulicas, trayendo consigo pérdidas económicas y ambientales.

En la actualidad en la región Cusco, como en el país (Perú) con el desarrollo de infraestructuras se tiende a construir canales de riego de concreto, pero a veces por diferentes fenómenos indicadas, tienden a fisurarse las estructuras nuevas y existentes.



Figura 3. *Fotografía izquierda, canal hidráulico en proceso de construcción; fotografía derecha, canal hidráulico existente.*

La presencia de fisuras en el concreto son la principal razón para una menor vida útil de las estructuras. Por lo tanto, es más aconsejable y económico para restringir el desarrollo de pequeñas fisuras en las que aparezcan, que para repararlas después de que se han desarrollado a las fisuras grandes.

Por ello, es preciso tomar en cuenta la bio-reparación de estas estructuras mediante la aplicación de bacterias precipitadoras de carbonato de calcio (CaCO_3), las mismas que sellan las fisuras y no contaminan al ambiente. Además, esta aplicación a base de bacteria *Bacillus subtilis* es amigable con el medio ambiente.



1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

- ¿De qué manera influye la aplicación de bacteria *Bacillus subtilis* en la permeabilidad del concreto auto-curable fisurado, Cusco - 2018?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cuál es el sistema de reparación a base biológica del concreto fisurado con características de impermeabilidad al agua?
- ¿Cuál es la permeabilidad del concreto fisurado ($e \leq 1.0$ mm) mediante la aplicación de bacterias bioprecipitadoras a los 0, 28 y 56 días?
- ¿Cuál es el tiempo de precipitación de carbonato de calcio inducida por la bacteria *Bacillus subtilis* dentro de la fisura del concreto?

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En la naturaleza existen microorganismos que son capaces de precipitar carbonatos, forman acumulación de capas con el paso del tiempo. Una muestra clara se observa en Aguas Calientes de Occobamba. Aquí, por la presencia de elementos y microorganismos se ha formado capas de mineral, los mismos que han hecho que, estas estructuras sean impermeables.



Figura 4. Canal de agua de los baños termales de Occobamba, Sicuani, Canchis - Cusco.

Las fisuras en el concreto son la principal razón para una menor vida útil de las estructuras de concreto. Por lo tanto, es más aconsejable y económico restringir el desarrollo de pequeñas fisuras de la edad temprana en el momento en que aparecen, que repararlas después de que se han desarrollado a grandes fisuras.

La aplicación de bacteria *Bacillus subtilis* para la bioreparación de concreto fisurado mediante la precipitación de carbonato de calcio (CaCO_3), en canales hidráulicos, puede evitar el ingreso de sustancias corrosivas y dañinas que pueden deteriorar al concreto y corroer al acero de la estructura hidráulica.

La bio reparación de fisura de estructuras hidráulicas se puede lograr mediante la aplicación de bacterias del género Bacillus, estas bacterias mediante la presencia de oxígeno precipitan CaCO_3 y sellan las fisuras ($< 1.0 \text{ mm}$).

La aplicación de bacterias proporcionará la impermeabilización del concreto fisurado, el cual mejorará la durabilidad, impermeabilidad y será ambientalmente seguro. Así mismo, la precipitación de CaCO_3 a base de bacterias ha demostrado ser mejor que muchas tecnologías convencionales debido a su naturaleza ecológica y auto-curativa. Los sistemas tradicionales de reparación de fisuras tienen varias desventajas como: la diferente expansión térmica, la salud y el medio ambiente.

Este proceso de utilización de bacterias en el concreto, es un nuevo método prometedor. La investigación en este aspecto se centra más en la aplicación de bacterias en el concreto; más que en las propiedades mecánicas.

Mediante este proceso de auto-curación del concreto, se puede aplicar las bacterias como agente reparador, las mismas que son eco-amigables con el ambiente. De ahí, las futuras construcciones a base de estos microorganismos se llamarán bioconcreto.

La ventaja en el futuro será ahorrar energía, tiempo y además aumentar la impermeabilidad y la durabilidad de la estructura. Es decir, ahorrar dinero y proteger el ambiente responsablemente.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

- Analizar la permeabilidad del concreto fisurado mediante la aplicación de bacteria *Bacillus subtilis*.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar un sistema de reparación a base biológica del concreto que presente características de impermeabilidad al agua.
- Determinar la permeabilidad del concreto fisurado ($e \leq 1.0$ mm) mediante la aplicación de bacterias reparadoras a los 0, 28 y 56 días.
- Determinar el tiempo de la precipitación de carbonato de calcio inducida por bacteria *Bacillus subtilis* dentro de la fisura.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1. BASES TEÓRICAS

2.1.1. Concreto

El concreto esta formado por mezcla de cemento (aglutinante), agregado, agua y aditivos en diferentes proporciones dependiendo de la función y de las resistencias requeridas. El concreto sobreviviente más antiguo conocido se encuentra en la ex Yugoslavia y se cree que en 5600 a. C., utilizando cal roja como cemento. Los primeros grandes usuarios de concreto fueron los egipcios 2500 a. C; Los egipcios utilizaban lodo mezclado con paja para unir ladrillos secos. Más tarde los romanos desde 300 a. C hizo muchos desarrollos en la tecnología de concreto incluyendo el uso de cal apagada una ceniza volcánica llamada pozzuolana; La grasa animal, la leche y la sangre se usaron como aditivos; e incluso construyó el panteón en 200 d. C con agregados ligeros en el techo. Incluso hoy en día este diámetro 43.3 metros, sigue siendo la cúpula de concreto no reforzado más grande del mundo. Después de 400 d. C, el arte del concreto se perdió con la caída del Imperio Romano. Fue sólo en 1824 que el concreto moderno fue desarrollado por Joseph Aspdin. Él patentó lo que él llamó el cemento de Portland que hasta la fecha permanece como el ingrediente clave en el concreto ([Gonsalves, 2011, p. 1](#)).

El concreto moderno se basa en cemento Portland, un cemento hidráulico patentado por Joseph Aspdin a principios del siglo XIX. Ya en Roma los cementos hidráulicos, hechos de piedra caliza quemada y tierra volcánica, reemplazaron lentamente los

cementos no hidráulicos ampliamente utilizados, que se basaban en piedra caliza quemada como ingrediente principal. Cuando la piedra caliza es quemada ("calcinada") a una temperatura entre 800 y 900 °C, un proceso que expulsa el dióxido de carbono (CO₂). Se produce cal (óxido de calcio, CaO). La cal, cuando se pone en contacto con el agua, reacciona para formar la portlandita (Ca (OH)₂), que también puede reaccionar con el CO₂, que a su vez se transforma en calcita (CaCO₃) o piedra caliza, el material de partida ardiente. Sin embargo, un inconveniente importante de este cemento no hidráulico es que no se pondrá bajo el agua. Su producto de reacción, la portlandita y la piedra caliza, son solubles en forma rutinaria y, por lo tanto, se deteriora rápidamente en ambientes húmedos y/o ácidos. Por el contrario, el cemento portland produce, por reacción con el agua, un material mucho más duro e insoluble que también bajo agua. Para la producción de cemento Portland se necesita una fuente de calcio, silicio, aluminio y hierro, por lo que usualmente se queman en un horno piedra caliza, arcilla, algo de bauxita y mineral de hierro a temperaturas de hasta 1500 °C. El clinker de cemento producido se compone principalmente de los minerales alite (3CaO.Si₂), belite (2CaO.SiO₂), aluminato (3CaO.Al₂O₃) y ferrita (4CaO.Al₂O₃.Fe₂O₃), que todos producen productos de hidratación específicos con características difíciles tras la reacción con agua (Jonkers, 2007).

Khaliq y Ehsan (2016) indica:

El concreto es el material de ingeniería más ampliamente utilizado en la industria de la construcción debido a su fuerza, durabilidad y bajo costo en comparación con otros materiales de construcción. Sin embargo, la formación de fisuras y la progresión bajo tensión de tensión es una debilidad importante del concreto. Estas fisuras de concreto pueden ser vulnerable al medio ambiente nocivo debido a la entrada de compuestos

nocivos, comprometiendo su durabilidad, resultando en deterioro del concreto. Para un artículo duradero y bueno el control del concreto estructural sobre el desarrollo y propagación de micro-fisuras de estas fisuras es necesaria y la curación de la fisura puede ser útil para mitigar el desarrollo y la fisuras en concreto. (p. 349)

2.1.1.1. Permeabilidad

La permeabilidad en el concreto se refiere a la cantidad de migración de agua u otras sustancias líquidas por los poros del material en un determinado tiempo; y así ser el resultado de la composición de la porosidad en la pasta de concreto, la hidratación o la asociación con la liberación de calor o calor de hidratación y evaporación del agua de mezcla, la temperatura del concreto, y la formación de cavidades y grietas por contracción plástica en el concreto durante el tiempo de fraguado. (Vélez, 2010)

2.1.1.2. Fisuración

Según Halvorsen y Poston (1993):

Las fisuras se pueden originar cuando hay pérdida de humedad (por niveles altos de evaporación), falta de curado del concreto, aumento de cargas de servicio, variaciones térmicas, exceso de agua en la mezcla de concreto, por filtraciones de agua en el concreto. La cual, es vulnerable al ingreso de sustancias dañinas que inician un proceso de corrosión en el acero de la estructura. Puede causar la reducción de la vida útil, la funcionalidad y comprometer la apariencia estética.

La fisura es atribuible a numerosas patologías, pueden sólo afectar la de manera estética una estructura, pero también podrían indicar fallas estructurales significativas o falta de durabilidad. Pueden representar el daño de la infraestructura. Su importancia depende del tipo de infraestructura, como así también del tipo de la fisuración. fisuras que podría ser aceptado para un edificio; pueden no serlo para una infraestructura hidráulica (Grant, 1993).

Tabla 1

Clasificación de las fisuras en edificación.

ITEM	CLASIFICACIÓN (e = espesor)	DESCRIPCIÓN
1	Microfisuras: $e < 0.05$ mm	En general carecen de importancia
2	Fisuras: $0.1 < e < 0.02$ mm	En general son pocos peligrosas, salvo en ambientes agresivos, en los que puede favorecer la corrosión
3	Macrofisuras: $0.2 < e < 0.04$ mm	Estas son las fisuras que pueden, tener repercusiones estructurales de importancia.
4	Grietas: $0.4 < \text{ancho} < 1.00$ mm	Existe reducción en la capacidad sismoresistente. Debe desocuparse el edificio, proceder a una rehabilitación temporal.
5	Fracturas: $1.0 < \text{ancho} < 5$ mm	Existe una reducción importante en la capacidad sismo-resistente. Deberá procederse a una evaluación definitiva urgente, para determinar si se procede a la demolición.
6	Dislocación: ancho > 5.0 mm	

Fuente: Inspecciones técnicas de seguridad estructural en edificaciones de concreto armado (Gallo, 2006).

El concreto auto-curado implica la reparación de fisuras en el concreto mediante el uso de compuestos, bacterias y resinas, añadidas en concreto durante la etapa de mezclado. El Bioconcreto es un producto que tiene la capacidad de llenar las fisuras produciendo productos químicos a partir de microorganismos incorporados intencionalmente en el concreto. En este tipo de microorganismos de concreto junto con

un compuesto precursor se introducen en el concreto durante la fase de mezcla. Cuando se producen fisuras, el agua se filtra en las fisuras y activa el estado latente de microorganismos. Estos microorganismos producen posteriormente minerales para llenar las fisuras, por lo tanto, inhibiendo la pérdida de resistencia y aumentando la durabilidad del concreto (Ehsan, 2015).



Figura 5. Hipótesis de la auto-curación del concreto.

Las estructuras de concreto usualmente muestran una capacidad de auto-curación, es decir, la capacidad de curar o sellar micro-fisuras recién formadas. Esta propiedad se debe principalmente a la presencia de partículas de cemento exentas de hidratación en la matriz de materiales, las cuales experimentan hidratación retardada o secundaria tras la reacción con el agua de entrada. (Jonkers y Schlangen, 2008)

Según Schlangen y Sangadji (2013):

Desde el punto de vista material, el esfuerzo para incrementar la vida útil de la infraestructura se puede hacer utilizando diversos materiales de alta calidad, incluyendo los nuevos conceptos emergentes de materiales auto-sanadores. La naturaleza proporciona muchas lecciones ya que los materiales biológicos muestran capacidades para atocurar. (p. 41)

2.1.2. Bacterias

Sathyn (2015) afirma:

Las bacterias son microorganismos procariotas. Son de unos micrómetros de longitud y tienen un número de formas, que van desde esferas a varillas y espirales. Las bacterias están presentes en la mayor de sus hábitats en el universo. Habitan en el suelo, el agua, las aguas termales ácidas, los desechos radiactivos y profundos de la corteza terrestre. Podemos verlos viviendo en relaciones simbióticas y parasitarias con plantas y animales. (p. 4)

El microorganismo es un elemento vivo único y tiene la capacidad de precipitar minerales a través del proceso de biomineralización. El proceso de precipitación ocurrió naturalmente y la mayoría de los productos precipitados son compuestos muy importantes compuestos de carbón, nitrógeno, oxígeno, azufre, fósforo y sílice. Hasta el momento, el concreto incorporado con microorganismos capaces de precipitar carbonato de calcio (calcita) fue reportado. Sin embargo, se ha revelado poca información sobre la precipitación de la sílice y su efecto sobre las propiedades del concreto. (Afifudin, Hamidah, Noor Hana y Kartini, 2011)

Las bacterias muestran una gran diversidad de formas y tamaños, denominados morfologías. Tamaño típico de las células bacterianas tienen una longitud de 0.5 - 5.0 micrómetros. La mayoría de las especies bacterianas son esféricas, llamados cocos, o en forma de barra, llamados bacilos. Algunas bacterias, llamadas vibrión, tienen la forma de un ligero varilla curvada o con forma de coma; Otros pueden ser en forma de espiral, llamado espirilla, o bien en espiral, llamadas espiroquetas. Hay algunas especies que tienen formas tetraédricas o cuboidal. Más

recientemente, las bacterias se descubrieron profundamente bajo la corteza terrestre que crecen como ramificación filamentosa de tipos con una sección transversal en forma de estrella. (Sathyan, 2015, pp. 4 - 5)

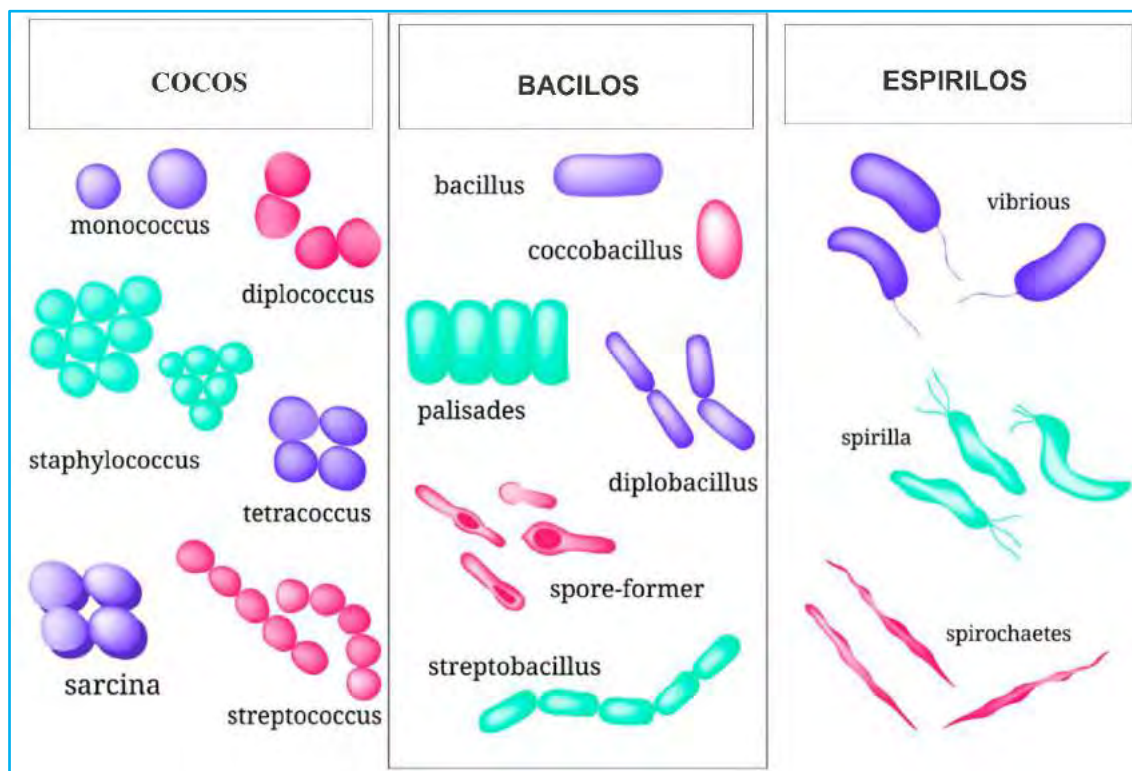


Figura 6. Tipos de bacteria (<https://www.vectorstock.com>).

2.1.2.1. Crecimiento microbiano

El crecimiento de células, microorganismos, puede ser: incremento de la masa celular e incremento del número de células; esta última es la válida desde el punto de vista microbiológico.

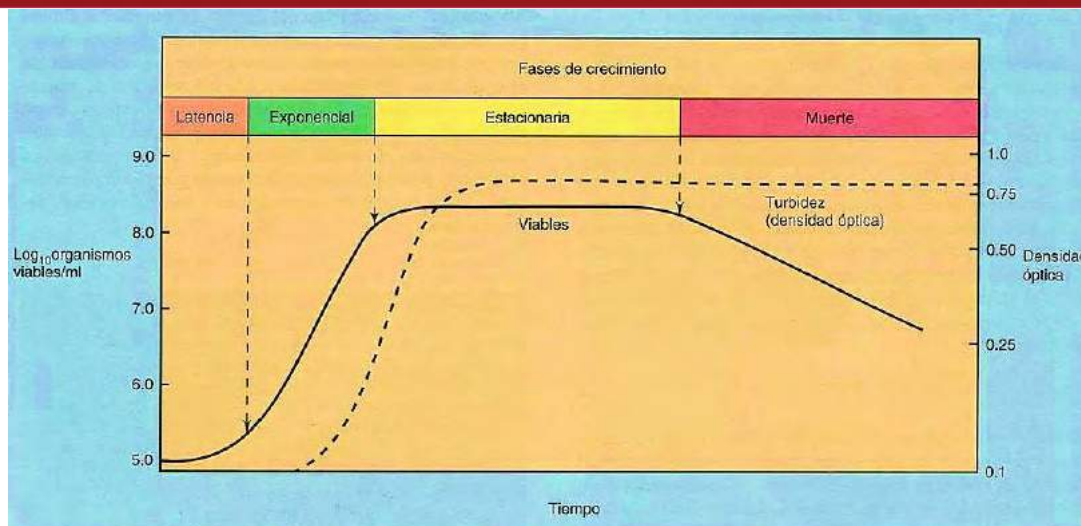


Figura 7. Curva de crecimiento microbiano (Google Scholar).

2.1.2.2. *Bacillus subtilis*

En el año 1872 se da el nombre de *Bacillus subtilis*. Esta bacteria fue una de las primeras en ser estudiadas. *Bacillus subtilis*, también se conoce como bacilo de heno o bacilo de pasto (Koustubh, Madhav y Vishal, 2016).

Estas bacterias son Gram-positivas, su hábitat son el suelo y la vegetación, tienen la forma de varilla y son mesófilas (se desarrollan a 25-35 °C). El estrés y el hambre son comunes en este ambiente, por lo tanto, *Bacillus subtilis* ha desarrollado un conjunto de estrategias que permiten la supervivencia en estas duras condiciones. Una estrategia, por ejemplo, es la formación de endosporas resistentes al estrés. (Koustubh *et al.*, 2016)

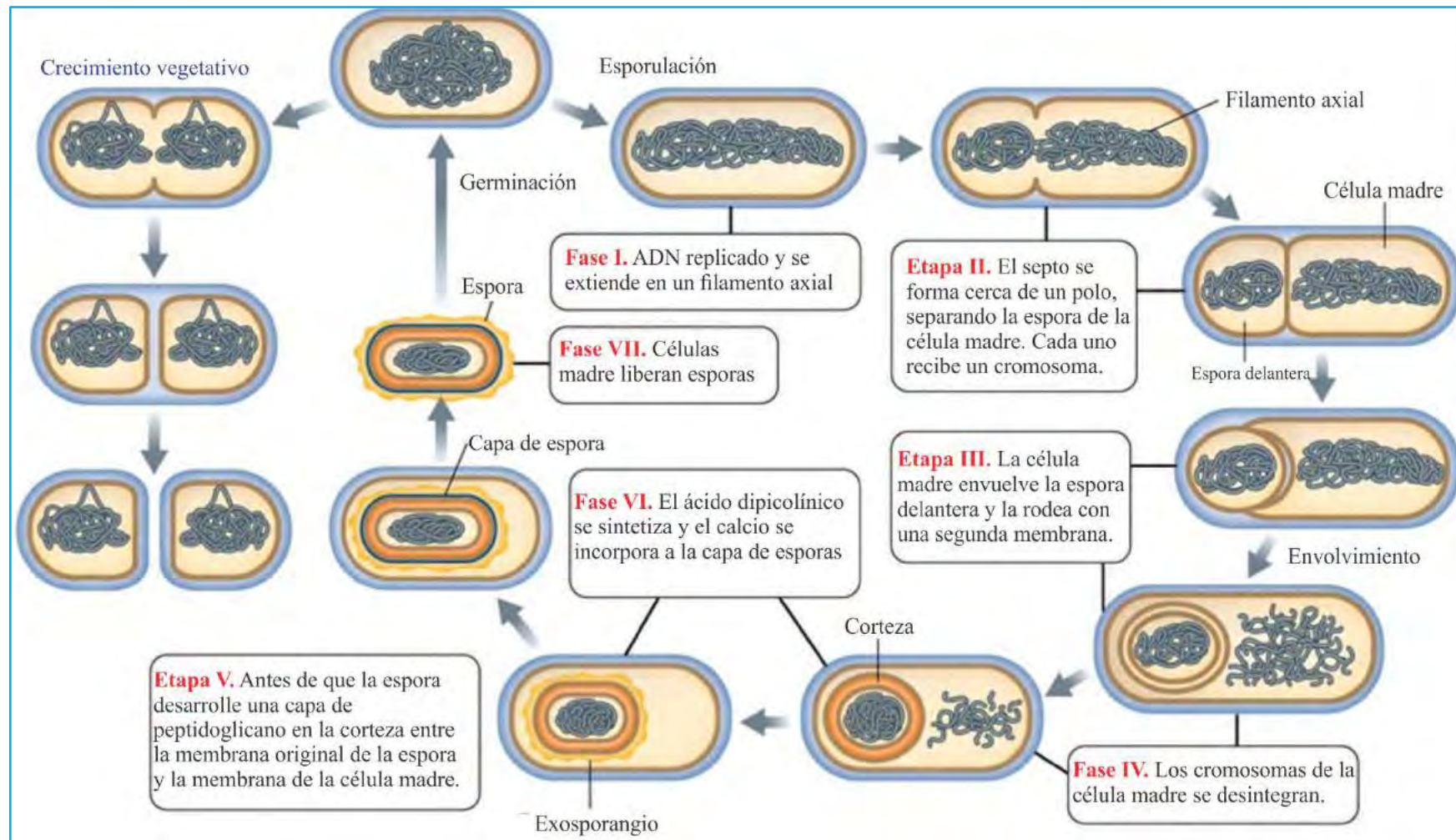


Figura 8. Proceso de esporulación de *Bacillus subtilis* (Online Biology Notes)

Según Côté (2013), "Los miembros de *Bacillus* han sido utilizados en una amplia gama de procesos industriales, aprovechando su capacidad de secreción y las notables propiedades de resistencia de sus esporas" (p. 3).

2.1.2.3. Precipitación del Carbonato de Calcio (CaCO_3) por bacterias

Aunque la presencia de microorganismos como bacterias puede precipitar la caliza (CaCO_3), hay factores que inciden en la formación de CaCO_3 mediada por bacterias precipitadoras. Estos factores son: la presencia de iones de calcio [Ca^{2+}], y el equilibrio carbonato en la solución. Este último se determina por la concentración de carbono inorgánico disuelto, (DIC) en la solución - que incluye especies químicas de dióxido de carbono [CO_2], Ácido carbónico [H_2CO_3], Anión bicarbonato [HCO_3^-], y el anión carbonato [CO_3^{2-}]. (Sangadji, 2015)

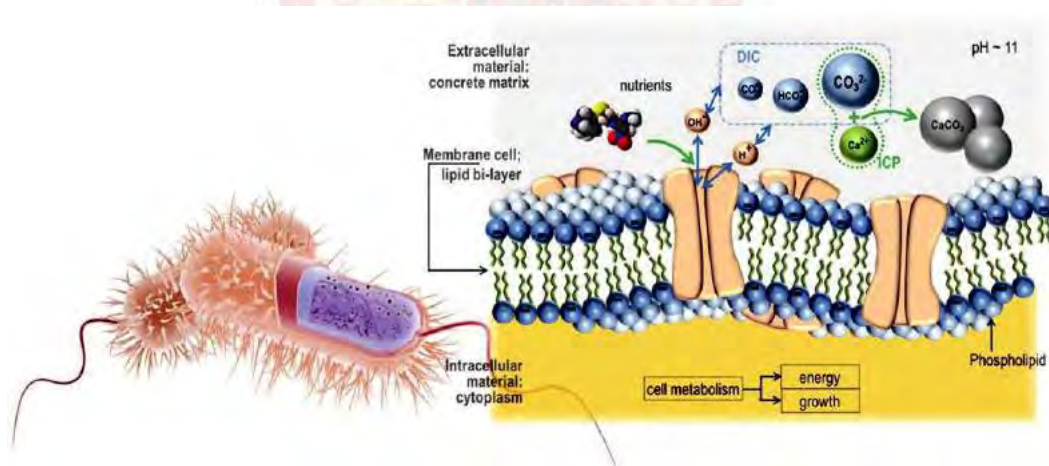


Figura 9. Mecanismo de trabajo de la auto-curación de concreto a base biológica desarrollada en Microlab. Mientras que la metabolización de nutrientes y *bacillus subtilis* productoras de dióxido de carbono cambian microambientes extracelulares que conducen a la biomineralización de carbonato de calcio (Sangadji, 2015).

(...) Las esporas después de la germinación debido a la presencia de agua y oxígeno en el concreto fisurado convierten metabólicamente el nutriente y producen CO_2 que a su

vez convertidos químicamente en iones de carbonato [CO_3^{2-}]. Estos iones reaccionan con los iones de calcio [Ca^{2+}] Para precipitar carbonato de calcio, $CaCO_3$. El crecimiento de este mineral sellará fisuras y reducir la porosidad del concreto. (Sangadji, 2015)

En su investigación (Pei *et al.*, 2013) afirma que:

Las paredes celulares bacterianas de *Bacillus subtilis* es como una mezcla de concreto que mejora el comportamiento mecánico del concreto. Se sabe que las paredes de las células bacterianas median la precipitación de carbonato inducida por bacterias, un proceso en el que $CaCO_3$ se forma a partir de iones Ca^{2+} y CO_2 disuelto.

Ehsan (2015) indica:

El concreto que se auto-repara es un producto que tiene la capacidad de llenar las fisuras mediante la producción de productos químicos procedentes de bacterias que se añade intencionadamente, compuestos o resinas presentes en ella. Uno de estos métodos de auto-reparación, es a través de la producción de minerales, mediante el uso de bacterias productoras de minerales en el concreto, que se conoce como concreto de auto-reparación. (p. 1)

La idea de auto-curación basada en bacterias es utilizar bacterias para promover la precipitación de carbonato de calcio en las fisuras. En 1990 (Gollapudi, Knutson, Bang y Islam, 1995) sugirió utilizar bacterias para inducir la precipitación de carbonato de calcio ($CaCO_3$) para reparar fisuras. La precipitación del carbonato de calcio puede ser causada por diversas vías metabólicas, como la hidrólisis de la urea y la oxidación de los ácidos orgánicos (Van Tittelboom, 2012).

2.2. MARCO CONCEPTUAL

Biom mineralización. El proceso por el cual los microorganismos forman fases minerales.

Biorremediación. Es el proceso de la aplicación de microorganismos (o material biológico) para desintoxicar sustancias orgánicas o compuestos inorgánicos.

Bacillus. Es el género de microorganismo de bacterias. Robert Koch utilizó este género para demostrar por primera vez que un organismo vivo podría causar una enfermedad infecciosa en 1876 (Barth, Aktories, Popoff, y Stiles, 2004). No obstante, la bacteria *Bacillus subtilis* puede formar esporas. Según Gollapudi, Knutson, Bang, e Islam (1995), sugirió utilizar bacterias para inducir la precipitación de carbonato de calcio (CaCO_3) para reparar fisuras.

El **carbonato de calcio (CaCO_3)** es uno de los minerales más naturalmente precipitados en la tierra en forma de rocas naturales y existe en ambientes tales como: Agua marina, agua dulce y suelos (Ehrlich, 1998; Castanier et al, 1999). Se encontró que la precipitación de CaCO_3 debido al proceso biótico excede al abiótico en la mayoría de los ambientes sobre la tierra (Castanier, et. al., 2000).

Bioconcreto. Es una mezcla entre los diferentes materiales como: cemento, agregado grueso, agregado fino, agua, asimismo a esta mezcla se adiciona los microorganismos, en este caso, se adiciona bacterias.

2.3. ANTECEDENTES EMPÍRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

La primera tesis en el Perú referidas a la investigación multidisciplinaria - interdisciplinaria en la confluencia de la microbiología, química e ingeniería civil, con referencia al bioconcreto (concreto y bacteria) y las metodologías que desarrollaron en el año 2016 y finalmente presentaron a la institución académica en el año 2017 (<https://hdl.handle.net/20.500.12557/1163>), fue realizado por Mendoza y Sánchez (2017). Es preciso indicar que, este trabajo de investigación (tesis) ganó en PRIMER LUGAR en el área TRANSVERSAL DEL CONOCIMIENTO, categoría Egresados y Docentes en la SEXTA FERIA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA – EXPOANDINA 2016, organizado por el Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Andina del Cusco; y posteriormente, presentado esta investigación a la “VIII SEMANA INTERNACIONAL DE LA INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y EMPRENDIMIENTO UNSAAC 2019”, en la cual fue ganador en PRIMER LUGAR en eje temático INGENIERÍA Y ARQUITECTURA.

Es preciso indicar que, la presente tesis es una versión inspirada en el estudio de Mendoza y Sánchez (2017), puesto que, estos dos autores realizaron un enorme esfuerzo para desarrollar la investigación y dar a conocer una metodología mas ilustrativa y didáctica a la academia, la misma que está ayudando a muchos estudiantes y profesionales en sus trabajos de investigación referidas al tema.

Mendoza y Sánchez (2017) En su tesis “ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO UTILIZANDO BACTERIAS DEL GÉNERO BACILLUS Y BIOPOLÍMEROS COMO BIOREPARADOR, CUSCO-2016”, tuvo como objetivo la determinación de la resistencia del concreto mediante la aplicación de bacterias. La metodología aplicada fue la elaboración de prismas de concreto ($\varnothing = 10 \text{ cm}$; $h = 20 \text{ cm}$),

con una resistencia al esfuerzo a compresión de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. A los 28 días se realizaron los ensayos a compresión, después de ello, se aplicó *Bacillus subtilis* para la curación y/o bioreparación de las fisuras producidas. Después de los 7, 14, 21 y 28 días se realizaron los ensayos de esfuerzo a la compresión. Los resultados obtenidos de las muestras de concreto fisurado con la aplicación de bacterias precipitadoras de la calcita desarrollaron mejor resistencia en comparación a las muestras de concreto fisurado sin la aplicación de bacterias. No obstante, no alcanzó a la resistencia de diseño por factores como: el tipo de falla y el tamaño de la fisura en las muestras, que fueron comprometidos durante el primer ensayo a compresión. Asimismo, se puede indicar que, estas bacterias pueden bioreparar a pequeñas fisuras de manera estética, las cuales pueden evitar el ingreso de sustancias dañinas que pueden deteriorar al concreto y corroer al acero estructural, pudiendo causar daños económicos, ambientales y sociales.

Bhaskar (2016) En su tesis doctoral (*Doctor of Philosophy in the Program of Civil Engineering - Toronto, Ontario, Canada*) "SELF-HEALING BACTERIAL CEMENTITIOUS CONCRETE COMPOSITES: DEVELOPMENT AND PERFORMANCE EVALUATION". El objetivo de su investigación ha sido contribuir a alcanzar el desarrollo de compuestos de concreto cementosos auto-curados mediante la incorporación de bacterias como agente curativo. Dado que la raíz de la mayoría de las fallas estructurales se atribuye a la rotura del concreto. En su estudio presenta tres bacterias diferentes: *Sporosarcina ureae*, *Sporosarcina pasteurii* y *Bacillus subtilis subsp. Spizizenii*. Para este estudio se emplearon especímenes de cemento normal y reforzado con fibra de vidrio. La evaluación del efecto curativo se determinó la permeabilidad al cloruro. La cicatrización asociada con el cierre de la fisura se visualizó y analizó usando microscopía electrónica de barrido (SEM), espectro energético

dispersivo (EDS) y difracción de rayos X (XRD). La evaluación de los resultados para determinar la eficacia de auto-curación indicó que una cantidad significativa de auto-curación fue lograda por las tres bacterias seleccionadas, de las cuales *Sporosarcina pasteurii* y *Bacillus subtilis*, encontró ser opciones prometedoras. El modelado estadístico del experimento resultó ser la elección ideal para modelar las características de auto-curación.

Qian, Chen, Ren y Luo (2015) En su artículo de investigación "SELF-HEALING OF EARLY AGE CRACKS IN CEMENT-BASED MATERIALS BY MINERALIZATION OF CARBONIC ANHYDRASE MICROORGANISM". (**Southeast University, Nanjing, China**). El objetivo de su investigación fue, evaluar la capacidad de curación de fisuras del concreto influenciada por bacterias. La metodología que utilizó fue elaborar prismas (40× 40 ×160 mm); después de 7, 14, 28, 60 días se realizaron la formación de fisuras con ancho entre 0.1 y 1.0 mm, mediante el ensayo a flexión. Los resultados demostraron que, las bacterias tienen una excelente capacidad de bioreparar a pequeñas fisuras de 0.4 mm las cuales se cerraron casi por completo.

Tziviloglou, Jonkers y Schlangen (2014). En el trabajo de investigación "BACTERIA-BASED SELF HEALING CONCRETE TO INCREASE LIQUID TIGHTNESS OF CRACKS", realizado en la Universidad Tecnología de Delft, Países Bajos. Tuvo como objetivo, evaluar la capacidad bacteriana para sellar de manera eficiente la fisura. En la metodología, realizaron prismas de mortero (40 mm x 40 mm x 160 mm), el agujero fue creado por la introducción de una barra liso de metal (ø 5 mm), se realizó la creación de fisuras, las muestras se sumergieron horizontalmente en un cubo de plástico lleno de agua. Para la obtención de datos de los resultados, se evaluaron por la prueba de permeabilidad

de la fisura, a través del flujo de agua, la cual ayuda a evaluar la eficacia de curación de las bacterias. Los resultados demostraron que, el agente de curación a base de bacterias tiene la capacidad de sellar completamente las fisuras; mientras que las muestras de control sin agente de curación no fueron selladas.

Jonkers (2012) En su trabajo de investigación "DEVELOPMENT AND APPLICATION OF BACTERIA-BASED SELF-HEALING MATERIALS". Afirma que, se lanzó un programa de investigación en la Universidad Tecnológica de Delft – Holanda con el objetivo de desarrollar una nueva clase de materiales, es decir, materiales con un mecanismo de cicatrización incorporado. La idea es que estos materiales novedosos pueden auto repararse y que resulta en costos sustancialmente reducidos de mantenimiento y reparación y vida de servicio aumentada. Varios proyectos de investigación se centran en los materiales a base de cemento como el concreto y el asfalto. Las bacterias que se añaden a la mezcla de concreto son capaces de producir minerales a base de carbonato de calcio, un proceso que puede resultar en el sellado y endurecimiento de las fisuras.

Jonkers, Thijssen, Muyzer, Copuroglu y Schlangen (2010) En este estudio de investigación (Revista Científica) "APPLICATION OF BACTERIA AS SELF-HEALING AGENT FOR THE DEVELOPMENT OF SUSTAINABLE CONCRETE". El objetivo fue determinar si las bacterias incorporadas podrían ser como un agente auto-curativo para catalizar el proceso de reparación autónoma de fisuras recién formadas. Se investigó el potencial de las bacterias para actuar como agente de auto-curación en concreto, es decir, su capacidad para reparar las fisuras que se producen. Para este propósito se seleccionó un grupo específico de bacterias del género *Bacillus*.

CAPITULO III

HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. HIPÓTESIS

3.1.1. HIPÓTESIS GENERAL

- La aplicación de bacteria *Bacillus subtilis* disminuye la permeabilidad del concreto fisurado.

3.1.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- El sistema de reparación a base biológica del concreto presenta características de impermeabilidad al agua.
- La permeabilidad del concreto fisurado ($e \leq 1.0$ mm) mediante la aplicación de bacterias reparadoras a los 58 y 86 días se reduce en relación al tiempo.
- El tiempo de la precipitación de carbonato de calcio inducida por bacteria *Bacillus subtilis* dentro de la fisura después de la aplicación es 28 y 56 días.

3.2. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES E INDICADORES

Variables independientes

- Bacteria

Indicador de variables independientes

- Precipitación de cristales de carbonato de calcio (calcita).
- Sellado de fisuras del concreto por metabolismo bacteriana.
- Formación de espora

Variables dependientes

- Permeabilidad

Indicador de variables dependientes

- Reducción de la permeabilidad (mL/s)
- Sellado de fisura por acción bacteriana (self-healing concrete)

3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Nº DE VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	DENOMINACIÓN DE LA VARIABLE	DIMENSIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA VARIABLE	NIVEL	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA DEL INDICADOR	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN DEL INDICADOR
X_1	INDEPENDIENTE	Bacteria	<i>Bacillus subtilis</i>	La especie <i>Bacillus subtilis</i> es un microorganismo idóneo para este tipo de estudios de bioingeniería, puesto que resiste cambios bruscos de temperatura, variación de pH y es capaz de precipitar carbonato de calcio.	Propiedades biológicas (metabolismo bacteriana)	Esporas bacterianas (precipitación de CaCO_3)	Esporas por litro (<i>esporas/mL</i>)	Espectrofotómetro Centrífuga
Y_1	DEPENDIENTE	Permeabilidad	Filtración	Velocidad que el agua fluye a través del concreto (prisma) por medio de la fisura.	Permeabilidad a los 30 días. Permeabilidad a los 58 días. Permeabilidad a los 86 días.	Mililitros por segundo. Gramos por segundo.	(<i>mL/s</i>)	Balanza de precisión digital

CAPITULO IV

METODOLOGÍA

4.1. ÁMBITO DE ESTUDIO: LOCALIZACIÓN POLÍTICA Y GEOGRÁFICA

LOCALIZACIÓN POLITICA

CENTRO DE INVESTIGACIÓN : UAC Y UNSAAC

PROVINCIA : CUSCO

DEPARTAMENTO : CUSCO

El estudio se realizó en los Laboratorios de Microbiología e Inmunología de la Escuela Profesional de Biología; y Laboratorio de Química Analítica de la Escuela Profesional de Química, de la Facultad de Ciencias, de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Y, en los Laboratorios de Investigación I y II de la Facultad de Ciencias de la Salud; y Laboratorio de Suelos, Materiales, Concreto y Asfalto de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Andina del Cusco. Ambas universidades se ubican en la ciudad del Cusco, Provincia de Cusco, Departamento del Cusco, dentro del Territorio Peruano (Perú).



4.2. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación es aplicativo y tecnológico, porque soluciona un problema, que es la presencia de fisuras en concreto, mediante la aplicación de bacterias.

En la presente investigación, el tipo de investigación es *cuantitativo*, porque se midieron las variables (se obtiene datos), posterior a ello se analizaron las mediciones obtenidas. Así mismo, los datos sirven para probar las hipótesis planteadas, con base a medición numérica que se realizaron en laboratorio y en el análisis de la permeabilidad después de aplicar las bacterias en el concreto fisurado (se responden a las interrogantes planteadas y se demuestran las hipótesis).

El nivel de investigación es *correlacional y explicativo*. Correlacional, porque este tipo de estudios tiene como finalidad conocer la relación que exista entre la variable bacteria y permeabilidad; explicativo, porque da a conocer el fenómeno de la precipitación de calcita mediante el proceso de aplicación de bacteria.

El método de investigación es *hipotético – deductivo*, porque a partir de las hipótesis planteadas fueron demostradas mediante una serie de pruebas y ensayos realizados en laboratorio.

El diseño de investigación, el diseño metodológico es *experimental*. Cabe resaltar que, la presente investigación es *experimental puro*, porque se realizó la manipulación intencional de la variable independiente (bacteria *Bacillus subtilis*), produciendo modificación en la variable dependiente.

4.3. UNIDAD DE ANÁLISIS

Para el presente estudio, la unidad de análisis es el prisma de concreto fisurado ($f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$) con dimensión: Largo (L) = 34 cm; Ancho (A) = 10 cm; Altura (H) = 10 cm.

4.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO

La población es el grupo de elementos que tienen características similares, que serán motivo de estudio. En la presente investigación la población está definida por 32 unidades de prismas de concreto ($f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$) fisurado para la prueba de permeabilidad, las mismas que fueron elaboradas con agregados de las canteras de Cunyac y Vicho.

Los componentes que constituyeron para su elaboración fueron:

- Agregado grueso de la cantera de Vicho
- Agregado fino de Cunyac
- Cemento portland tipo IP (Yura)
- Agua potable (Seda Cusco)

CUANTIFICACIÓN DE LA POBLACIÓN

La población de estudio está representada por 44 unidades de prismas de concreto ($F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$).

Tabla 2

Población de prismas de concreto.

CUANTIFICACIÓN DE LA POBLACIÓN	
Concreto $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	Nº de Prismas
Concreto patrón para ensayo a flexión	12
Prisma de concreto bioprecipitado	32
Total	44

Fuente: Elaboración propia.

4.5. TAMAÑO DE MUESTRA

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

La muestra es un subconjunto representativo de la población, donde reúne todas las características y propiedades de una población. En la presente investigación se realizó muestreo *no probabilístico por conveniencia o intencional* de las muestras de prismas de concreto ($f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$). Es preciso indicar que, esta cantidad de muestra se realizó teniendo en cuenta *el factor económico y la experimentación en laboratorio.*

En las muestras no probabilísticas, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador (Johnson, 2014; Hernández-Sampieri *et al.*, 2013; Battaglia, 2008). El procedimiento no es mecánico ni se basa en fórmulas de probabilidad, sino que depende del proceso de toma de decisiones de un investigador o de un grupo de investigadores y, desde luego, las muestras seleccionadas obedecen a otros criterios de investigación (Hernández-Sampieri, Fernández y Baptista, 2014).

CUANTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

La muestra se compone por 32 unidades de prismas de concreto fisurado ($L = 34 \text{ cm}$; $A = 10 \text{ cm}$; $H = 10 \text{ cm}$), las mismas que serán sometidas a pruebas de permeabilidad antes de aplicar las bacterias y después de aplicar las bacterias.

Tabla 3

Muestras de concreto para ensayo a flexión.

DESCRIPCIÓN	ENSAYO A FLEXIÓN DE PRISMAS DE CONCRETO ($f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$)			N° DE PRISMAS
	7 días	14 días	28 días	
C° Ensayo a Flexión	4	4	4	12
Total de prismas para ensayo a flexión				12

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4

Muestras de concreto para prueba de permeabilidad después de aplicar la bacteria.

DESCRIPCIÓN	PRUEBA DE PERMEABILIDAD MEDIANTE APLICACIÓN DE BACTERIAS			N° DE PRISMAS
	0 días	28 días	56 días	
C° Bioprecipitado	32	<u>12</u>	<u>20</u>	<u>32</u>
Total de prismas para permeabilidad				<u>32</u>

Fuente: Elaboración propia.

*La cantidad de prismas de concreto para evaluar la permeabilidad es 32 unidades. A los 0 días (después de 28 días de curado se inicia a contar, en este caso, el día 29 = 0 días), se realizó la prueba de permeabilidad a las 32 unidades de prismas de concreto "fisurado", esto con la finalidad de tomar datos a la permeabilidad inicial, sin la aplicación de bacterias bio-precipitadoras de carbonato de calcio (CaCO_3).

A los 28 días se evalúan la permeabilidad a las primeras 12 muestras (del total de 32 muestras) de prismas de concreto *aplicado con bacterias*. Finalmente se evalúan a los 56 días la cantidad de 20 muestras (del total de 32 muestras) de prismas de concreto aplicadas con bacterias. Es decir, se evaluaron a los 28 días, 12 unidades; a los 56 días, 20 unidades.

4.6. TÉCNICAS DE SELECCIÓN DE MUESTRA

4.6.1. Material biológico

Selección de especie bacteriana

Se utilizó la bacteria del género *Bacillus*, la especie *Bacillus subtilis*.

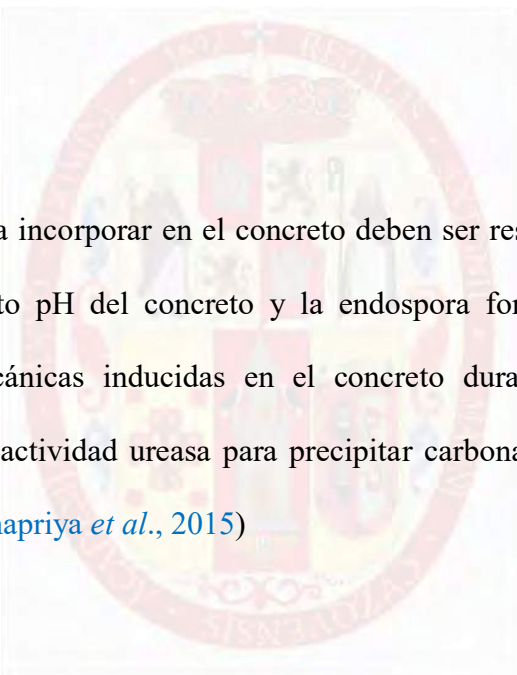
Lote 269-32-8

Referencia 0269 P

ATCC Licenced Derivative

MediMark[®] Europe

France



Las bacterias a incorporar en el concreto deben ser resistentes a los álcalis para soportar el alto pH del concreto y la endospora formando para soportar las tensiones mecánicas inducidas en el concreto durante el mezclado. Deben presentar alta actividad ureasa para precipitar carbonato de calcio en forma de calcita ([Krishnapriya et al., 2015](#))

4.7. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

a. Materiales

- Probetas graduadas
- Botellas graduadas
- Alcohol 70%.
- Hipoclorito 10%.
- Placas Petri de 100 mm x 20 mm. estériles

- Asa bacteriológica de siembra.
- Aguja bacteriológica de inoculación.
- Cubetas de uso único (12.5 X 12.5 X 45 mm)
- Puntas con filtro estéril para micropipetas (tips)
- Micropipetas
- Vasos de precipitado graduadas
- Tubos de ensayo
- Muestra de agregado grueso (piedra chancada de $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$)
- Máquina de los Ángeles
- Agregado fino de Cunyac
- Agregado fino de Vicho (confitillo, llamado así en Cusco)
- Serie de tamices: Tamiz 3/8", #4, #8, #16, #30, #50, #100, #200, fondo.
- Barra compactadora \varnothing 5/8"x0.50 m con punta redondeada.
- Cemento Portland Puzolánico Yura IP – Alta durabilidad
- Agua potable - Seda Cusco

b. Aparatos y Equipos

- | | |
|---------------------------|---|
| - Refrigeradora | - Estereoscopio |
| - Cámara de flujo laminar | - Centrífuga |
| - Autoclave | - Baño isotérmico |
| - Horno Pasteur | - Picnómetro |
| - Destilador de agua | - Bomba de vacíos |
| - Balanza de precisión | - Molde cónico metálico (cono de absorción) |
| - Incubadora | |
| - Espectrofotómetro | |

4.7.2. Lectura de la concentración bacteriana

a. Procedimiento



Figura 10. *Proceso de extracción de cultivo bacteriano. (1) conexión del tips (punta) mediante presión con la micropipeta; (2) la boquilla de la botella graduada se esteriliza pasando a fuego con la finalidad de evitar otros microorganismos, seguidamente se penetra en la botella graduada que contiene el cultivo bacteriano para extraer 1 mL; (3) el cultivo bacteriano extraído se deposita en la cubeta; (4) se obtiene 1 mL de cultivo bacteriano y esta se colocó en el espectrofotómetro para su lectura.*



Figura 11. Se depositó en pequeñas cubetas (12.5 x 12.5 x 45 mm), esta cubeta se colocó dentro del espectrofotómetro.



Figura 12. Proceso de medición la concentración bacteriana.

- Cabe indicar que, después de cada lectura en cada hora. Cada botella graduada de 2000 mL de medio de cultivo bacteriano se cerró a tope la tapa rosca y se volvió a llevar a incubadora (figura anterior), para su próxima lectura en la siguiente hora, y así sucesivamente hasta que alcance su máxima concentración de colonias bacterianas.



Figura 13. Es preciso indicar que, en esta lectura (última) mediante el espectrofotómetro, indicó que se tiene el pico de crecimiento y es momento de retirar el cultivo bacteriano de la incubadora.

4.7.3. Formación de esporas bacterianas

a. Procedimiento

- Después de haber realizado la coloración Gram, y mediante la observación a microscopio la bacteria *Bacillus subtilis*, se continúa con seguridad el trabajo de investigación.



Figura 14. Cultivo bacteriano en su máxima concentración (crecimiento).

- Se retiró de la incubadora los tres frascos de botella graduada (2000 mL) con contenido del cultivo bacteriano, después de la lectura del espectrofotómetro, donde indicó que la población bacteriana llegó la máxima concentración de bacterias, por ende, tendía a disminuir la cantidad de bacterias, pero en menor proporción.



Figura 15. Lectura en el espectrofotómetro (máxima concentración de bacterias = 1.259).

- Se tiene en cuenta que las bacterias estuvieron con alimento suficiente, con temperatura a 37 °C dentro de la incubadora y un pH adecuado en la cual se desarrollaron. Pero al aumentar la cantidad de población bacteriana, disminuye el alimento, por tanto, tiende a disminuir la cantidad de bacteria, por ello, en ese momento se retiró las muestras del cultivo bacteriano para pasar al baño isotérmico.
- El cultivo bacteriano (2000 mL) se colocó dentro del baño isotérmico a 80 °C de 10 – 15 minutos y las bacterias pasaron a estrés.



Figura 16. Colocación de cultivo bacteriano (*Bacillus. subtilis*) en baño isotérmico.

Por tanto, forman capsulas y/o esporas para soportar los cambios antes mencionados para sobrevivir. Así mismo, es preciso indicar que, estas esporas pueden sobrevivir en ambientes adversos hasta 200 años.

4.7.4. Obtención de esporas bacterianas



Figura 17. Muestras de cultivo bacteriano, después del baño isotérmico.

a. Procedimiento

- Teniendo las tres muestras del cultivo bacteriano, ahora las muestras con esporas bacterianas (2000 mL), se procedió a decantar en un vaso precipitado de 500 mL.



Figura 18. Proceso de decantación para la centrifugación del cultivo bacteriano.

- El cultivo bacteriano en los tubos Falcon se desecharon, y se depositó en un tubo Falcon exclusivo para esporas bacterianas. Estas esporas son las recomendables para la utilización en la presente investigación.



Figura 19. Izquierda, cultivo bacteriano; derecha, esporas bacterianas.



Figura 20. Esporas bacterianas obtenidas para la investigación (tesis).

4.7.5. Muestreo de agregados

Para el presente estudio se adquirió agregados de dos canteras: Cunyac (AF) y Vicho (AG).

Posterior a ello, se realizaron los ensayos de sus propiedades físicas, seguidamente se realizó el diseño de mezcla ($f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$), cabe indicar, para este diseño se utilizó el método ACI 211.

Se procedió a elaborar los prismas de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Se tiene las siguientes dimensiones: largo = 34 cm; ancho = 10 cm; altura = 10 cm. Estos especímenes fueron curados por 28 días, con agua potable de SEDACUSCO. Así mismo, durante el periodo de curado del concreto, trabajé en laboratorio microbiológico para obtener las esporas bacterianas, las mismas que fueron capaces de sellar la fisura provocadas.

a. Procedimiento (método del cuarteo)

- Se tomó referencia de la NTP 400.010 y ASTM D 75.
- Se toma la cantidad de 25 Kg de agregado como mínimo
- Se procedió a homogenizar el material con la ayuda de una pala.
- Cuando se forma una aglomeración (amontonamiento) del material, con la pala se extendió en forma circular hasta que tenga un espesor adecuado. Luego se dividió en cuatro partes iguales con la ayuda de una regla de madera.

- Observando las partes opuestas que contengan una diversidad de tamaños, el cual pueda representar la totalidad de la muestra es lo que se eligió, y los dos restantes partes se desechó.
- Las partes elegidas se volvió a mezclar con la ayuda de una pala, la cual se repitió los procedimientos anteriores 4 veces, hasta obtener 5 kg de muestra final que represente a la totalidad.
- La muestra se procede a pesar en una balanza de precisión.



Figura 21. Muestreo de agregado fino y grueso.

4.7.6. Ensayo de resistencia a la abrasión (desgaste de agregado grueso).

Según (N.T.P. 400.019, 2002).

a. Procedimiento

- La muestra se disgregó. Posterior a ello, se cuarteó el agregado hasta obtener 5000 gramos de la siguiente manera:
- Se escogió 2500 g de muestra (que pasó el tamiz $\frac{3}{4}$ " y que haya sido retenido por el tamiz de $\frac{1}{2}$ ").

- Se escogió 2500 g de muestra que pasó el tamiz ½" y que haya sido retenido por el tamiz de 3/8").
- La muestra obtenida, se lavó con agua a chorro continuo, con el objetivo de limpiar las impurezas adherido, y después se llevó a horno a 110°C ± 5 °C.
- Según la tabla siguiente, la muestra obtenida se separó y clasificó determinando su granulometría de cuarteo al procedimiento establecido, eliminando el material que pasa la malla N° 10.

Tabla 5

Serie de tamices para ensayo de abrasión.

DESIGNACION	ABERTURA (mm)
2"	50
1 ½"	37.5
1"	25
¾"	19
½"	12.5
3/8"	9.5
¼"	6.3
N° 4	4.75
N° 10	2
N° 12*	1.7

Fuente: Elaboración propia.

- Para la muestra de prueba, se eligió las características que se asemeje a la granulometría obtenida.
- Tomando como referencia la tabla siguiente, se colocó según la proporción las muestras de prueba a cada rango de tamaños.
- Se registró como P1 la masa de la prueba, con precisión de 0.1g, y se colocó a la máquina de los Ángeles.
- Teniendo en cuenta la tabla siguiente, se colocó las 11 cargas esféricas metálicas de gradación dentro de la Máquina de los Ángeles (se constató que

la masa total esté acorde tabla siguiente). Posterior a ello, se colocaron las esferas dentro de la máquina de los Ángeles (velocidad angular de 30 rpm, por 500 revoluciones).



Figura 22. Ensayo de abrasión del agregado grueso.

- Se sacó la muestra en un recipiente, se tamizaron en tamices de $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{8}$ ". Se eliminó la porción de la muestra de prueba que atravesó el tamiz N° 12 (1.7 mm). Una vez eliminado la muestra menor de 1.7 mm, se limpió la muestra de prueba en agua de caño y se llevó a horno a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, hasta obtener del material una masa constante.
- Posterior a ello, se atempera al ambiente para obtener su masa (con precisión de 0.1 g), y se registró como P_2 .

Tabla 6

Composición de la muestra de prueba y carga abrasiva

MÉTODO GRADACIÓN DIÁMETRO TAMICES			CANTIDAD DE MATERIAL A USAR (g)			
Ø (pulg.)	PORCENTAJE QUE PASA	PORCENTAJE RETENIDO	A	B	C	D
1 1/2"	(38.1mm)	1" (25.0 mm)	1250 ± 25			
1"	(25.0 mm)	3/4" (19.0 mm)	1250 ± 25			
3/4"	(19.0 mm)	1/2" (12.5 mm)	1250 ± 10	2500 ± 10		
1/2"	(12.5 mm)	3/8" (9.5 mm)	1250 ± 10	2500 ± 10		
3/8"	(9.5 mm)	1/4" (6.3 mm)			2500 ± 10	
1/4"	(6.3 mm)	#4 (4.75 mm)			2500 ± 10	
# 4	(4.75 mm)	#8 (2.36 mm)				5000 ± 10
PESO TOTAL			5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10
Número de Esferas			12	11	8	6
Número de Revoluciones			500	500	500	500
Tiempo de Rotación (Minutos)			15	15	15	15

Fuente: Elaboración propia.

b. Toma de datos



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE



ENSAYO DE ABRASIÓN

TESIS: "ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL AGUA EN EL CONCRETO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS (BIOCONCRETO), CUSCO - 2018".

REALIZADO POR	: Renat o Héctor Mendoza Nina
ENSAYO	: Ensayo de Abrasión
CANTERA	: Piedra de Vícho
LUGAR	: Laboratorio de suelos, materiales, concreto y asfalto

ENSAYO A LA ABRASIÓN O DESGASTE DEL AGREGADO GRUESO

MUESTRA	GRADACIÓN "B"	N° REVOLUCIÓN (15 minutos)	N° BILLAS	PESO DE MUESTRA ANTES DEL ENSAYO	PESO DE MUESTRA DESPUÉS DEL ENSAYO	DIFERENCIA DE PESOS (P1 - P2)	% TOTAL PERDIDA
Muestra 1	B	500	11	5,000 Kg	4,092.41 Kg	907.59 Kg	18.15%
Muestra 2	B	500	11	5,000 Kg	4,063.57 Kg	936.43 Kg	18.73%
Muestra 3	B	500	11	5,000 Kg	4,089.53 Kg	910.47 Kg	18.21%
Promedio Porcentaje de desgaste a la abrasión:							18.36%

FUENTE: Elaboración propia.

REFERENCIAS: N.T.P. 400.037, (2014); N.T.P. 400.019, (2002).

Peso de muestra después del ensayo, es la suma de agregados retenidos de 1/2" y 3/8".

MÉTODO GRADACIÓN DIÁMETRO TAMICES			CANTIDAD DE MATERIAL A USAR (g)			
Ø (pulgada)	PORCENTAJE QUE PASA	PORCENTAJE RETENIDO	A	B	C	D
1 1/2"	(38.1 mm)	1" (25.0 mm)	1250 ± 25			
1"	(25.0 mm)	3/4" (19.0 mm)	1250 ± 25			
3/4"	(19.0 mm)	1/2" (12.5 mm)	1250 ± 10	2500 ± 10		
1/2"	(12.5 mm)	3/8" (9.5 mm)	1250 ± 10	2500 ± 10		
3/8"	(9.5 mm)	1/4" (6.3 mm)			2500 ± 10	
1/4"	(6.3 mm)	# 4 (4.75 mm)			2500 ± 10	
# 4	(4.75 mm)	# 8 (2.36 mm)				5000 ± 10
PESO TOTAL			5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10
Número de Esferas			12	11	8	6
Número de Revoluciones			500	500	500	500
Tiempo de Rotación (Minutos)			15	15	15	15

$$\%De = \frac{(P1 - P2)}{P1} * 100$$

%De: Porcentaje de desgaste

P1: Peso original de la muestra antes de ensayo a la Máquina de los Ángeles.

P2: Peso o suma de pesos de los tamices retenidos después de la Abrasión.

4.7.7. Granulometría de los agregados

4.7.7.1. Granulometría de agregado fino

a. Procedimiento

- Después de haber realizado el muestreo, por el método del cuarteo. Se obtiene la muestra representativa de agregado fino (1200 g), el cual es llevado al horno Pasteur para el proceso de secado a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por un periodo de 24 horas.
- Se tomó 360 g de agregado fino de Cunyac y 840 g de agregado fino de Vicho (confitillo), y fueron tamizados por el tamizador mecánico.
- Los tamices se colocaron de manera decreciente: 3/8", #4, #8, #16, #30, #50, #100, #200, fondo.
- Posterior a ello, se realizó el pesaje del material retenido en los tamices, y se determinaron los pesos del agregado. Con los datos obtenidos, se desarrollaron los cálculos correspondientes, para obtener el gráfico de la granulometría del agregado fino.

b. Toma de datos



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE



GRANULOMETRÍA DE AGREGADO FINO

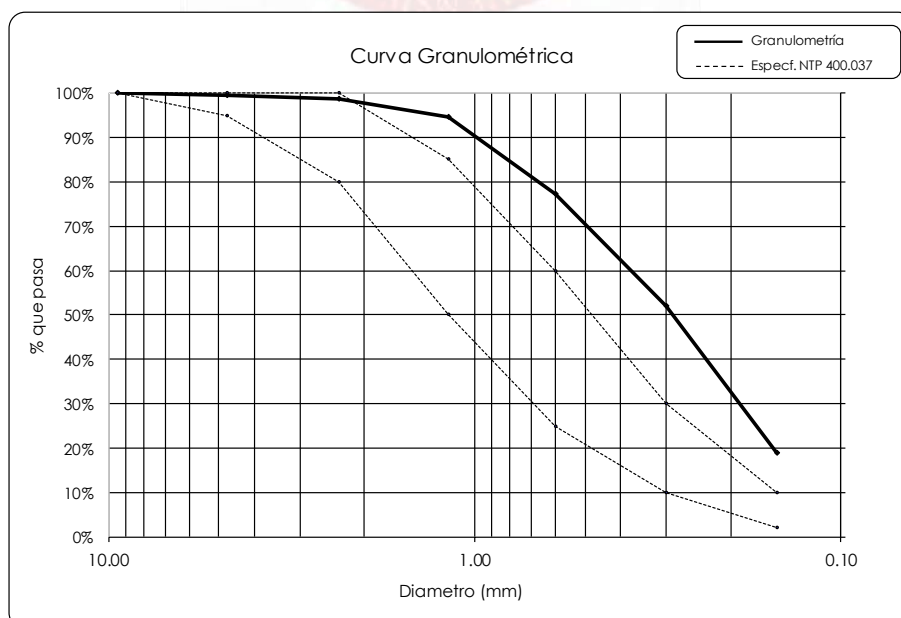
TESIS: "ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL AGUA EN EL CONCRETO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS (BIOCONCRETO), CUSCO - 2018".

REALIZADO POR	: Renato Héctor Mendoza Nina
ENSAYO	: Análisis Granulométrico del Agregado Fino
CANTERA	: Arena de Cunyac
LUGAR	: Laboratorio de suelos, materiales, concreto y asfalto

GRANULOMETRÍA DE AGREGADO FINO										
Tamiz		Peso de Muestra Retenido				Porcentaje (%)		715.73 g		
Pulg.	Ø mm	Peso Retenido 1 (g)	Peso Retenido 2 (g)	Peso Retenido 3 (g)	Peso Promedio (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LÍMITES GRANULOMÉTRICO NTP 400.037	
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
# 4	4.750	3.78	4.97	4.13	4.29	0.60%	0.60%	99.40%	95.00%	100.00%
# 8	2.360	5.72	5.53	4.90	5.38	0.75%	1.35%	98.65%	80.00%	100.00%
# 16	1.180	28.51	32.59	25.32	28.81	4.02%	5.38%	94.62%	50.00%	85.00%
# 30	0.600	115.46	125.15	133.57	124.73	17.43%	22.80%	77.20%	25.00%	60.00%
# 50	0.300	184.90	173.68	179.46	179.35	25.06%	47.86%	52.14%	10.00%	30.00%
# 100	0.150	241.72	234.39	238.72	238.28	33.29%	81.15%	18.85%	2.00%	10.00%
# 200	0.075	113.20	120.41	115.27	116.29	16.25%	97.40%	2.60%		
FONDO	0.000	22.44	19.01	14.36	18.60	2.60%	100.00%	0.00%		
TOTAL		715.73	715.73	715.73	715.73	100.00%				
MF =		1.59								

FUENTE: Elaboración propia.

REFERENCIAS: NTP 400.012, N.T.P. 400.037 (2014), NTP 400.07, ASTM D-422, ASTM C-33, MTCE 107 - 2000 y J.E.BOWLES



FUENTE: Elaboración propia.



Figura 23. Tamizado del agregado fino (3/8", #4, #8, #16, #30, #50, #100, #200, fondo).



Figura 24. Pesaje de agregado fino retenido en cada tamiz.



Figura 25. Granulometría de agregado fino.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE



GRANULOMETRÍA COMBINADA DE AGREGADO FINO

TESIS: "ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL AGUA EN EL CONCRETO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS (BIOCONCRETO), CUSCO - 2018".

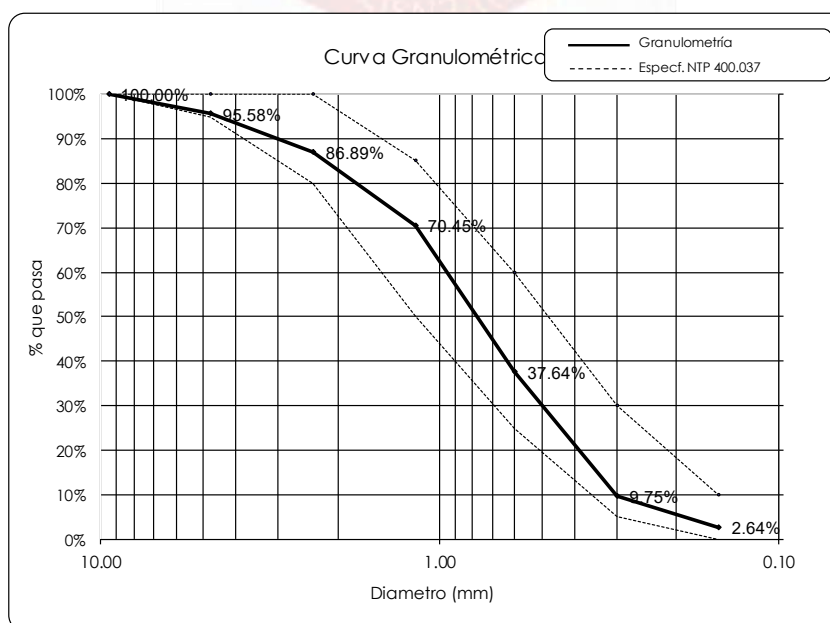
REALIZADO POR	: Renato Héctor Mendoza Nina
ENSAYO	: Análisis Granulométrico de Agregado Fino Combinado.
CANTERA	: Arena de Cunyac y Confitillo de Vicho.
LUGAR	: Laboratorio de suelos, materiales, concreto y asfalto.

GRANULOMETRÍA DE AGREGADO FINO COMBINADA (Cunyac 30 % + Vicho 70 %)								
Tamiz		Peso de Muestra Retenido		Porcentaje (%)		1,210 g		
Pulg.	Ø mm	Peso Retenido (g)	Peso Corregido (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LIMITES GRANULOMETRICO NTP 400.037	
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
# 4	4.750	52.84	53.47	4.42%	4.42%	95.58%	95.00%	100.00%
# 8	2.360	104.53	105.16	8.69%	13.11%	86.89%	80.00%	100.00%
# 16	1.180	198.26	198.89	16.44%	29.55%	70.45%	50.00%	85.00%
# 30	0.600	396.41	397.04	32.81%	62.36%	37.64%	25.00%	60.00%
# 50	0.300	336.85	337.48	27.89%	90.25%	9.75%	5.00%	30.00%
# 100	0.150	85.37	86.00	7.11%	97.36%	2.64%	0.00%	10.00%
# 200	0.075	12.54	13.17	1.09%	98.44%	1.56%		
FONDO	0.000	18.20	18.83	1.56%	100.00%	0.00%		
TOTAL		1205.00	1210.00	100.00%				
MF =		2.97						

FUENTE: Elaboración propia.

MF = 2.35 - 3.15

REFERENCIAS: NTP 400.012, N.T.P. 400.037 (2014), NTP 400.07, ASTM D-422, ASTM C-33, MTCE 107 - 2000 y J.E.BOWLES



FUENTE: Elaboración propia.

4.7.7.2. Granulometría de agregado grueso

a. Procedimiento

- Después de haber obtenido una muestra representativa con el método del cuarteo, se tiene el agregado grueso, se procedió a pesar la muestra 3500 g, y fue lavado al horno Pasteur por 24 horas.

De las cuales, 3,308.72 g fue tamizado de la siguiente manera:

- Se ordenaron los tamices (1", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", #4 y el fondo), y se colocó el agregado grueso en el tamiz. Luego procedí a colocar la serie de tamices al tamizador eléctrico por un tiempo de 2 minutos.
- Después de este tiempo retiró la serie de tamices y se observó que en el tamiz de $\frac{3}{4}$ " se produjo el primer retenido de agregados, a esto se llama, tamaño máximo nominal.
- Después de ello, se procedió a tamizar, para ver que los agregados pasen por la serie de tamices.
- Después, se realizó el pesaje del material retenido en los tamices, y se determinaron los pesos del material. Con los datos obtenidos se desarrollaron los cálculos correspondientes, para obtener el gráfico de la granulometría del agregado grueso.



Figura 26. Muestra de agregado grueso para el tamizado.

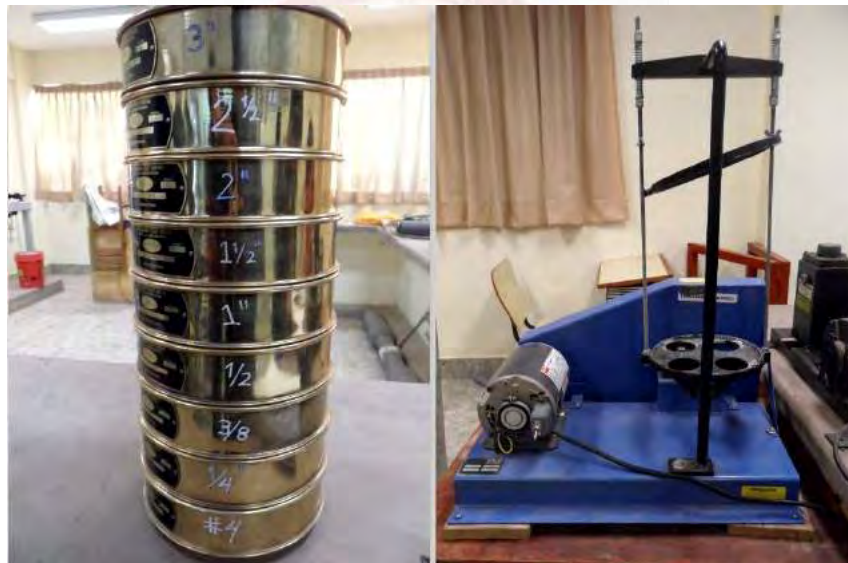


Figura 27. Serie de tamices y tamizador eléctrico.



Figura 28. Tamizado del agregado grueso.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE



GRANULOMETRÍA DE AGREGADO GRUESO

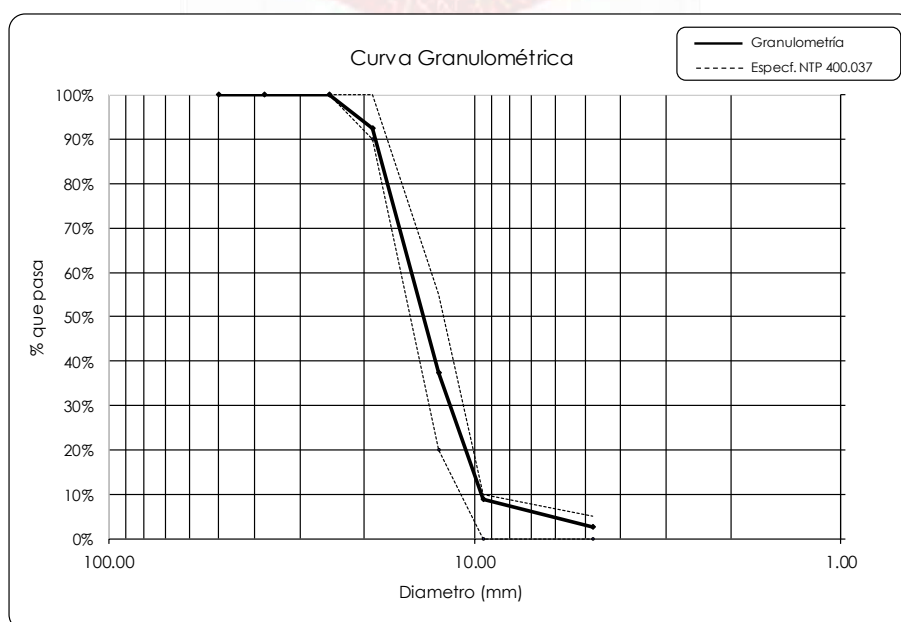
TESIS: "ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL AGUA EN EL CONCRETO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS (BIOCONCRETO), CUSCO - 2018".

REALIZADO POR	: Renato Héctor Mendoza Nina
ENSAYO	: Análisis Granulométrico de Agregado Grueso
CANTERA	: Piedra Chancada de Vicho
LUGAR	: Laboratorio de suelos, materiales, concreto y asfalto

GRANULOMETRÍA DE AGREGADO GRUESO									
Tamiz		Peso de Muestra Retenido				Porcentaje (%)		3308.72 g	
Pulg.	Ø mm	Peso Retenido 1 (g)	Peso Retenido 2 (g)	Peso Retenido 3 (g)	Peso Promedio (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LIMITES GRANULOMETRICO NTP 400.037 (Huso 6)
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	
1"	25.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100.00% 100.00%
3/4"	19.000	246.91	304.34	189.48	246.91	7.46%	7.46%	92.54%	90.00% 100.00%
1/2"	12.500	1746.28	1842.33	1890.35	1826.32	55.20%	62.66%	37.34%	20.00% 55.00%
3/8"	9.500	942.15	874.69	1009.61	942.15	28.47%	91.13%	8.87%	0.00% 10.00%
# 4	4.750	274.28	201.73	129.21	201.74	6.10%	97.23%	2.77%	0.00% 5.00%
# 8	2.380								
FONDO	0.000	99.10	85.63	90.07	91.60	2.77%	2.77%	97.23%	
TOTAL		3308.72	3308.72	3308.72	3308.72	100.00%			

FUENTE: Elaboración propia.

REFERENCIAS: MTC E 107-2000 NTP 400.012, NTP 400.037, ASTM D-422, ASTM C-33, J. E. Bowles (Experimento N° 5)



FUENTE: Elaboración propia.

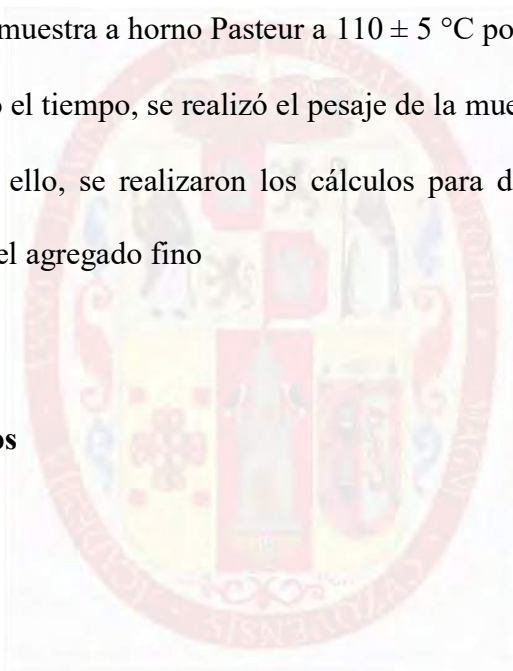
4.7.8. Contenido de humedad de los agregados

4.7.8.1. Contenido de humedad del agregado fino

a. Procedimiento

- Del muestreo realizado del agregado fino, se extrajo el material para determinar la humedad.
- Se pesó la muestra en una vasija metálica mediante una balanza sensible al 0.1 %.
- Se llevó la muestra a horno Pasteur a 110 ± 5 °C por 24 h.
- Trascurrido el tiempo, se realizó el pesaje de la muestra seca.
- Posterior a ello, se realizaron los cálculos para determinar el contenido de humedad del agregado fino

b. Toma de datos





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE



CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADO FINO

TESIS: "ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL AGUA EN EL CONCRETO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS (BIOCONCRETO), CUSCO - 2018".

REALIZADO POR	: Renato Héctor Mendoza Nina
ENSAYO	: Contenido de Humedad del Agregado Fino
CANTERA	: Arena de Cunyac
LUGAR	: Laboratorio de suelos, materiales, concreto y asfalto

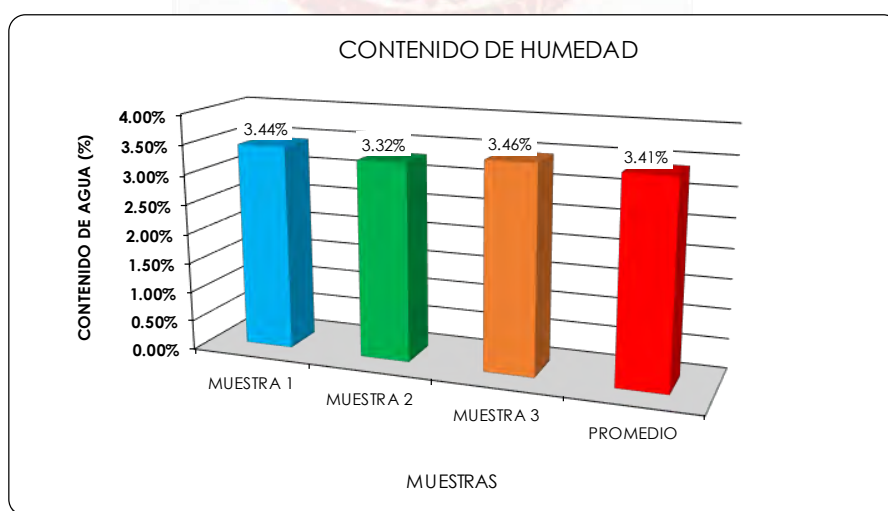
CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADO FINO					
DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO
Peso de Tara (vasija metálica)	W_t	85.12 g	82.61 g	83.20 g	83.64 g
Peso de Tara + Material Húmedo	W_1	591.48 g	577.83 g	584.92 g	584.74 g
Peso de Tara + Material Secado en Horno	W_2	574.62 g	561.94 g	568.15 g	568.24 g
Peso Húmedo de Material	W_H	506.36 g	495.22 g	501.72 g	501.10 g
Peso Seco del Material	W_S	489.50 g	479.33 g	484.95 g	484.59 g
Peso del Agua	W_a	16.86 g	15.89 g	16.77 g	16.51 g
Contenido de humedad Parcial	%W	3.44%	3.32%	3.46%	3.41%
Promedio Contenido de Humedad		3.41%			

FUENTE: Elaboración propia.

REFERENCIAS: ASTM D-2216, MTC E 108-2000, J. E. Bowles (Experimento N° 1).

Contenido de Humedad (Agregado Fino):

$$\%W = \left(\frac{W_H - W_S}{W_S} \right) * 100$$



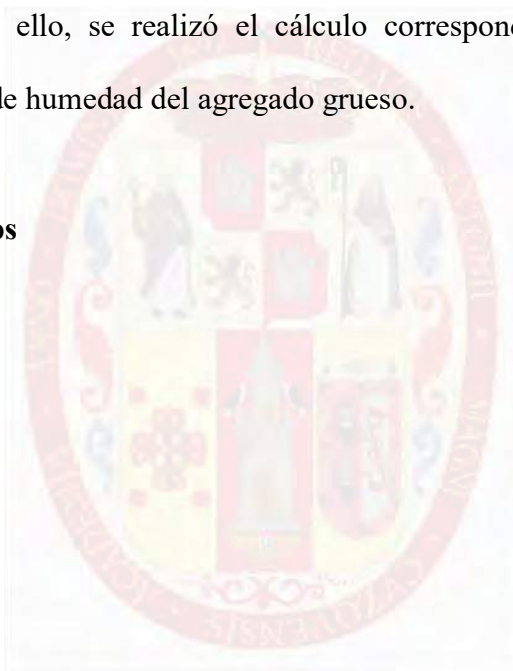
FUENTE: Elaboración propia.

4.7.8.2. Contenido de humedad del agregado grueso

a. Procedimiento

- Del muestreo realizado del agregado grueso, se extrajo el material para la determinación de la humedad.
- Se realizó el pesaje de la muestra en balanza de precisión al 0.1 %.
- La muestra se dejó en horno Pasteur a 110 ± 5 °C por 24 h. Después se realizó el pesaje.
- Posterior a ello, se realizó el cálculo correspondiente para determinar el contenido de humedad del agregado grueso.

b. Toma de datos





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE



CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADO GRUESO

TESIS: "ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL AGUA EN EL CONCRETO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS (BIOCONCRETO), CUSCO - 2018".

REALIZADO POR	: Renato Héctor Mendoza Nina
ENSAYO	: Contenido de Humedad del Agregado Grueso
CANTERA	: Piedra Chancada de Vicho
LUGAR	: Laboratorio de suelos, materiales, concreto y asfalto

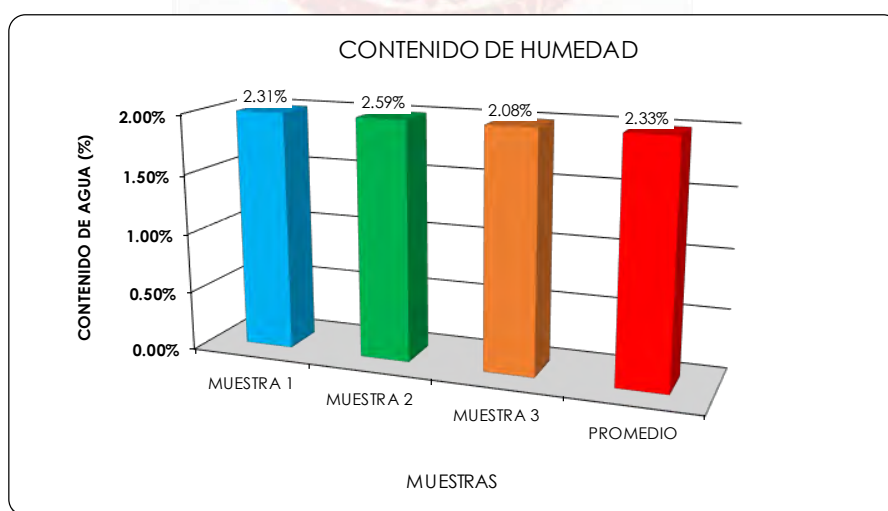
CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADO GRUESO					
DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO
Peso de Tara (vasija metálica)	W_t	85.40 g	86.12 g	87.53 g	86.35 g
Peso de Tara + Material Húmedo	W_1	2,095.00 g	2,112.40 g	2,109.34 g	2,105.58 g
Peso de Tara + Material Secado en Horno	W_2	2,049.58 g	2,061.28 g	2,068.22 g	2,059.69 g
Peso Húmedo de Material	W_H	2,009.60 g	2,026.28 g	2,021.81 g	2,019.23 g
Peso Seco del Material	W_S	1,964.18 g	1,975.16 g	1,980.69 g	1,973.34 g
Peso del Agua	W_a	45.42 g	51.12 g	41.12 g	45.89 g
Contenido de humedad Parcial	%W	2.31%	2.59%	2.08%	2.33%
Promedio Contenido de Humedad		2.33%			

FUENTE: Elaboración propia.

REFERENCIAS: ASTM D-2216, MTC E 108-2000, J. E. Bowles (Experimento N° 1).

Contenido de Humedad (Agregado Fino):

$$\%W = \left(\frac{W_H - W_S}{W_S} \right) * 100$$



FUENTE: Elaboración propia.

4.7.9. Peso específico y absorción de los agregados

4.7.9.1. *Peso específico y absorción del agregado fino*

a. Procedimiento

- La muestra de agregado fino se obtuvo mediante el método de cuarteo, que fue tamizado por la malla #4, la muestra fue de más de 1000 g. Posterior a ello, se llevó a horno Pasteur a 110 °C, hasta que su masa sea constante.
- Luego el material, se retiró del horno Pasteur para secar a temperatura ambiente por 3 horas.
- Pasado dicho tiempo, se sumergió en un recipiente con agua la cantidad de 1000 g., por 24 horas para lograr la saturación.
- Pasado el tiempo (24 horas), las muestras de agregado fino se extendieron en superficie plana y estable, se pasó aire caliente, las mismas que se removieron, para que no se adhieran entre sí (se utilizó una secadora).
- Se colocó el agregado hasta un tercio del molde (cono metálico), seguidamente, se dió 25 golpes con ayuda del apisonador. Esta acción, se realizó en 3 oportunidades, completando la altura del cono.
- Se enrazó con agregado fino el cono de absorción, y se procedió a retirar el molde verticalmente
- Presentó la humedad que relaciona al estado saturado superficialmente seco. La forma del material no se desmoronó, y es cónica terminada en punta.
- Cuando el material se encuentra en el estado anterior, se realizó el pesaje de 1000 g (se pesó 500 g. de material para colocar en el picnómetro y otros 500 g se pusieron al horno Pasteur para secar durante 24 horas a una temperatura de 110 °C ± 5 °C).

- Se realizó el pesaje del picnómetro. Después, se realizó el pesaje del picnómetro con 500 mL de agua. Luego se añadió al picnómetro 500 gramos del material (con la bomba de vacíos se eliminó las burbujas de aire).
- Se llenó de agua 500 mL hasta en 3 ocasiones, con probetas graduadas de 100 ml y 250 mL.
- La muestra secada al horno, se anotó el peso del material
- Se calcularon: el porcentaje de absorción, peso específico saturado superficialmente seco, peso específico seco.



Figura 29. Ensayo de peso específico del agregado fino.

b. Toma de datos



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE



PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO

TESIS: "ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL AGUA EN EL CONCRETO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS (BIOCONCRETO), CUSCO - 2018".

REALIZADO POR	: Renato Héctor Mendoza Nina
ENSAYO	: Peso Específico y % de absorción de Agregado Fino
CANTERA	: Arena de Cunyac
LUGAR	: Laboratorio de suelos, materiales, concreto y asfalto

PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO		
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	VALOR
A	Peso en el aire de la muestra secada en el horno (g).	490.70 g
B	Peso del picnómetro lleno con agua (g).	716.50 g
C	Peso del picnómetro con la muestra y el agua hasta la marca de calibración (g).	1,024.68 g
S	Peso de la muestra saturada y superficialmente seca (g)	500.10 g
Pem	Peso específico de masa (g/cm ³)	2.56 g/cm ³
PeSSS	Peso específico de una masa saturada con superficie seca (g/cm ³)	2.61 g/cm ³
Pea	Peso específico aparente (g/cm ³)	2.69 g/cm ³
Ab	Absorción (%)	1.92%

FUENTE: Elaboración propia.

REFERENCIAS: ASTM C-128, NTP 400.022, Norma MTC E 205 - 2000

Peso Específico de Masa (g/cm ³):	$P_{em} = \frac{A}{B + S - C}$
Peso específico de una masa saturada con superficie seca (g/cm ³):	$P_{eSSS} = \frac{S}{B + S - C}$
Peso Específico Aparente (g/cm ³):	$P_{ea} = \frac{A}{B + A - C}$
Absorción (%):	$Ab = \frac{S - A}{A} * 100$

FUENTE: Elaboración propia.

4.7.9.2. *Peso específico y absorción del agregado grueso*

a. Procedimiento

- Se tiene como mínimo 2 kg, la muestra que pasa el tamiz #4 es desechado.
- La muestra del agregado procede del muestreo y fue lavado por la malla #4 mayor a 3 kg.
- La muestra se llevó al horno Pasteur, se atemperó y luego fue colocado en recipiente con agua por 24 horas.
- Transcurrido el tiempo de saturación, se extrajo la muestra a un recipiente. Posterior a ello, con una franela y/o paño absorbente se secó hasta desaparecer cualquier película de agua visible, es decir, obteniendo la muestra en estado saturado superficialmente seco.
- Se pesó el material en una balanza de 0.5 g. (precisión). Luego, se introdujo en la canastilla enmallada hasta sumergir por completo en un balde, conectando el cestillo a la balanza.
 - * Se determinaron los pesos antes y después de sumergir.
- La muestra del agregado grueso (saturada superficialmente seca), se pesó y fue llevado al horno Pasteur por 16 horas a $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, hasta su peso constante.
- Posterior a ello, se enfrió a temperatura ambiente 1 a 3 horas y se tomó el peso.
- Se calcularon: el porcentaje de absorción, peso específico saturado superficialmente seco, y peso específico seco.



Figura 30. Muestra sumergida de agregado grueso.

b. Toma de datos



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE



PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO

TESIS: "ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL AGUA EN EL CONCRETO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS (BIOCONCRETO), CUSCO - 2018".

REALIZADO POR	: Renato Héctor Mendoza Nina
ENSAYO	: Peso Específico y % Absorción de Agregado Grueso
CANTERA	: Piedra Chancada de Vicho
LUGAR	: Laboratorio de suelos, materiales, concreto y asfalto

PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO		
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	VALOR
A	Peso de la muestra seca en el aire (g).	3,947.60 g
B	Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire, (g).	4,003.72 g
C	Peso de la Muestra Saturada dentro del Agua (g).	2,430.83 g
Pem	Peso específico de masa (g/cm ³)	2.51 g/cm ³
PeSSS	Peso específico de una masa saturada con superficie seca (g/cm ³)	2.55 g/cm ³
Pea	Peso específico aparente (g/cm ³)	2.60 g/cm ³
Ab	Absorción (%)	1.42%

FUENTE: Elaboración propia.

REFERENCIAS: ASTM C-128, NTP 400.022, N.T.P. 400.021 (2013), Norma MTC E 205 - 2000.

Peso Específico de Masa (g/cm ³)	$Pem = \frac{A}{B - C}$
Peso específico de una masa saturada con superficie seca (g/cm ³)	$PeSSS = \frac{B}{B - C}$
Peso Específico Aparente (g/cm ³):	$Pea = \frac{A}{A - C}$
Absorción (%):	$Ab = \frac{B - A}{A} * 100$

FUENTE: Elaboración propia.

4.7.10. Peso unitario de los agregados

a. Procedimiento

La muestra de agregado obtenidas del cuarteo se coloca en una bandeja metálica, la misma, fue llevado al horno Pasteur a $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 horas, hasta peso constante, luego se enfrió a temperatura ambiente.

Para el presente ensayo, la muestra debe estar seco. El ensayo se realizó de dos formas:

b1. Peso unitario suelto de los agregados

- Se midió el molde: altura, diámetro interno, y se determinó el peso. Por tanto, se determinó el volumen.
- Se vertió la muestra hasta la parte superior (enrazado) del molde, con ayuda de varilla de 5/8".
- Posterior a ello, se llevó a una balanza de precisión (0.1 g), se realizó el pesaje del material mas el molde. Este proceso fue por 3 veces.

b2. Peso unitario compactado de los agregados

- Se midió el molde: altura, diámetro interno, y se determinó el peso. Por tanto, se determinó el volumen.
- Se vertió la muestra hasta la parte superior (enrazado) del molde.
- El proceso de llenado en el cilindro próctor, fue en tres etapas, para cada etapa se realizaron 25 golpes con una varilla (compactación). Se repitió esta operación en cada capa.
- Se enrasó el material al nivel del borde superior del molde, con varilla de 5/8".
- Se realizó el pesaje del material mas el molde. Este proceso fue por 3 veces.

b. Toma de datos



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE



PESO UNITARIO DE AGREGADO FINO

TESIS: "ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL AGUA EN EL CONCRETO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS (BIOCONCRETO), CUSCO - 2018".

REALIZADO POR	: Renato Héctor Mendoza Nina
ENSAYO	: Peso Unitario de Agregado Fino
CANTERA	: Arena de Cunyac
LUGAR	: Laboratorio de suelos, materiales, concreto y asfalto.

PESO UNITARIO SUELTO DE AGREGADO FINO (SECO)					
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	ENSAYOS			
		MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO
P_m	Peso del molde (cilindro proctor)	7,510.00 g	7,510.00 g	7,510.00 g	7,510.00 g
V_m	Volumen del molde ($\phi = 15.10$ cm; $h = 16.50$ cm)	2,950.13 cm ³	2,954.80 cm ³	2,952.41 cm ³	2,952.45 cm ³
P_t	Peso total (peso de molde + peso de agregado)	12,490.00 g	12,310.00 g	12,340.00 g	12,380.00 g
P_a	Peso de agregado ($P_t - P_m$)	4,980.00 g	4,800.00 g	4,830.00 g	4,870.00 g
S	Peso específico de masa	2.56 g/cm ³	2.56 g/cm ³	2.56 g/cm ³	2.56 g/cm ³
W	Densidad del agua (0.998 g/cm ³)	1.00 g/cm ³	1.00 g/cm ³	1.00 g/cm ³	1.00 g/cm ³
% V	Porcentaje de vacíos	33.85%	36.34%	35.89%	35.36%
PU_s	Peso Unitario Suelto	1.69	1.62	1.64	1.65
PESO UNITARIO SUELTO PROMEDIO		1.65 gr/cm³			

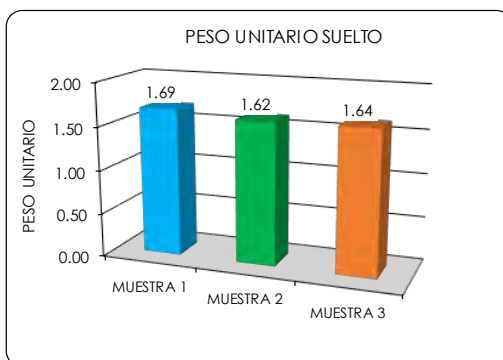
Peso del Agregado: $P_a = P_t - P_m$

% de Vacíos: $\%V = \left(\frac{(S * W) - PUS}{(S * W)} \right) * 100$

Peso Unitario Suelto: $PU_s = \frac{P_a}{V_m}$

Peso Unitario Compact $PU_c = \frac{P_a}{V_m}$

PESO UNITARIO COMPACTADO DE AGREGADO FINO (SECO)					
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	ENSAYOS			
		MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO
P_m	Peso del molde (cilindro proctor)	7,510.00 g	7,510.00 g	7,510.00 g	7,510.00 g
V_m	Volumen del molde ($\phi = 15.10$ cm; $h = 16.50$ cm)	2,950.13 cm ³	2,954.80 cm ³	2,952.41 cm ³	2,952.45 cm ³
P_t	Peso total (peso de molde + peso de agregado)	12,750.16 g	12,760.23 g	12,791.42 g	12,767.27 g
P_a	Peso de agregado ($P_t - P_m$)	5,240.16 g	5,250.23 g	5,281.42 g	5,257.27 g
S	Peso específico de masa	2.56 g/cm ³	2.56 g/cm ³	2.56 g/cm ³	2.56 g/cm ³
W	Densidad del agua (0.998 g/cm ³)	1.00 g/cm ³	1.00 g/cm ³	1.00 g/cm ³	1.00 g/cm ³
% V	Porcentaje de vacíos	30.39%	30.37%	29.90%	30.22%
PU_c	Peso Unitario Compacto	1.78	1.78	1.79	1.78
PESO UNITARIO COMPACTO PROMEDIO		1.78 gr/cm³			



FUENTE: Elaboración propia.

REFERENCIAS: N.T.P. 400.017 (1999), ASTM D-2216, MTC E 108-2000, J. E. Bowles (Experimento N° 1).



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE



PESO UNITARIO DE AGREGADO GRUESO

TESIS: "ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL AGUA EN EL CONCRETO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS (BIOCONCRETO), CUSCO - 2018".

REALIZADO POR	: Renato Héctor Mendoza Nina
ENSAYO	: Peso Unitario de Agregado Grueso
CANTERA	: Piedra Chancada de Vicho
LUGAR	: Laboratorio de suelos, materiales, concreto y asfalto.

PESO UNITARIO SUELTO DE AGREGADO GRUESO (SECO)					
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	ENSAYOS			
		MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO
P_m	Peso del molde (cilindro proctor)	6,775.12 g	6,775.12 g	6,775.12 g	6,775.12 g
V_m	Volumen del molde ($\phi = 15.30$ cm; $h = 30.50$ cm)	5,609.17 cm ³	5,607.54 cm ³	5,605.21 cm ³	5,607.31 cm ³
P_t	Peso total (peso de molde+peso de agregado)	15,690.43 g	15,320.61 g	15,650.72 g	15,553.92 g
P_a	Peso de agregado ($P_t - P_m$)	8,915.31 g	8,545.49 g	8,875.60 g	8,778.80 g
S	Peso específico de masa	2.56 g/cm ³	2.56 g/cm ³	2.56 g/cm ³	2.56 g/cm ³
W	Densidad del agua (0.998 g/cm ³)	1.00 g/cm ³	1.00 g/cm ³	1.00 g/cm ³	1.00 g/cm ³
% V	Porcentaje de vacíos	37.71%	40.28%	37.94%	38.64%
PU_s	Peso Unitario Suelto	1.59	1.52	1.58	1.57
PESO UNITARIO SUELTO PROMEDIO		1.57 gr/cm³			

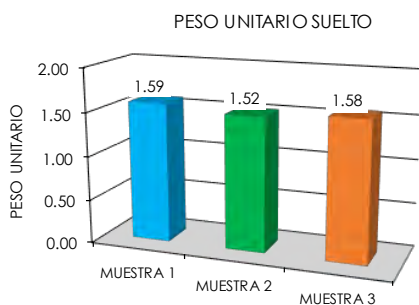
Peso del Agregado: $P_a = P_t - P_m$

% de Vacíos: $\%V = \left(\frac{(S * W) - PUs}{(S * W)} \right) * 100$

Peso Unitario Suelto: $PU_s = \frac{P_a}{V_m}$

Peso Unitario Compacto $PU_c = \frac{P_a}{V_m}$

PESO UNITARIO COMPACTADO DE AGREGADO GRUESO (SECO)					
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	ENSAYOS			
		MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO
P_m	Peso del molde (cilindro proctor)	6,775.12 g	6,775.12 g	6,775.12 g	6,775.12 g
V_m	Volumen del molde ($\phi = 15.30$ cm; $h = 30.50$ cm)	5,609.17 cm ³	5,607.54 cm ³	5,605.21 cm ³	5,607.31 cm ³
P_t	Peso total (peso de molde+peso de agregado)	16,120.53 g	16,185.48 g	15,940.23 g	16,082.08 g
P_a	Peso de agregado ($P_t - P_m$)	9,345.41 g	9,410.36 g	9,165.11 g	9,306.96 g
S	Peso específico de masa	2.56 g/cm ³	2.56 g/cm ³	2.56 g/cm ³	2.56 g/cm ³
W	Densidad del agua (0.998 g/cm ³)	1.00 g/cm ³	1.00 g/cm ³	1.00 g/cm ³	1.00 g/cm ³
% V	Porcentaje de vacíos	34.71%	34.23%	35.92%	34.95%
PU_c	Peso Unitario Compacto	1.67	1.68	1.64	1.66
PESO UNITARIO COMPACTO PROMEDIO		1.66 gr/cm³			



FUENTE: Elaboración propia.

REFERENCIAS: N.T.P. 400.017 (1999), ASTM D-2216, MTC E 108-2000, J. E. Bowles (Experimento N° 1).

4.7.11. Preparación de la mezcla de concreto

a. Procedimiento

- Se verificó los equipos, materiales, insumos y herramientas que están en estado óptimo, bajo condiciones estándares para iniciar el proceso de la mezcla de concreto.
- Se agregó agua en la mezcladora trompo, con la finalidad de evitar la absorción.
- Se pesaron en la balanza los agregados, según la dosificación calculada. Lo propio se pesó el cemento y el agua se midió en un envase graduada (Lt).
- Teniendo los agregados, el cemento, el agua con sus respectivos pesajes, se depositó en la mezcladora para el proceso del mezclado. Seguidamente se agregó agua de manera constante, para que el mezclado sea eficiente y evitar la formación de grumos dentro de la mezcladora.
- El proceso de mezclado duró entre 2 – 5 minutos, luego se verificó que la mezcla esté homogéneo y combinado en forma pastosa.

4.7.11.1. Consistencia del concreto (*Revenimiento – Slump*)

Según N.T.P. 339.045 y ASTM C-143.

a. Procedimiento

- El molde cónico (cono de Abrams.) antes del ensayo se pasó con un poco de petróleo biodiesel.

- Se detuvo el mezclado, luego a una carretilla se transfiere la mezcla de concreto, a su vez se llevó a un lugar de piso uniforme y estable para la prueba de revenimiento.
- Hasta un tercio del volumen del cono de Abrams, se añadió concreto, y con ayuda de una varilla de 5/8", se realizó 25 golpes de manera espiral en toda la superficie. Este proceso se realizó para las tres capas.
- Finalmente, se enrazó la parte superior del cono.



Figura 31. Ensayo de revenimiento del concreto (consistencia - slump).

- Finalmente, se retiró el molde cónico sujetando de las orejas del mismo, y se levantó de forma vertical de 3 a 7 segundos.



Figura 32. Revenimiento del concreto (consistencia – slump).

- Posterior a ello, se invirtió el molde cónico y se colocó junto al “cono” de concreto. Con la varilla de 5/8” de forma horizontal, y una cinta métrica se midió el asentamiento (Slump).



Figura 33. Medición del Slump del concreto.

b. Toma de datos



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE



PRUEBA DE REVENIMIENTO (SLUMP)

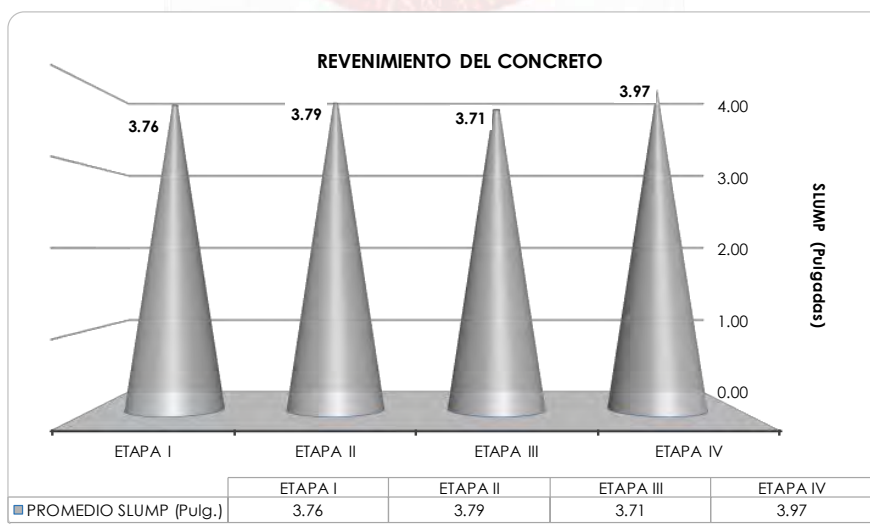
TESIS: "ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL AGUA EN EL CONCRETO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS (BIOCONCRETO), CUSCO - 2018".

REALIZADO POR	: Renat o Héctor Mendoza Nina
ENSAYO	: Prueba de revenimiento (Consistencia - Slump)
AGREGADOS	Cunyac y Vícho
LUGAR	: Laboratorio de suelos, materiales, concreto y asfalto

REVENIMIENTO DEL CONCRETO (CONSISTENCIA - SLUMP)								
CONCRETO	VACIADO	LECTURAS				PROMEDIO SLUMP (cm)	PROMEDIO SLUMP (pulgadas) 1" = 2.54 cm	PROMEDIO SLUMP (pulgadas)
		LECTURA 1 (cm)	LECTURA 2 (cm)	LECTURA 3 (cm)	LECTURA 4 (cm)			
Concreto F'c 210 kg/cm ²	ETAPA I	9.50	9.65	9.50	9.60	9.56	3.76	3.81
	ETAPA II	9.65	9.64	9.60	9.62	9.63	3.79	
	ETAPA III	9.44	9.40	9.38	9.45	9.42	3.71	
	ETAPA IV	10.10	10.15	10.00	10.12	10.09	3.97	

FUENTE: Elaboración propia.

REFERENCIAS: ASTM C-143



FUENTE: Elaboración propia.

4.7.11.2. *Elaboración de prismas de concreto*

* La investigación es de carácter científica y multidisciplinar. Por tanto, el trabajo se desarrolló en condiciones de laboratorio de microbiología (laboratorio de investigación). Para ello fue necesario tener muestras de concreto con menor tamaño posible para que sea manejable. Sin embargo, la norma ASTM C-31/C-31M (2008), indica que:

“La longitud debe ser al menos 50 mm más grande que tres veces la profundidad ensayada, ...La viga normalizada debe tener una sección transversal de 150 por 150 mm, (...)” (p. 3 – 4).

Para realizar el presente trabajo de esta investigación en bioreparación (bioprecipitación) de fisuras de los prismas de concreto, mediante la aplicación de solución bacteriana; no era necesario tener prismas de grandes dimensiones, porque el tamaño, el peso de 32 unidades de muestra para reparar una fisura aproximadamente 1 mm de espesor o menor a esta unidad, como se mencionó anteriormente, el manejo en laboratorio microbiológico no es la más adecuada posible. A parte de ello, se tendría que haber preparado mas solución bacteriana, más reactivos, más insumos. Porque los prismas de concreto fisurado, se curaron por inmersión en solución bacteriana según las fotografías antes citadas. Ello hubiera traído consigo déficit uso en los materiales, por ende, más gasto económico.

Cabe indicar que, en esta investigación científica multidisciplinar, el objetivo fue *sellar las fisuras en los prismas de concreto, mediante la aplicación de bacterias bioprecipitadoras de carbonato de calcio (CaCO₃), precursor de la calcita; no siendo el objetivo, la determinación de la resistencia a flexión.*

Por tanto, se realizó el cambio de las dimensiones de prisma de concreto, tomando como referencia la norma ASTM C-157/C-157M y la norma ASTM C-490/C-490M. y

apoyándome en el estudio de científicos japoneses (Hirozo, Yoshio, Tomoya & Koji, 2000), quienes realizaron un concreto inteligente con capacidad de autocuración. Asimismo, se adaptó de la Norma JIS A 1106, cumplimiento los estándares.

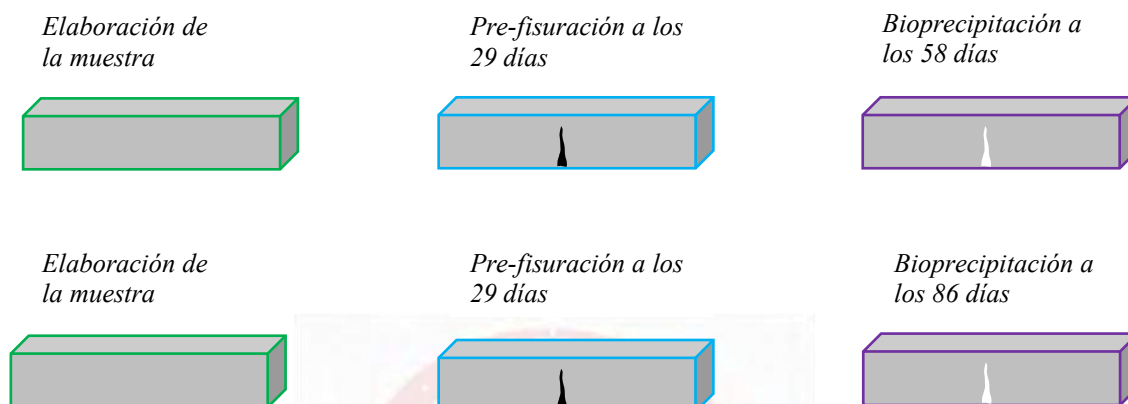


Figura 34. Proceso de auto-curación de la muestra de concreto fisurado.

*Es preciso indicar que, para esta metodología se tuvo que investigar arduamente a través de capacitaciones virtuales en investigación científica, capacitación virtual del uso de base de datos y biblioteca virtual por parte de Concytec, búsqueda de información de revistas indezadas (indexadas). Así mismo, el contacto con investigadores extranjeros que realizaron estudios en Bioconcreto (Bioconcrete, Self-Healing Concrete), los mismos que se encuentran en las citas mencionadas.

Para realizar las pruebas respectivas, tuve que decidir la realización con probetas o prismas, y por supuesto tomando en cuenta para la prueba de permeabilidad. Es decir, cuál de los modelos (probeta o prisma) era más eficiente para medir los objetivos de esta investigación. Para ello, se revisó más de 400 paper (artículos y revistas científicas indexadas), las mismas que, en su mayoría eran de revistas indexadas como: . Así mismo, para la elaboración de esta metodología en la bioreparación, bioprecipitación,

autocuración del concreto a base de solución bacteriana, se tomó como referencia los estudios de: Jonkers *et al.*, (2010); Sangadji *et al.*,(2013); Wiktor y Jonkers (2014); Tziviloglou *et al.*,(2016); Mendoza y Sánchez (2017); Tziviloglou *et al.*,(2017) y otros autores destacados de categoría internacional referentes a investigación científica. Así mismo, cabe resaltar que, los procesos metodológicos para el concreto se tomó como referencia del estudio de Mendoza y Sánchez (2017). Mi investigación fue una inspiración en *Self Healing of Concrete y el estudio de Mendoza y Sánchez (2017)*.

a. Procedimiento

- Para iniciar la elaboración de las muestras de concreto (prismas), se colocaron en superficie plana y firme los moldes. Seguidamente, se impregnaron mediante una brocha las caras interiores de los moldes con petróleo (Biodiesel), para que no se adhiriera la mezcla del concreto en la superficie interior del molde.



Figura 35. Colocación de moldes en superficie plana.

- Posterior a la impregnación, se colocaron los aceros lisos de $\varnothing \frac{1}{2}$ " (12.7 mm de diámetro y 500 mm de longitud), paralelo a la longitud del molde prismático, a nivel central. Cabe indicar que el acero liso fue impregnado con petróleo Biodiesel para su facilidad en el momento de la extracción durante el desmolde.



Figura 36. Colocación de acero liso $\varnothing \frac{1}{2}$ " y elaboración de prismas de concreto.

- Seguidamente, se midió el revenimiento del concreto, la cual se encontraba dentro del rango establecido para el diseño de mezcla para esta investigación.
- Luego se llenaron de concreto cada molde, este proceso se realizó en 2 etapas. Completado cada capa, atravesando toda su profundidad con varilla lisa de $\frac{5}{8}$ ", se dió 75 golpes en cada capa con la finalidad de compactar.
- Con la finalidad de eliminar el aire dentro de la mezcla, se realizó 15 golpes con martillo de goma en la cara externa de los moldes. Posterior a ello, se enrasaron la cara superior de los prismas.
- Para evitar la pérdida de agua de la superficie de la muestra de concreto no endurecido, se cubrieron con papel aluminio.

- Se dejaron secar los prismas de concreto después del moldeo bajo la sombra, Posteriormente, por 24 horas, las muestras fueron almacenados en un espacio acorde a criterios que evitaron perder humedad.
- Transcurrido el tiempo necesario, se procedió a desmoldar los prismas de concreto, así mismo la extracción de los aceros lisos de $\varnothing \frac{1}{2}$ ". Este proceso se realizó con ayuda de herramientas manuales como: alicate, martillo, destornillador estrella y llave inglesa.



Figura 37. Desmoldeo de prismas de concreto.



Figura 38. Medida de altura del prisma de concreto.



Figura 39. Medida horizontal del prisma de concreto (L=34 cm).



Figura 40. Prismas de concreto desmoldeados.

- Posteriormente, los especímenes se llevaron para el curado en agua por 28 días (en agua potable de SEDACUSCO, empresa que abastece este recurso a la población de la ciudad de Cusco).

4.7.12. Curado de prismas de concreto

a. Procedimiento

- Después de haber realizado con sumo cuidado el proceso de desmolde, se codificó los especímenes con plumón indeleble.
- Seguidamente, se sumergieron con cuidado al interior de la poza de agua contenidas en los lavatorios por 28 días. Es preciso indicar que, se tomaron muestras a los 7, 14, 21, 28 días para ensayo a flexión.



Figura 41. Curado de prismas de concreto.

4.7.13. Rotura intencional de muestras de concreto

a. Procedimiento

- Se procedió a medir las dimensiones de los prismas de concreto; tanto la longitud, ancho y altura (peralte) de las viguetas de concreto, por cada medición se recopilaron 2 lecturas, luego se promedió los valores de peralte, ancho y longitud.



Figura 42. Proceso de medición de los prismas de concreto y dimensionamiento de los apoyos para el ensayo a flexión.

- Se tomaron como testigos a los especímenes prismáticos (viguetas de concreto con resistencia $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$), con dimensiones de $100 \times 100 \times 340 \text{ mm}$.
- Antes de realizar el ensayo, se calibró la maquina universal y se proporcionó al programa las dimensiones de los especímenes y los parámetros de operación restantes.



Figura 43. Calibración de máquina universal de ensayos (HUMBOLDT).

- Enseguida, se colocaron los prismas de concreto en los apoyos, luego, se ajustaron la distancia a los especímenes. Para la obtención de la falla de las muestras, se colocó una carga puntual al medio de la muestra.



Figura 44. Ensayo a flexión de prismas de concreto.

*Para este ensayo, se tomó como guía la norma ASTM C239; no obstante, cabe aclarar que, el objetivo de la investigación no es determinar el esfuerzo a flexión.



Figura 45. Ensayo a flexión y creación de fisuras de manera controlada.

- Al concluir cada ensayo, se registraron los datos obtenidos de la máxima carga aplicada.




Figura 46. Creación de fisuras de manera controlada.

- Este proceso se realizó a los 7, 14 y 28 días de curado de los especímenes de prismas de concreto (viguetas).




Figura 47. Prisma de concreto fisurado de manera intencional para la reparación a base de bacterias.

b. Toma de datos



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE



TOMA DE DATOS DE PRISMAS DE CONCRETO

TESIS: "ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL AGUA EN EL CONCRETO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS (BIOCONCRETO), CUSCO - 2018".

REALIZADO POR	: Renato Héctor Mendoza Nina
ENSAYO	: Resistencia a flexión del concreto
LUGAR	: Laboratorio de suelos, materiales, concreto y asfalto

TOMA DE DATOS PARA ENSAYO A FLEXIÓN DE PRISMAS DE CONCRETO ($F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$) A LOS 7 DÍAS														
Tiempo Curado	Prisma de Concreto	Longitud			Ancho			Peralte			Lectura del Dial (Kg-f)	Módulo de Rotura (kg/cm^2)	Promedio Mód. Rotura (kg/cm^2)	Desviación Estándar D_s (kg/cm^2)
		Longitud L_1	Longitud L_2	Promedio (L)	Ancho A_1	Ancho A_2	Promedio (A)	Peralte B_1	Peralte B_2	Promedio (B)				
7 días	RHMA P ₁	34.10	33.80	33.95	9.70	10.00	9.85	10.30	10.18	10.24	2170.00	32.09	30.52	1.53
	RHMA P ₂	34.30	34.30	34.30	10.30	9.90	10.10	10.20	10.20	10.20	1930.00	28.55		
	RHMA P ₃	34.00	33.90	33.95	9.80	10.40	10.10	10.10	10.12	10.11	2045.00	30.19		
	RHMA P ₄	33.80	33.80	33.80	10.00	10.00	10.00	10.20	10.00	10.10	2118.00	31.25		

FUENTE: Elaboración propia.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL

RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE



TOMA DE DATOS DE PRISMAS DE CONCRETO

TESIS: "ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL AGUA EN EL CONCRETO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS (BIOCONCRETO), CUSCO - 2018".

REALIZADO POR	: Renat o Héctor Mendoza Nina
ENSAYO	: A flexión del concreto
LUGAR	: Laboratorio de suelos, materiales, concreto y asfalto

TOMA DE DATOS PARA ENSAYO A FLEXIÓN DE PRISMAS DE CONCRETO ($F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$) A LOS 14 DÍAS														
Tiempo Curado	Prisma de Concreto	Longitud			Ancho			Peralte			Lectura del Dial (Kg-f)	Módulo de Rotura (kg/cm ²)	Promedio Mód. Rotura (kg/cm ²)	Desviación Estándar Ds (kg/cm ²)
		Longitud L ₁	Longitud L ₂	Promedio (L)	Ancho A ₁	Ancho A ₂	Promedio (A)	Peralte B ₁	Peralte B ₂	Promedio (B)				
14 días	RHMA P ₅	34.20	34.20	34.20	9.80	9.70	9.75	10.05	10.01	10.03	2870.00	42.36	40.91	1.47
	RHMA P ₆	34.30	34.30	34.30	10.00	10.00	10.00	10.00	9.98	9.99	2630.00	38.94		
	RHMA P ₇	33.90	34.00	33.95	9.75	10.00	9.88	9.96	9.80	9.88	2815.00	41.60		
	RHMA P ₈	34.20	34.20	34.20	10.00	10.00	10.00	10.24	10.02	10.13	2750.00	40.72		

FUENTE: Elaboración propia.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL

RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE



TOMA DE DATOS DE PRISMAS DE CONCRETO

TESIS: "ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL AGUA EN EL CONCRETO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS (BIOCONCRETO), CUSCO - 2018".

REALIZADO POR	: Renat o Héctor Mendoza Nina
ENSAYO	: A flexión del concreto
LUGAR	: Laboratorio de suelos, materiales, concreto y asfalto

TOMA DE DATOS PARA ENSAYO A FLEXIÓN DE PRISMAS DE CONCRETO ($F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$) A LOS 28 DÍAS														
Tiempo Curado	Prisma de Concreto	Longitud			Ancho			Peralte			Lectura del Dial (Kg-f)	Módulo de Rotura (kg/cm ²)	Promedio Mód. Rotura (kg/cm ²)	Desviación Estándar Ds (kg/cm ²)
		Longitud L ₁	Longitud L ₂	Promedio (L)	Ancho A ₁	Ancho A ₂	Promedio (A)	Peralte B ₁	Peralte B ₂	Promedio (B)				
28 días	RHMA P ₉	33.90	33.70	33.80	10.00	10.20	10.10	10.15	10.13	10.14	2753.00	40.73	42.81	2.06
	RHMA P ₁₀	34.00	33.70	33.85	9.70	10.00	9.85	9.90	9.89	9.90	3086.00	45.57		
	RHMA P ₁₁	33.80	34.10	33.95	10.30	10.20	10.25	10.22	10.04	10.13	2910.00	42.98		
	RHMA P ₁₂	34.00	34.20	34.10	9.90	9.70	9.80	10.30	10.17	10.24	2840.00	41.94		

FUENTE: Elaboración propia.

4.7.14. Preparación de la solución bacteriana

El sistema de reparación consiste en bacterias compatibles de concreto Wiktor y Jonkers (2012), que producen calcita a base de minerales que disminuyen la porosidad del concreto. Este sistema se compone de dos soluciones.

Este sistema se compone de dos soluciones:

Tabla 7

Composición de solución A.

COMPOSICION DE SOLUCIÓN "A"				
DESCRIPCIÓN	UNDIDAD	CANTIDAD Agua Destilada (Litros)	CANTIDAD PARCIAL (g/L)	CANTIDAD TOTAL (g/6L)
Silicato de sodio	g	6.00	4.80	28.80
Gluconato de sodio	g	6.00	125.00	750.00
Extracto de levadura	g	6.00	1.00	6.00
Bacterias Alcalíflicas (esporas)	mL	6.00	22.50	135.00

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 8

Composición de solución B.

COMPOSICION DE SOLUCIÓN "B"				
DESCRIPCIÓN	UNDIDAD	CANTIDAD Agua Destilada (Litros)	CANTIDAD PARCIAL (g/L)	CANTIDAD TOTAL (g/6L)
Lactato de calcio	g	6.00	80.00	480.00
Bacterias Alcalíflicas (esporas)	mL	6.00	22.50	135.00

FUENTE: Elaboración propia.

a. Procedimiento

- Es menester indicar que, esta especie no es patógeno para el ser humano, tal como se indicó en el ítem 2.1.1.4. Se utiliza como control de enfermedades de cultivos agrícolas y como agente de control biológico de plagas y enfermedades en plantas.

- Previo a la preparación de la solución bacteriana, se esterilizó los materiales. Así mismo, se verificó los insumos, el buen estado en su conservación y por supuesto se verificó la fecha de vencimiento.
- Cabe resaltar, aquí en la preparación es con *esporas* bacterianas, no debe confundirse con cepa de bacterias. Las *esporas* bacterianas, son aquellas que soportan cambios bruscos de temperatura, pH, humedad. Son capaces de sobrevivir en latencia y estados desfavorables por periodos prolongados de tiempo, hasta 200 años. Por todo ello, se trabajó con *esporas bacterianas* de la cepa *Bacillus subtilis*.
- Los materiales como glucanato de sodio, lactato de calcio se sacaron de la refrigeradora donde se conservaron a una temperatura de 2 – 8 °C. Lo propio se sacó las esporas bacterianas de la refrigeradora, conservadas en tubos Falcon, tubos de ensayo con tapa rosca, a temperaturas entre 2 – 8 °C.



Figura 48. Materiales e insumos sacados de la refrigeradora.



Figura 49. Insumos para la preparación de solución A y B.



Figura 50. Insumos + esporas bacterianas para la solución A y B.

- Seguidamente, se realizó los cálculos de los insumos y reactivos para la preparación de la solución A y B, según la cantidad indicada por Wiktor *et al.* (2014), para una cantidad de 1000 mL.

- En una probeta de capacidad 1000 mL, conetnida el agua destilada, las esporas bacterianas (30 mL) fueron diluidas. Ésta fue añadida a las botellas graduadas de 2000 mL de capacidad hasta completar los dos litros, tanto para la *solución A* como para la *solución B*. Cabe indicar que ambas botellas graduadas se etiquetaron como *solución A* y *solución B*.
- Seguidamente, se realizó el pesaje de los insumos y reactivos, los reactivos fueron preparados para dos litros, de acuerdo a la recomendación del producto, y los requerimientos para la *solución A* y *B*.



Figura 51. Pesaje de insumos.

- Se añadieron los insumos y reactivos a una probeta de 1000 mL de capacidad y se homogenizó, seguidamente esta mezcla se agregó a la botella graduada de *solución A*. Lo propio se realizó para la *solución B*. A esta mezcla (esporas bacterianas + agua destilada + reactivos de los componentes de la solución A

y B) lo llamé como *solución bacteriana* bio-reparadora – bio-precipitadora de carbonato de calcio (CaCO_3), la calcita.



Figura 52: Adición de insumos a 2000 mL de agua destilada.



Figura 53. Solución A (izquierda) y solución B (derecha).



Figura 54. Traslado de solución A y B, a laboratorio de investigación II.

- Finalmente se homogeneizaron tanto la *solución A* como la *solución B*. Pero se observó que la *solución B* no estaba bien homogenizada.



Figura 55. Proceso de homogenización en laboratorio de investigación II.

- El lactato de calcio tendía a formar a manera de grumos y por mayor densidad en la base de la botella graduada se sedimentaba, ello no era eficiente para realizar las pruebas necesarias. Así que, se homogenizó con ayuda de una estufa eléctrica, la cual dio mejor resultado en la homogenización de esta solución.

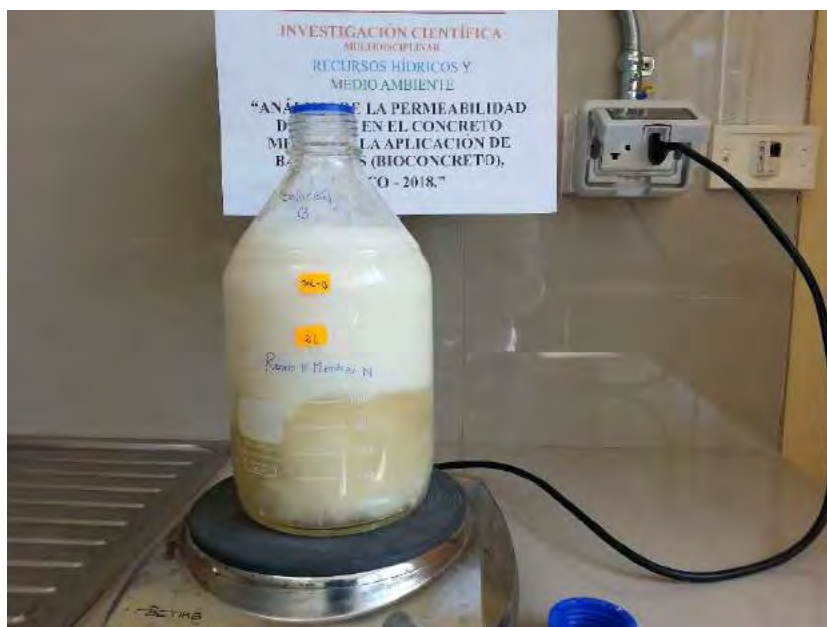


Figura 56. Proceso de homogenización de la solución B.



Figura 57. Solución B, homogenizado.



Figura 58. Solución A y B, completamente homogenizado.

4.7.15. Aplicación de solución bacteriana

a. Procedimiento

- Realizado la preparación de la solución A y B, se procedió la aplicación de la solución bacteriana bio-reparadora, bio-precipitadora.
- Previamente se lavó y enjuagó el envase de plástico (recipiente para los prismas de concreto fisurado) con agua destilada.
- En seguida se colocaron los prismas de concreto fisurado en el envase y se le añadió agua destilada hasta cubrir los prismas por un periodo de 48 horas, con la finalidad de evitar algunas impurezas de los especímenes y evitar que absorba la solución bacteriana, la cual hubiese hecho que dicha solución disminuya en menor tiempo posible. Porque lo más importante era sellar las fisuras, esa pequeña parte; no el cuerpo de los prismas.
- Después del tiempo transcurrido, se desechó el agua destilada en su totalidad y se procedió a secar a temperatura ambiente en laboratorio por 1 hora.
- Finalmente, para completar la solución A y B, se adiciona las esporas bacterianas.



Figura 59. Adición de esporas bacterianas en solución A y B.



Figura 60. Adición de esporas de Bacillus subtilis a solución B.

- Se tiene tanto la solución A y B.
- La solución bio-precipitadora antes de la mezcla (A+B).



Figura 61. Solución A final (izquierda); solución B final (derecha).

- Teniendo por separado la solución A y B, se realizó la mezcla en una botella graduada de 2000 mL, es preciso indicar que, se utilizó 6000 mL para la bio-precipitación.



Figura 62. Mezcla de solución bio-precipitadora.

- Seguidamente, se vertió la solución bacteriana bio-reparadora en el envase de plástico hasta una altura de 100 mm. Esto con la finalidad de precipitar el CaCO_3 en las fisuras lo más eficientemente y en menor tiempo posible.



Figura 63. Adición de la solución bio-precipitadora para la reparación de prismas fisuradas.

- Cabe indicar que, esta aplicación fue por inmersión, todos los prismas de concreto fisurado se sumergieron en la solución bacteriana; algunas de ellas por 28 días, tal como indica las referencias antes citadas y otros por 56 días.



Figura 64. Prismas inmersos en solución bio-precipitadora de CaCO_3 .

- Después de cada periodo indicado, se analizó mediante la prueba de permeabilidad y la observación al estereoscopio.

4.7.16. Prueba de permeabilidad

a. Procedimiento

Para analizar la bio-reparación, bio-precipitación del concreto, se realizaron fisuras en los prismas de concreto, con una sola carga puntual, aplicada al medio de su luz.

*Es preciso indicar que, este proceso de fisuración de los prismas de concreto fue *controlado*, para producir fisuras menores a 1 mm de espesor (ancho), dicho proceso se aplicó una mínima velocidad con la máquina universal. Cabe indicar, en esta etapa el objetivo fue generar fisuras menores a 1 mm para realizar la bio-precipitación de CaCO_3 mediante la aplicación de bacterias.

Después de la inspección de fisuras, la eficiencia de sellado fue estudiado a través de una prueba de permeabilidad de fisuras para vincular la propiedad funcional (permeabilidad de fisuras) a la observación visual. La prueba se realizó antes y después del tratamiento curativo.

- Dado que los especímenes contenían un agujero a lo largo de su longitud, uno de los dos extremos (\varnothing 12.5 mm) de la muestra se selló con una capa de mortero de cemento para evitar la fuga de agua. Se fijó un conector en el otro extremo, y se ajustó un tubo de plástico flexible para dejar pasar el agua hacia la fisura.



Figura 65. Sellado de agujero de prisma.

- La prueba de permeabilidad se realizó a todos los prismas fisuradas, es decir, a cada espécimen fisurado se tuvo que determinar en cuánto tiempo pasaba el agua de 100 g, 200 g, 300g, 400 g, 500g por la fisura. Cabe indicar, cada prisma de concreto fue patrón de sí mismo, puesto que se midieron después de 28 días y 56 días aplicadas con bacterias. Estos datos se compararán con el momento inicial de la prueba de permeabilidad, aplicadas sin bacterias y aplicados con bacterias (28 y 56 días).
- El prisma se apoyó horizontalmente en la parte superior del soporte de madera que tiene un agujero rectangular de 120×90 mm en el centro. A través del puerto de ingreso (Pi) el tubo de plástico flexible se montó en el accesorio y se canalizó el agua desde el envase (1) (1000 mL de capacidad) con una válvula (2) para abrir o cerrar el flujo. El recipiente está sujeto con garras y sostenido al soporte universal (3).



Figura 66. Permeámetro Recursos Hídricos y Medio Ambiente.

- Se midió desde el eje central de la muestra hasta el punto de entrada del tubo flexible en el envase (1), la cual es 600 mm.
- El volumen inicial del agua en el envase antes de abrir la válvula es de 750 ml. A través de una columna de agua a 60 cm de manera perpendicular sobre la muestra y 40 cm de manera horizontal, el agua pasó a través del tubo de plástico flexible por el agujero de \varnothing 12.5 mm y se filtró a través de la fisura.
- Se colocó un recipiente (6) debajo de la muestra para recoger el agua drenada a través de la abertura de la fisura. La balanza digital (7) de precisión calibrada con máximo capacidad de 2000 gr y resolución de 0.1 gr se utilizó para medir el peso en el tiempo del flujo de agua que goteaba de la fisura. A partir de ello, se

trazó los gráficos de la masa del agua que se filtró en las fisuras en función del tiempo.



Figura 67. Prueba de permeabilidad antes de la bioprecipitación.

- Es preciso indicar que, la prueba de permeabilidad se realizó mediante agua corriente desde el punto (Pi) antes de la aplicación de bacterias precipitadoras de CaCO_3 . Luego se realizó esta prueba posterior a la aplicación bacterias precipitadoras de CaCO_3 .

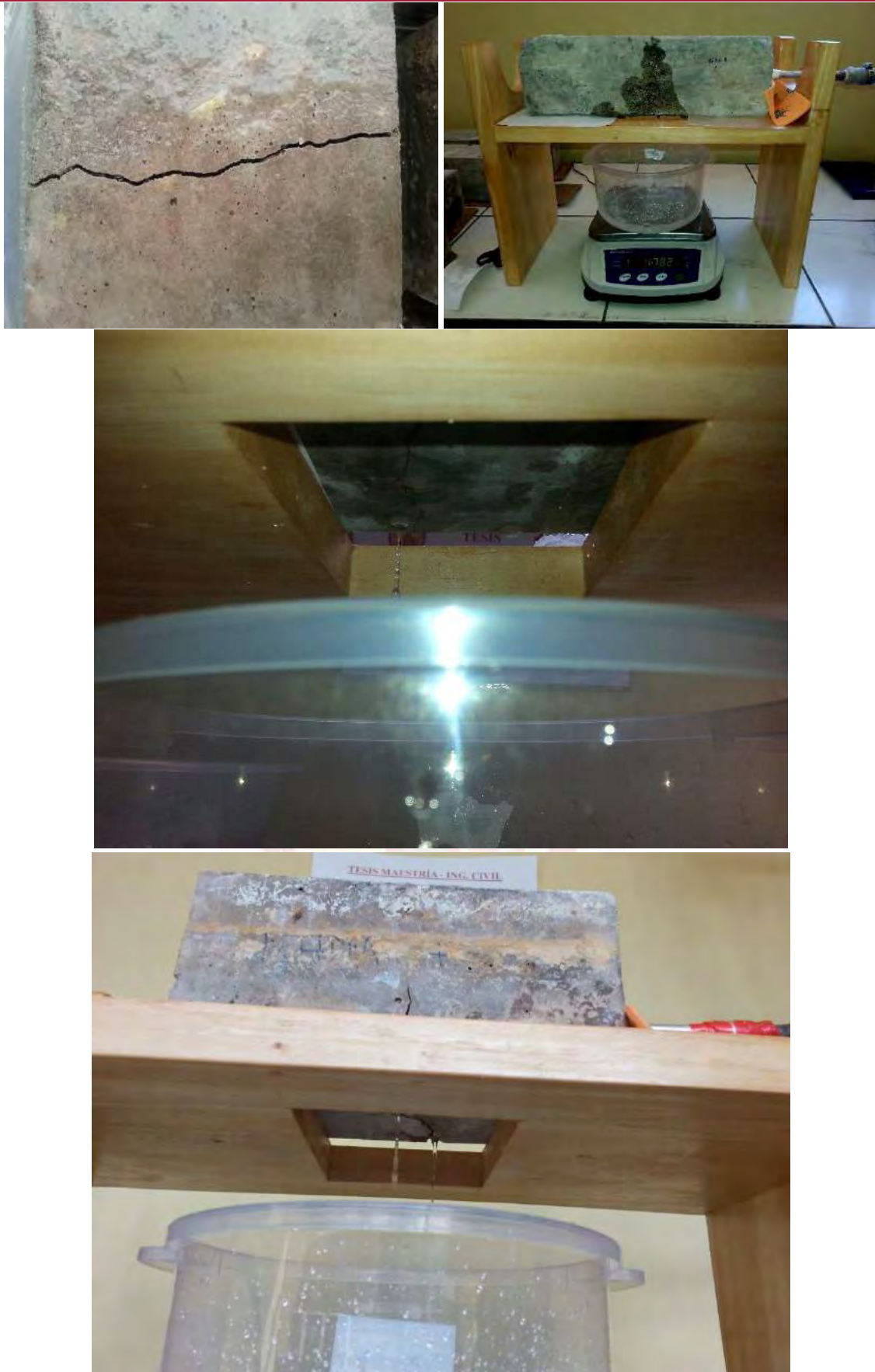


Figura 68. Prueba de permeabilidad sin aplicación de bacterias.

- Las muestras fueron curadas con solución bacteriana en condiciones de laboratorio con HR \pm 30% y temperatura \pm 20°C.



Figura 69. Proceso de Bioprecipitación de CaCO_3 .



Figura 70. Prueba de permeabilidad después de la bio-precipitación.

En caso de que no haya fisuras en la muestra o si las fisuras ya están curadas, el agua saldrá del puerto de salida (Ps), siempre que esté abierto.

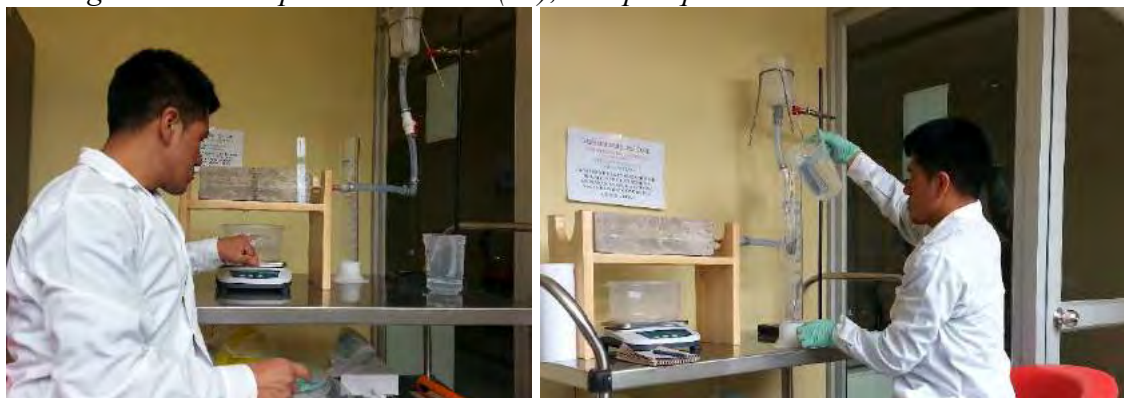


Figura 71. Adición de 750 mL de agua en envase para la prueba de permeabilidad.



Figura 72. Toma de datos y comparación el antes y después de la permeabilidad.

4.7.17. Observación a estereoscopio

a. Procedimiento

Se llevó a observación mediante un estereoscopio los prismas de concreto, las fisuras precipitadas de CaCO_3 mediante la aplicación de bacterias.



Figura 73. Observación a estereoscopio de Bioprecipitación.

4.8. TÉCNICAS DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN

4.8.1. Análisis de la curva de curva de crecimiento de *Bacillus subtilis*

El método de crecimiento de las bacterias se realizó mediante la medida de la *masa celular* por la *turbidez*, la cual es la cuantificación de la densidad óptica de una suspensión de células. La fase de crecimiento fue la siguiente en la presente investigación.

Fase lag: En esta fase las bacterias de la especie *Bacillus subtilis* entran en un estado de latencia o adaptación, las mismas que adaptan su metabolismo a 37 °C de temperatura y se preparan para reproducirse. En el gráfico siguiente se observa que esta fase está entre 0 – 43 horas.

Fase exponencial: Las bacterias ya se adaptaron a las nuevas condiciones ambientales, se inicia el crecimiento y se multiplican (el número de células se duplica logarítmicamente). En esta etapa la tasa de crecimiento es máxima y el tiempo de duplicación es mínimo. Esta fase está entre las 43 hrs hasta 208 hrs.

Fase estacionaria: El medio de cultivo de 2000 mL (BHI), los nutrientes se agotan por la cantidad de bacterias, la natalidad es igual a la mortalidad. Esta fase comprende desde 209 hrs hasta 220 horas.

Fase de muerte: Por la gran cantidad de bacterias que hay, y la falta de nutrientes, se inicia el proceso de declive (muerte), este proceso es logarítmico siendo más lento que la fase exponencial. A partir de 230 hrs. se inicia el declive bacteriano con mayor intensidad.

*Es preciso indicar que, por la gran cantidad de medio de cultivo (2000 mL), el crecimiento fue muy lento. En la investigación de Mendoza & Sánchez (2017), con 500 mL de medio de cultivo, su máximo crecimiento fue a las 23 horas.

Tabla 9

Tiempo de crecimiento de la bacteria.

FECHA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO (horas)	BOTELLA 1		BOTELLA 2		BOTELLA 3	
			Tiempo (horas)	Densidad Óptica	Tiempo (horas)	Densidad Óptica	Tiempo (horas)	Densidad Óptica
24.04.19	04:45 p.m.	0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
26.04.19	12:00 p.m.	43.00			43	0.175		
29.04.19	12:19 p.m.	115.00			115	0.704		
29.04.19	02:28 p.m.	117.28	117.28	0.354	117	0.754	117.28	0.028
29.04.19	03:45 p.m.	118.45	118.45	0.394	118	0.791	118.45	0.030
29.04.19	05:30 p.m.	119.90	119.90	0.425	120	0.817		
29.04.19	07:45 p.m.	122.05			122	0.823	122.05	0.040
30.04.19	10:55 a.m.	137.05			137	0.873	137.05	0.044
30.04.19	02:12 p.m.	139.05	139.05	0.845	139	0.875		
30.04.19	05:20 p.m.	143.25			143	0.942	143.25	0.050
02.05.19	11:38 a.m.	186.25	186.25	1.128	186	1.065	186.25	1.120
02.05.19	02:56 p.m.	189.25	189.25	1.140	189	1.081	189.25	1.165
02.05.19	05:53 p.m.	192.25	192.25	1.167	192	1.119	192.25	1.278
02.05.19	08:50 p.m.	195.25			195	1.140		
02.05.19	11:54 p.m.	197.25			197	1.167		
03.05.19	10:32 a.m.	208.25	208.25	1.246	208	1.214	208.25	1.253
03.05.19	11:45 a.m.	209.25	209.25	1.216	209	1.229	209.25	1.238
03.05.19	12:41 p.m.	210.25	210.25	1.229	210	1.246	210.25	1.259
03.05.19	01:45 p.m.	211.25			211	1.253		
03.05.19	02:30 p.m.	212.25			212	1.259		
03.05.19	03:30 p.m.	213.25			213	1.251		
03.05.19	04:30 p.m.	214.25			214	1.248		
03.05.19	05:30 p.m.	215.25			215	1.246		
03.05.19	06:30 p.m.	216.25			216	1.245		
03.05.19	08:30 p.m.	218.25			218	1.240		
03.05.19	10:30 p.m.	220.25			220	1.229		
04.05.19	12:30 a.m.	230.25			230	1.109		
04.05.19	02:30 a.m.	232.25			232	1.052		
04.05.19	04:30 a.m.	234.25			234	1.020		

Fuente: Elaboración propia.

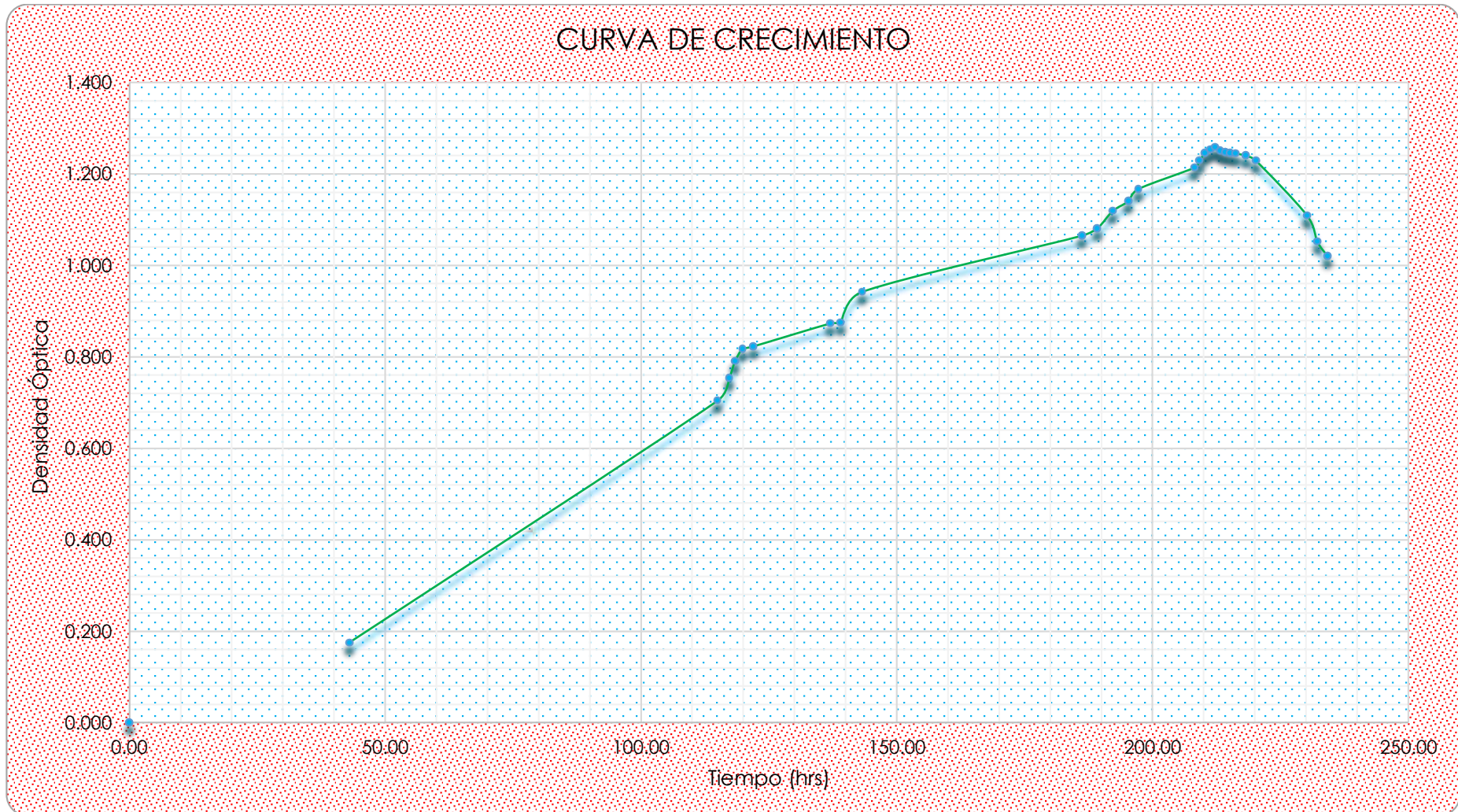


Figura 74. Curva de crecimiento bacteriana.

4.8.2. Análisis de la resistencia a la abrasión y/o desgaste de agregado grueso.

El análisis de la resistencia a la abrasión de la piedra chancada de la cantera de Vicho se realizó de acuerdo a la siguiente tabla de Norma Técnica Peruana (N.T.P. 400.019, 2002).

Tabla 10

Selección de gradación de la muestra de ensayo.

MÉTODO GRADACIÓN DIÁMETRO TAMICES			CANTIDAD DE MATERIAL A USAR (g)			
Ø (pulg.)	PORCENTAJE QUE PASA	PORCENTAJE RETENIDO	A	B	C	D
1 ½"	(38.1mm)	1" (25.0 mm)	1250 ± 25			
1"	(25.0 mm)	¾" (19.0 mm)	1250 ± 25			
¾"	(19.0 mm)	½" (12.5 mm)	1250 ± 10	2500 ± 10		
½"	(12.5 mm)	3/8" (9.5 mm)	1250 ± 10	2500 ± 10		
3/8"	(9.5 mm)	1/4" (6.3 mm)			2500 ± 10	
1/4"	(6.3 mm)	#4 (4.75 mm)			2500 ± 10	
# 4	(4.75 mm)	#8 (2.36 mm)				5000 ± 10
PESO TOTAL			5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10
Número de Esferas			12	11	8	6
Número de Revoluciones			500	500	500	500
Tiempo de Rotación (Minutos)			15	15	15	15

Fuente: Norma Técnica Peruana 400.019, 2002.

Porcentaje de desgastes (De)

$$\%De = \frac{(P1 - P2)}{P1} \times 100$$

Donde:

P1: *Peso original de la muestra antes de ensayo a la Máquina de los Ángeles*

P2: *Peso o suma de pesos de los tamices retenidos después de la Abrasión.*

a. Procesamiento y cálculos de datos

Tabla 11

Desgaste a la abrasión de agregado grueso de Vicho.

ENSAYO A LA ABRASIÓN O DESGASTE DEL AGREGADO GRUESO							
MUESTRA	GRADACIÓN "B"	Nº REVOLUCION (15 minutos)	Nº BILLAS	PESO DE MUESTRA ANTES DEL ENSAYO	PESO DE MUESTRA DESPUÉS DEL ENSAYO	DIFERENCIA DE PESOS (P1 - P2)	% TOTAL PERDIDA
Muestra 1	B	500	11	5,000 Kg	4,092.41 Kg	907.59 Kg	18.15%
Muestra 2	B	500	11	5,000 Kg	4,063.57 Kg	936.43 Kg	18.73%
Muestra 3	B	500	11	5,000 Kg	4,089.53 Kg	910.47 Kg	18.21%
Promedio Porcentaje de desgaste a la abrasión:							18.36%

FUENTE: Elaboración propia.

REFERENCIAS: N.T.P. 400.037, (2014); N.T.P. 400.019, (2002).

* Peso de muestra después del ensayo, es la suma de agregados retenidos de 1/2" y 3/8".

b. Diagrama de interpretación



Figura 75. Desgaste a la abrasión del agregado grueso.

c. Análisis de prueba

Para esta prueba se utilizó la *tabla 13* según N.T.P. 400.019, 2002., para la gradación "B" en la máquina de los Ángeles. Mediante este ensayo se determinó la resistencia a la abrasión del agregado grueso de la cantera de Vicho, con un promedio porcentaje de desgaste a la abrasión de 18.36 %.

Tabla 12

Verificación de resitencia mecánica de los agregados.

MÉTODOS ALTERNATIVOS	NO MAYOR QUE %
Abrasión método de los ángeles	50
Valor de impacto del agregado	30

Fuente: Norma Técnica Peruana (N.T.P. 400.037, 2014).

Según la tabla anterior, el porcentaje de desgaste a la abrasión está dentro del parámetro establecido para realizar el diseño de mezclas y los prismas de concreto.

4.8.3. Análisis de la granulometría de los agregados

4.8.3.1. Análisis de la granulometría y módulo de finura del agregado fino combinado

Para realizar el análisis granulométrico se procesó los datos obtenidos para ello se tomó en cuenta la N.T.P. 400.037, 2014, la cual, estipula la granulometría del agregado fino.

Tabla 13

Límites granulométricos del agregado fino.

Tamiz		LIMITE GRANULOMETRICO NTP 400.037, 2014.	
Pulg.	Ø mm		
3/8"	9.500	100.00%	100.00%
# 4	4.750	95.00%	100.00%
# 8	2.360	80.00%	100.00%
# 16	1.180	50.00%	85.00%
# 30	0.600	25.00%	60.00%
# 50	0.300	10.00%	30.00%
# 100	0.150	2.00%	10.00%

Fuente: Norma Técnica Peruana (N.T.P. 400.037, 2014).

Para realizar los respectivos cálculos se utilizó las siguientes expresiones.

$$\% \text{Retenido} = \frac{\text{Peso del Material Restenido}}{\text{Peso Total de la Muestra Evaluada}} \times 100$$

$$\% \text{Retenido Acumulado} = \% \text{Retenido} + \% \text{Retenido acumulado anterior}$$

$$\% \text{ que pasa} = 100 - \% \text{Retenido acumulado anterior}$$

*Es preciso indicar que, el **Módulo de fineza** recomendable estará entre 2.3 y 3.1" (N.T.P. 400.037, 2014).

$$\text{Módulo de Fineza} = \frac{\sum \% \text{Retenido. Acum. Tamices}(\#4 + \#8 + \#16 + \#30 + \#50 + \#100)}{100}$$

a. Procesamiento y cálculos de datos

Tabla 14

Granulometría de agregado fino combinado (Cunyac 30 % + Vicho 70 %) y módulo fineza

GRANULOMETRIA DE AGREGADO FINO COMBINADO (Cunyac 30 % + Vicho 70 %)								
Tamiz		Peso de Muestra Retenido		Porcentaje (%)		1,210 g		
		Peso Retenido (g)	Peso Corregido (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LIMITES GRANULOMETRICO NTP 400.037	
Pulg.	ø mm							
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
# 4	4.750	52.84	53.47	4.42%	4.42%	95.58%	95.00%	100.00%
# 8	2.360	104.53	105.16	8.69%	13.11%	86.89%	80.00%	100.00%
# 16	1.180	198.26	198.89	16.44%	29.55%	70.45%	50.00%	85.00%
# 30	0.600	396.41	397.04	32.81%	62.36%	37.64%	25.00%	60.00%
# 50	0.300	336.85	337.48	27.89%	90.25%	9.75%	5.00%	30.00%
# 100	0.150	85.37	86.00	7.11%	97.36%	2.64%	0.00%	10.00%
# 200	0.075	12.54	13.17	1.09%	98.44%	1.56%		
FONDO	0.000	18.20	18.83	1.56%	100.00%	0.00%		
TOTAL		1205.00	1210.00	100.00%				
MF =		2.97						

FUENTE: Elaboración propia.

MF = 2.35 - 3.15

REFERENCIAS: NTP 400.012, N.T.P. 400.037 (2014), NTP 400.07, ASTM D-422, ASTM C-33, MTCE 107 - 2000 y J.E. BOWLES.

b. Diagrama de interpretación

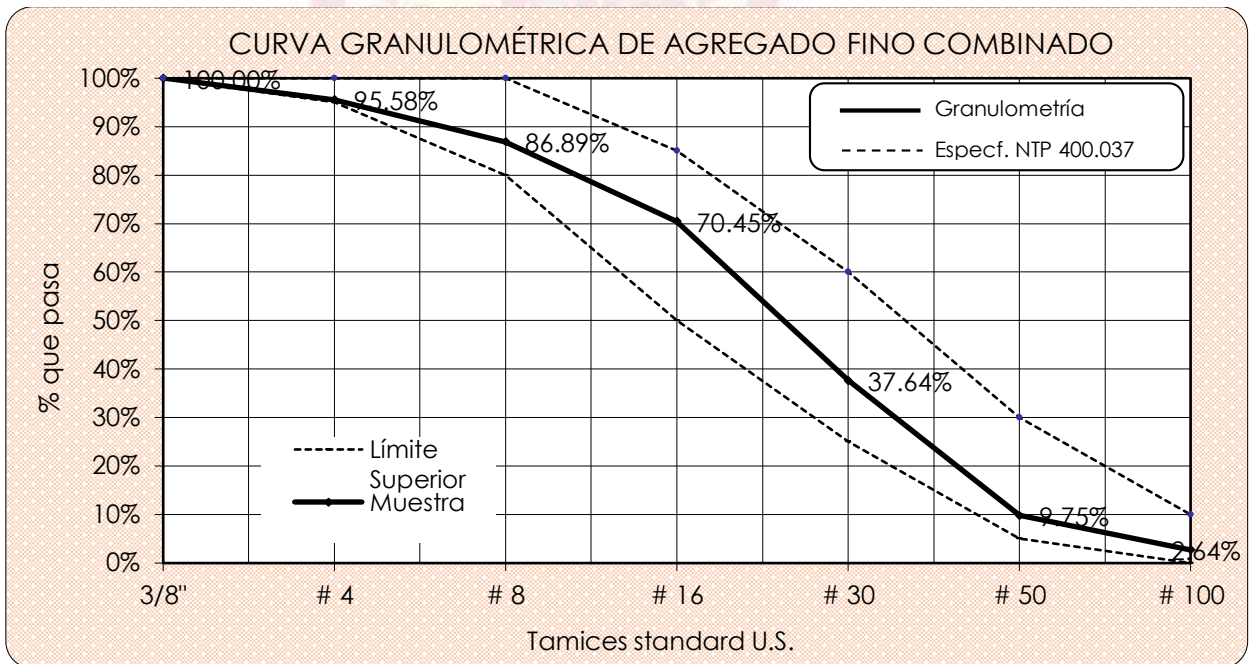
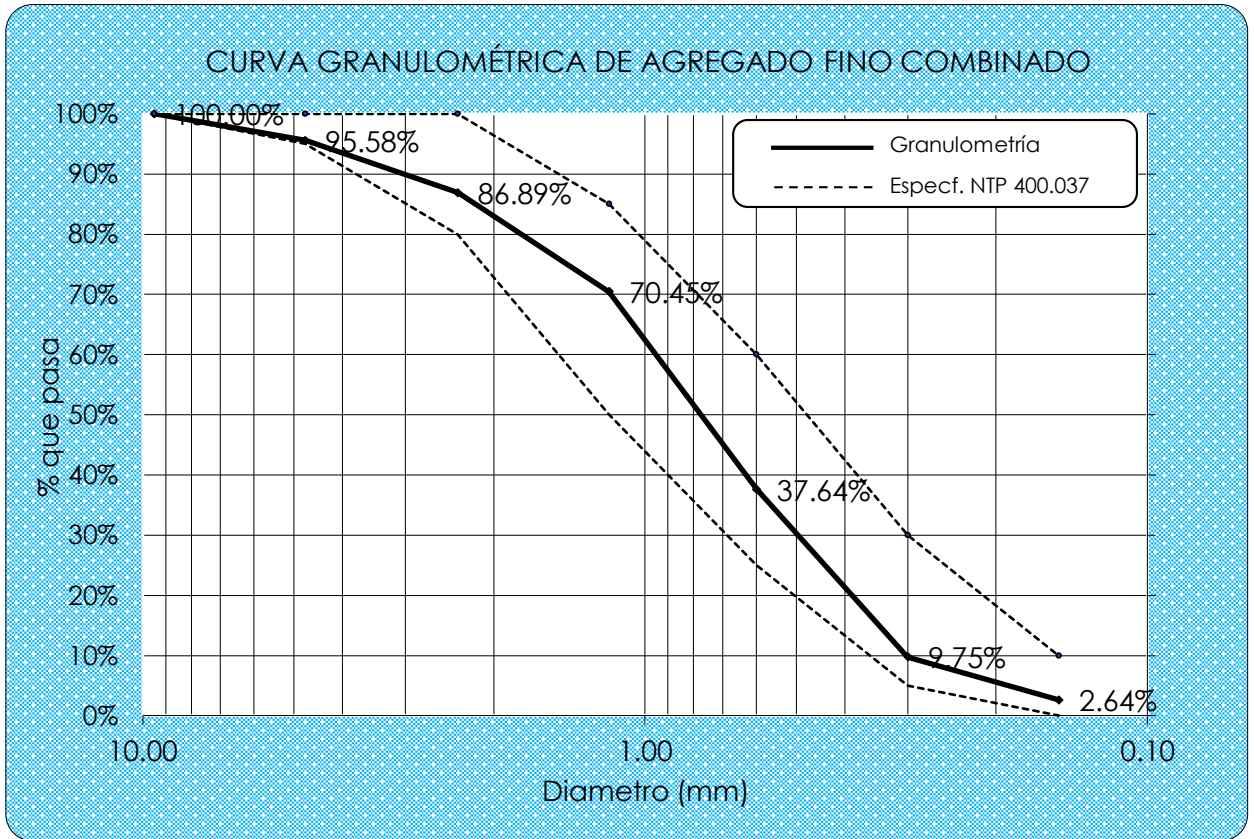


Figura 76. Granulometría de agregado fino combinado (Cunyac 30 % + Vicho 70 %) y módulo finesa.

c. Análisis de prueba

Cuando se realizó la gradación del material de Cunyac (como se indica en el ítem 4.7.6.1), no cumplía los requisitos que exige la norma, la curva granulométrica no se encontraba en el rango de los parámetros exigidos por la norma NTP 400.012; N.T.P. 400.037 (2014); NTP 400.07; ASTM D-422; ASTM C-33. Por tanto, se realizó la combinación de agregado fino de Cunyac (30%) y agregado fino de Vicho (confitillo 70 %), y al realizar los ensayos respectivos de la curva granulométrica cumplían con los estándares de la norma antes mencionada.

El módulo de fineza del agregado combinado es 2.97, según los cálculos realizados, se encuentra entre 2,35 y 3,15. Por ende, cumple, según estipula la N.T.P. 400.037, 2014; ASTM C 33.

4.8.3.2. Análisis de la granulometría del agregado grueso

Para el análisis de la gradación del material de Vicho. Se utilizó las siguientes expresiones, para la determinación de la curva granulométrica.

$$\% \text{Retenido} = \frac{\text{Peso del material retenido}}{\text{Peso total de la muestra evaluada}} \times 100$$

$$\% \text{Retenido Acumulado} = \% \text{Retenido} + \% \text{Retenido acumulado anterior}$$

$$\% \text{ que pasa} = 100 - \% \text{Retenido acumulado anterior}$$

a. Procesamiento y cálculos de datos

Tabla 15

Granulometría (gradación) del agregado grueso.

GRANULOMETRIA DE AGREGADO GRUESO									
Tamiz		Peso de Muestra Retenido (gramos)				Porcentaje (%)		3308.72 g	
		Peso Retenido 1 (g)	Peso Retenido 2 (g)	Peso Retenido 3 (g)	Peso Promedio (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LIMITES GRANULOMETRICO NTP 400.037 (Huso 6)
Pulg.	Ø mm								
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	
1"	25.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100.00% 100.00%
3/4"	19.000	246.91	304.34	189.48	246.91	7.46%	7.46%	92.54%	90.00% 100.00%
1/2"	12.500	1746.28	1842.33	1890.35	1826.32	55.20%	62.66%	37.34%	20.00% 55.00%
3/8"	9.500	942.15	874.69	1009.61	942.15	28.47%	91.13%	8.87%	0.00% 10.00%
# 4	4.750	274.28	201.73	129.21	201.74	6.10%	97.23%	2.77%	0.00% 5.00%
# 8	2.380								
FONDO	0.000	99.10	85.63	90.07	91.60	2.77%	2.77%	97.23%	
TOTAL		3308.72	3308.72	3308.72	3308.72	100.00%			

FUENTE: Elaboración propia.

REFERENCIAS: MTC E 107-2000 NTP 400.012, NTP 400.037, ASTM D-422, ASTM C-33, J. E. Bowles (Experimento N° 5)

b. Diagrama de interpretación

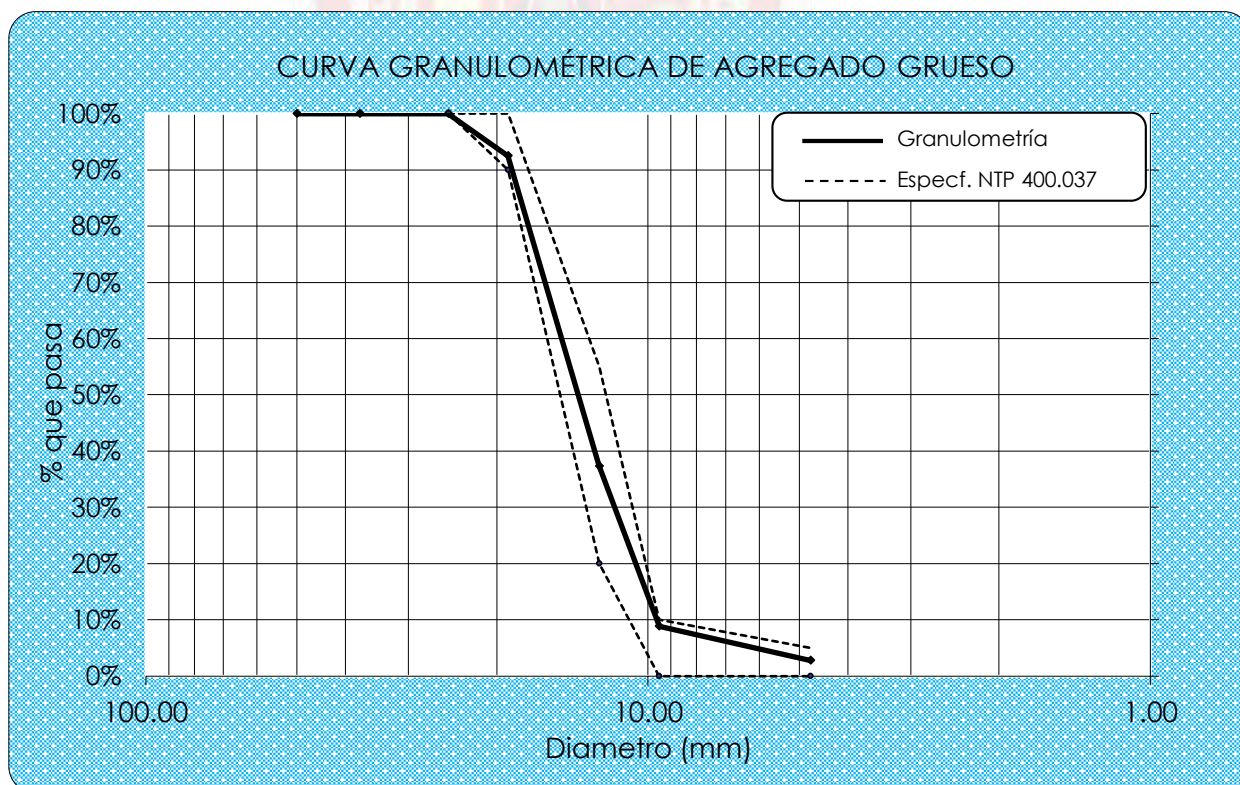


Figura 77. Granulometría del agregado grueso (cantera de Vicho).

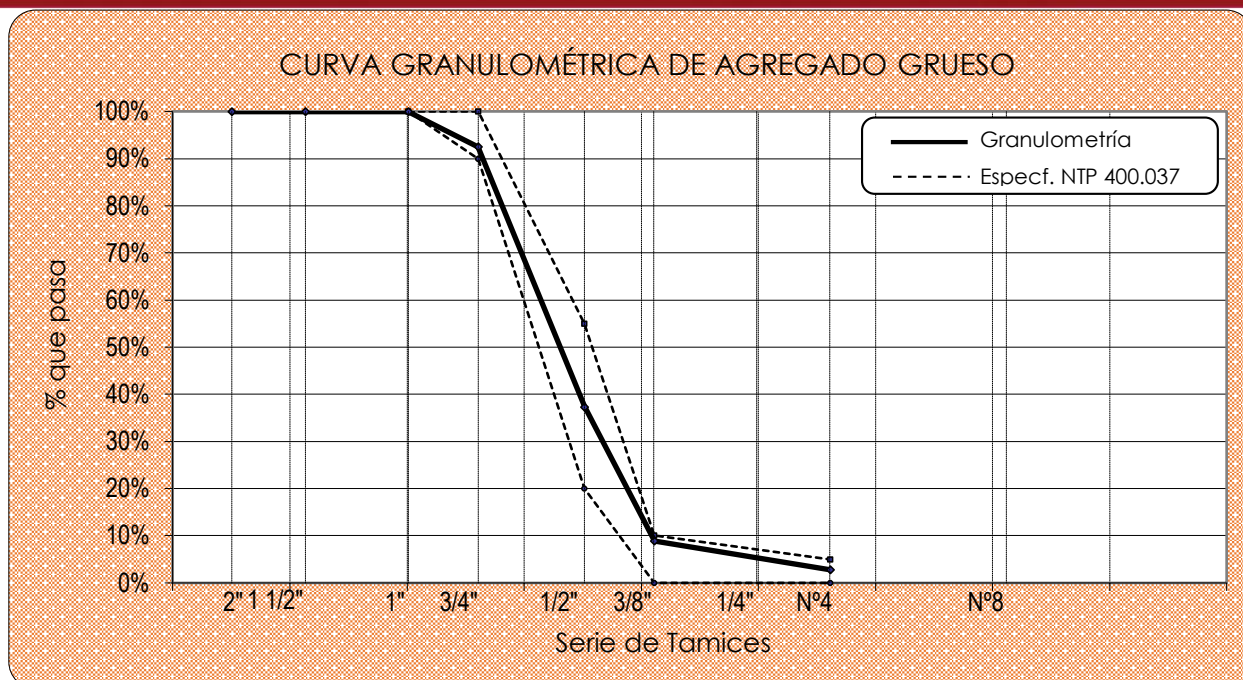


Figura 78. Curva granulométrica del agregado grueso.

c. Análisis de prueba

La gradación del material de Vicho, es acorde a lo estipulado en la norma (ASTM D-422, ASTM C-33, MTC E 107-2000 NTP 400.012, NTP 400.037), la misma que se encuentra dentro de los parámetros permitidos, es decir los porcentajes acumulados que pasaron los tamices retenidos de este material, se encuentran en los límites estipulados. Así mismo, cabe indicar que el agregado de Vicho presenta un Tamaño Máximo Nominal de 3/4", cumpliendo las normas antes mencionadas.

4.8.4. Análisis del contenido de humedad de los agregados

Para obtener el contenido (porcentaje) de humedad, se utilizó la siguiente expresión:

Dónde:

$%W$: Contenido de humedad

W_H : Peso húmedo de material

W_s : Peso seco del material

$$\%W = \left(\frac{W_H - W_S}{W_S} \right) * 100$$

4.8.4.1. Análisis del contenido de humedad del agregado fino

a. Procesamiento y cálculos de datos

Tabla 16

Contenido de humedad del agregado fino

CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADO FINO (Cunyac 30% y Vicho 70%)					
DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO
Peso de Tara (vasija metálica)	W_T	85.12 g	82.61 g	83.20 g	83.64 g
Peso de Tara + Material Húmedo	W_1	591.48 g	577.83 g	584.92 g	584.74 g
Peso de Tara + Material Secado en Horno	W_2	574.62 g	561.94 g	568.15 g	568.24 g
Peso Húmedo de Material	W_H	506.36 g	495.22 g	501.72 g	501.10 g
Peso Seco del Material	W_s	489.50 g	479.33 g	484.95 g	484.59 g
Peso del Agua	W_a	16.86 g	15.89 g	16.77 g	16.51 g
Contenido de humedad Parcial	%W	3.44%	3.32%	3.46%	3.41%
Promedio Contenido de Humedad		3.41%			

FUENTE: Elaboración propia.

REFERENCIAS: ASTM D-2216, MTC E 108-2000, N.T.P. 339.185, 2002, J. E. Bowles (Experimento N° 1).

b. Diagrama de interpretación

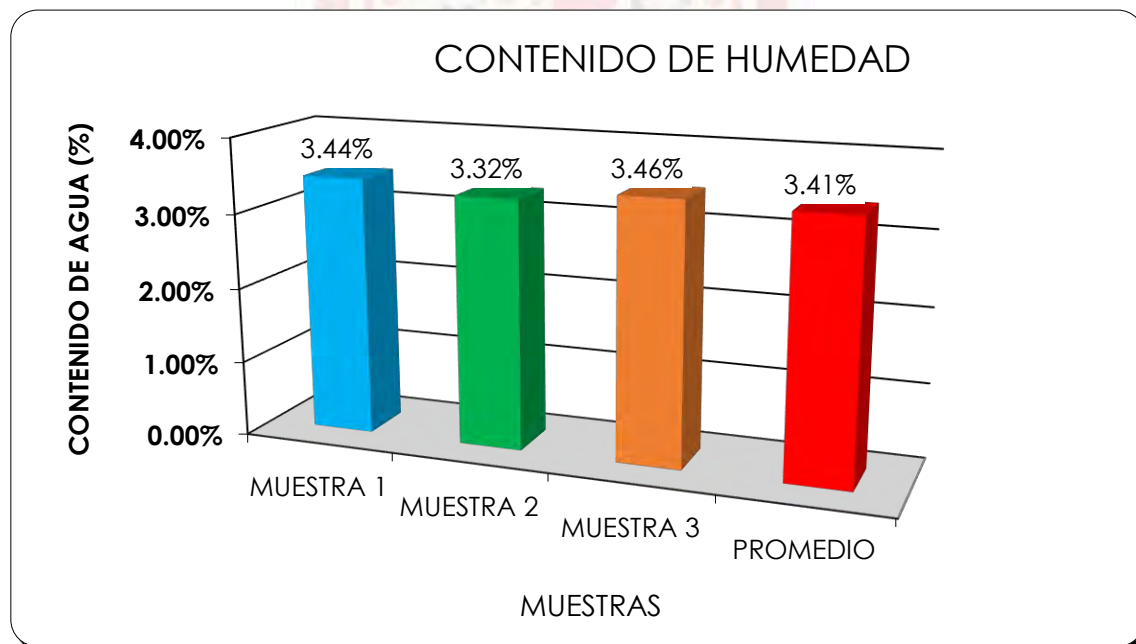


Figura 79. *Contenido de humedad del agregado fino.*

c. Análisis de prueba

El porcentaje de humedad del agregado fino combinado (Cunyac 30% y Vicho 70%) fue de 3.41 %. Así mismo, cabe indicar que este resultado es el promedio de tres muestras que se realizó el ensayo respectivo.

4.8.4.2. Análisis del contenido de humedad del agregado grueso

a. Procesamiento y cálculos de datos

Tabla 17

Contenido de humedad del material de Vicho

CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADO GRUESO (cantera de Vicho)					
DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO
Peso de Tara (vasija metálica)	W_T	85.40 g	86.12 g	87.53 g	86.35 g
Peso de Tara + Material Húmedo	W_1	2,095.00 g	2,112.40 g	2,109.34 g	2,105.58 g
Peso de Tara + Material Secado en Horno	W_2	2,049.58 g	2,061.28 g	2,068.22 g	2,059.69 g
Peso Húmedo de Material	W_H	2,009.60 g	2,026.28 g	2,021.81 g	2,019.23 g
Peso Seco del Material	W_S	1,964.18 g	1,975.16 g	1,980.69 g	1,973.34 g
Peso del Agua	W_a	45.42 g	51.12 g	41.12 g	45.89 g
Contenido de humedad Parcial	%W	2.31%	2.59%	2.08%	2.33%
Promedio Contenido de Humedad		2.33%			

FUENTE: Elaboración propia.

REFERENCIAS: ASTM D-2216, MTC E 108-2000, N.T.P. 339.185, 2002, J. E. Bowles (Experimento N° 1).

b. Diagrama de interpretación

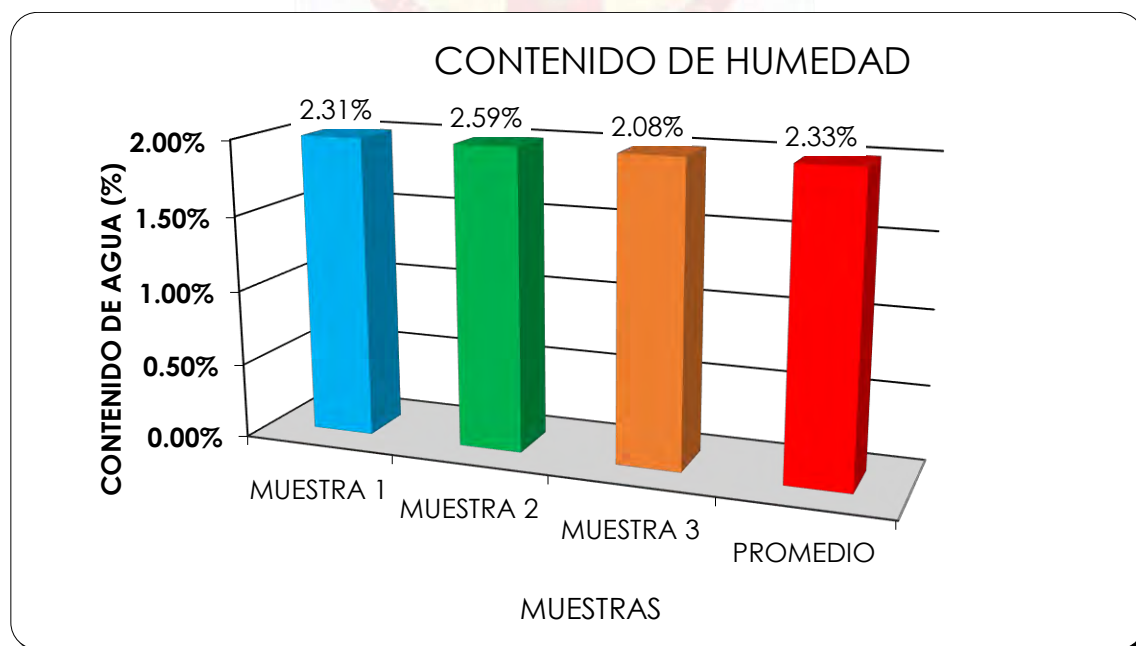


Figura 80. Contenido de humedad de agregado grueso.

c. Análisis de prueba

Se observa que la muestra (M_1) tuvo 2.31 % de humedad, la muestra (M_2) 2.59 % de humedad y la muestra (M_3) 2.08 % de humedad. Por tanto, el agregado está ligeramente mojado.

4.8.5. Análisis del peso específico y porcentaje de absorción de los agregados

4.8.5.1. Análisis del peso específico y porcentaje de absorción del agregado fino

Para realizar el análisis del peso específico y absorción del agregado fino, se tiene en cuenta la Norma Técnica Peruana (N.T.P. 400.022, 2013). Así mismo, se utilizan los datos obtenidos en el ensayo respectivo. Para ello se tiene las siguientes expresiones:

Peso Específico de Masa (g/cm^3)

$$P_{em} = \frac{A}{B + S - C}$$

Peso Específico de una Masa Saturada con Superficie Seca (g/cm^3)

$$P_{eSSS} = \frac{S}{B + S - C}$$

Peso Específico Aparente (g/cm^3)

$$P_{ea} = \frac{A}{B + A - C}$$

Absorción (%)

$$Ab = \frac{S - A}{A} * 100$$

Donde:

- A** :Peso en el aire de la muestra secada en el horno (g).
- B** :Peso del picnómetro lleno con agua (g).
- C** :Peso del picnómetro con la muestra y el agua hasta la marca de calibración (g).
- S** :Peso de la muestra saturada y superficialmente seca (g)

Pem :Peso específico de masa (g/cm^3)

PeSSS :Peso específico de una masa saturada con superficie seca (g/cm^3)

Pea :Peso específico aparente (g/cm^3)

Ab :Absorción (%)

a. Procesamiento y cálculos de datos

Tabla 18

Peso específico y absorción del agregado fino.

PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCION DE AGREGADO FINO		
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	VALOR
A	Peso en el aire de la muestra secada en el horno (g).	490.70 g
B	Peso del picnómetro lleno con agua (g).	716.50 g
C	Peso del picnómetro con la muestra y el agua hasta la marca de calibración (g).	1,024.68 g
S	Peso de la muestra saturada y superficialmente seca (g)	500.10 g
<i>Pem</i>	Peso específico de masa (g/cm^3)	2.56 g/cm^3
<i>PeSSS</i>	Peso específico de una masa saturada con superficie seca (g/cm^3)	2.61 g/cm^3
<i>Pea</i>	Peso específico aparente (g/cm^3)	2.69 g/cm^3
<i>Ab</i>	Absorción (%)	1.92%

FUENTE: Elaboración propia.

REFERENCIAS: ASTM C-128, N.T.P. 400.022, 2013, MTC E 205 – 2000

$$P_{em} = \frac{A}{B + S - C}$$

$$P_{em} = \frac{490.70}{716.50 + 500.10 - 1024.68} = 2.56 \text{ g/cm}^3$$

$$P_{eSSS} = \frac{S}{B + S - C}$$

$$P_{eSSS} = \frac{500.10}{716.50 + 500.10 - 1024.68} = 2.61 \text{ g/cm}^3$$

$$P_{ea} = \frac{A}{B + A - C}$$

$$P_{ea} = \frac{490.70}{716.50 + 490.70 - 1024.68} = 2.69 \text{ g/cm}^3$$

$$Ab = \frac{S - A}{A} * 100$$

$$Ab = \frac{500.10 - 490.70}{490.70} * 100 = 1.92\%$$

Análisis de prueba

Según los cálculos realizados, se tiene: $Pem=2.56 \text{ g/cm}^3$; $PeSSS=2.61 \text{ g/cm}^3$; $Pea=2.69 \text{ g/cm}^3$; y el porcentaje de absorción $Ab=1.92 \%$.

4.8.5.2. Análisis del peso específico y porcentaje de absorción del agregado grueso

Para realizar el análisis del peso específico y absorción del agregado grueso, se tiene en cuenta la Norma Técnica Peruana (N.T.P. 400.021, 2013). Así mismo, se utilizan los datos obtenidos en el ensayo respectivo. Para ello se tiene las siguientes expresiones:

Peso Específico de Masa (g/cm^3)

$$Pem = \frac{A}{B - C}$$

Peso Específico de una Masa Saturada con Superficie Seca (g/cm^3)

$$PeSSS = \frac{B}{B - C}$$

Peso Específico Aparente (g/cm^3)

$$Pea = \frac{A}{A - C}$$

Absorción (%)

$$Ab = \frac{B - A}{A} * 100$$

Donde:

- A* :Peso de la muestra seca en el aire (g).
- B* :Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire, (g).
- C* :Peso de la Muestra Saturada dentro del Agua (g).
- Pem* :Peso específico de masa (g/cm^3)
- PeSSS* :Peso específico de una masa saturada con superficie seca (g/cm^3)
- Pea* :Peso específico aparente (g/cm^3)
- Ab* :Absorción (%)

a. Procesamiento y cálculos de datos

Tabla 19

Peso específico y porcentaje de absorción de agregado grueso.

PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO		
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	VALOR
A	Peso de la muestra seca en el aire (g).	3,947.60 g
B	Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire, (g).	4,003.72 g
C	Peso de la Muestra Saturada dentro del Agua (g).	2,430.83 g
Pem	Peso específico de masa (g/cm ³)	2.51 g/cm ³
PeSSS	Peso específico de una masa saturada con superficie seca (g/cm ³)	2.55 g/cm ³
Pea	Peso específico aparente (g/cm ³)	2.60 g/cm ³
Ab	Absorción (%)	1.42%

FUENTE: Elaboración propia.

REFERENCIAS: ASTM C-128, NTP 400.022, N.T.P. 400.021 (2013), Norma MTC E 205 - 2000.

$$P_{em} = \frac{A}{B - C}$$

$$P_{em} = \frac{3947.60}{4003.72 - 2430.83} = 2.51 \text{ g/cm}^3$$

$$P_{eSSS} = \frac{B}{B - C}$$

$$P_{eSSS} = \frac{4003.72}{4003.72 - 2430.83} = 2.55 \text{ g/cm}^3$$

$$P_{ea} = \frac{A}{A - C}$$

$$P_{ea} = \frac{3947.60}{3947.60 - 2430.83} = 2.60 \text{ g/cm}^3$$

$$Ab = \frac{B - A}{A} * 100$$

$$Ab = \frac{4003.72 - 3947.60}{3947.60} = 1.42\%$$

Análisis de prueba

Se tiene: Pem=2.51 g/cm³; PeSSS=2.55 g/cm³; Pea=2.60 g/cm³; y el porcentaje de absorción Ab=1.42 %.

4.8.6. Análisis del peso unitario de los agregados

Para el análisis del peso unitario suelto y peso unitario compactado de los agregados se tiene en cuenta la Norma Técnica Peruana (N.T.P. 400.017, 1999) y la siguiente expresión para los cálculos correspondientes.

Peso del Agregado

$$Pa = Pt - Pm$$

Porcentaje de Vacíos

$$\%V = \left(\frac{(S * W) - PUs}{(S * W)} \right) * 100$$

Peso Unitario Suelto

$$PUs = \frac{Pa}{Vm}$$

Peso Unitario Compacto

$$PUC = \frac{Pa}{Vm}$$

Donde:

- P_m :Peso del molde (cilindro proctor)
- V_m :Volumen del molde ($\phi = 15.30 \text{ cm}$; $h = 30.50 \text{ cm}$)
- P_t :Peso total (peso de molde+peso de agregado)
- P_a :Peso de agregado ($P_t - P_m$)
- S :Peso específico de masa
- W :Densidad del agua (0.998 g/cm^3)
- $\% V$:Porcentaje de vacíos
- PUs :Peso Unitario Suelto
- PUC :Peso Unitario Compactado

Análisis de prueba

El análisis realizado a partir de los datos obtenidos del ensayo respectivo y el procesamiento de cálculo con las formulas anteriores se tiene lo siguiente: el peso unitario suelto para agregado fino es 1.65 g/cm^3 y el peso unitario compactado del agregado fino es 1.78 g/cm^3 . Así mismo, el peso unitario suelto para agregado grueso es 1.57 g/cm^3 y el peso unitario compactado del agregado grueso es 1.66 g/cm^3 . (ver siguientes cuadros).

4.8.6.1. Análisis del peso unitario del agregado fino

Cabe indicar que, para el análisis de esta prueba se utilizó la combinación de agregado fino (Cunyac 30% y Vicho "confitillo" 70 %).

4.8.6.1.1. Análisis del peso unitario suelto de agregado fino

a. Procesamiento y cálculos de datos

Tabla 20

Peso unitario suelto de agregado fino

PESO UNITARIO SUELTO DE AGREGADO FINO (SECO)				
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	ENSAYOS		
		MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
P _m	Peso del molde (cilindro proctor)	7,510.00 g	7,510.00 g	7,510.00 g
V _m	Volumen del molde (Ø = 15.10 cm; h = 16.50 cm)	2,950.13 cm ³	2,954.80 cm ³	2,952.41 cm ³
P _t	Peso total (peso de molde+peso de agregado)	12,490.00 g	12,310.00 g	12,340.00 g
P _a	Peso de agregado (P _t - P _m)	4,980.00 g	4,800.00 g	4,830.00 g
S	Peso específico de masa	2.56 g/cm ³	2.56 g/cm ³	2.56 g/cm ³
W	Densidad del agua (0.998 g/cm ³)	1.00 g/cm ³	1.00 g/cm ³	1.00 g/cm ³
% V	Porcentaje de vacíos	33.85%	36.34%	35.89%
PU_s	Peso Unitario Suelto	1.69	1.62	1.64
PESO UNITARIO SUELTO PROMEDIO		1.65 gr/cm³		

FUENTE: Elaboración propia.

REFERENCIAS: N.T.P. 400.017 (1999), ASTM D-2216, MTC E 108-2000, J. E. Bowles (Experimento N° 1).

b. Diagrama de interpretación

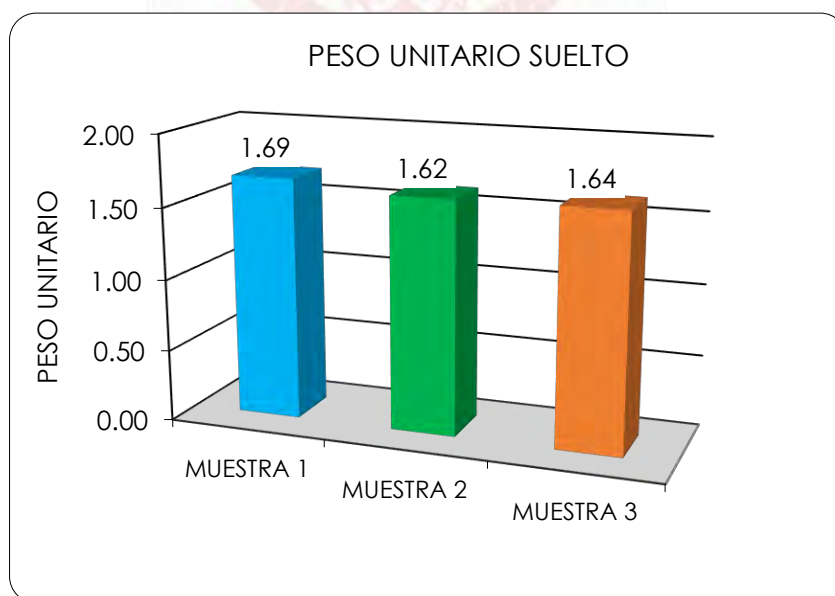


Figura 81. *Peso unitario suelto de agregado fino.*

4.8.6.1.2. Análisis del peso unitario compactado de agregado fino

a. Procesamiento y cálculos de datos

Tabla 21

Peso unitario compactado de agregado fino.

PESO UNITARIO COMPACTADO DE AGREGADO FINO (SECO)				
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	ENSAYOS		
		MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
P_m	Peso del molde (cilindro proctor)	7,510.00 g	7,510.00 g	7,510.00 g
V_m	Volumen del molde ($\phi = 15.10$ cm; $h = 16.50$ cm)	2,950.13 cm ³	2,954.80 cm ³	2,952.41 cm ³
P_t	Peso total (peso de molde+peso de agregado)	12,750.16 g	12,760.23 g	12,791.42 g
P_a	Peso de agregado ($P_t - P_m$)	5,240.16 g	5,250.23 g	5,281.42 g
S	Peso específico de masa	2.56 g/cm ³	2.56 g/cm ³	2.56 g/cm ³
W	Densidad del agua (0.998 g/cm ³)	1.00 g/cm ³	1.00 g/cm ³	1.00 g/cm ³
% V	Porcentaje de vacíos	30.39%	30.37%	29.90%
PU_c	Peso Unitario Compacto	1.78	1.78	1.79
PESO UNITARIO COMPACTO PROMEDIO		1.78 gr/cm³		

FUENTE: Elaboración propia.

REFERENCIAS: N.T.P. 400.017 (1999), ASTM D-2216, MTC E 108-2000, J. E. Bowles (Experimento N° 1).

b. Diagrama de interpretación



Figura 82. Peso unitario compactado de agregado fino.

4.8.6.2. Análisis del peso unitario del agregado grueso

4.8.6.2.1. Análisis del peso unitario suelto de agregado grueso

a. Procesamiento y cálculos de datos

Tabla 22

Peso unitario suelto de agregado grueso

PESO UNITARIO SUELTO DE AGREGADO GRUESO (SECO)				
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	ENSAYOS		
		MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
P_m	Peso del molde (cilindro proctor)	6,775.12 g	6,775.12 g	6,775.12 g
V_m	Volumen del molde ($\phi = 15.30$ cm; $h = 30.50$ cm)	5,609.17 cm ³	5,607.54 cm ³	5,605.21 cm ³
P_t	Peso total (peso de molde+peso de agregado)	15,690.43 g	15,320.61 g	15,650.72 g
P_a	Peso de agregado ($P_t - P_m$)	8,915.31 g	8,545.49 g	8,875.60 g
S	Peso específico de masa	2.56 g/cm ³	2.56 g/cm ³	2.56 g/cm ³
W	Densidad del agua (0.998 g/cm ³)	1.00 g/cm ³	1.00 g/cm ³	1.00 g/cm ³
% V	Porcentaje de vacíos	37.71%	40.28%	37.94%
PU_s	Peso Unitario Suelto	1.59	1.52	1.58
PESO UNITARIO SUELTO PROMEDIO		1.57 gr/cm³		

FUENTE: Elaboración propia.

REFERENCIAS: N.T.P. 400.017 (1999), ASTM D-2216, MTC E 108-2000, J. E. Bowles (Experimento N° 1).

b. Diagrama de interpretación

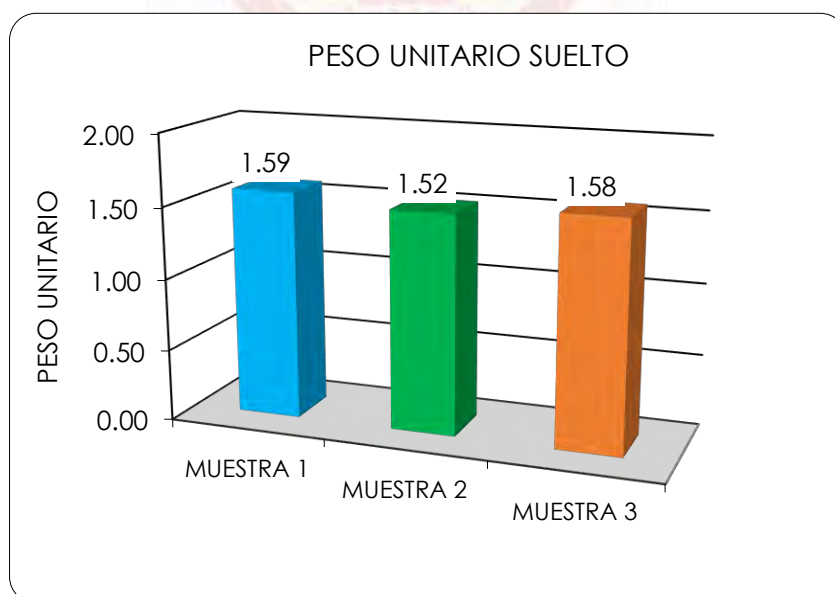


Figura 83. Peso unitario suelto de agregado grueso.

4.8.6.2.2. Análisis del peso unitario compactado de agregado grueso

a. Procesamiento y cálculos de datos

Tabla 23

Peso unitario compactado de agregado grueso.

PESO UNITARIO COMPACTADO DE AGREGADO GRUESO (SECO)				
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	ENSAYOS		
		MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
P_m	Peso del molde (cilindro proctor)	6,775.12 g	6,775.12 g	6,775.12 g
V_m	Volumen del molde ($\phi = 15.30$ cm; $h = 30.50$ cm)	5,609.17 cm ³	5,607.54 cm ³	5,605.21 cm ³
P_t	Peso total (peso de molde+peso de agregado)	16,120.53 g	16,185.48 g	15,940.23 g
P_a	Peso de agregado ($P_t - P_m$)	9,345.41 g	9,410.36 g	9,165.11 g
S	Peso específico de masa	2.56 g/cm ³	2.56 g/cm ³	2.56 g/cm ³
W	Densidad del agua (0.998 g/cm ³)	1.00 g/cm ³	1.00 g/cm ³	1.00 g/cm ³
% V	Porcentaje de vacíos	34.71%	34.23%	35.92%
PU_c	Peso Unitario Compacto	1.67	1.68	1.64
PESO UNITARIO COMPACTO PROMEDIO		1.66 gr/cm³		

FUENTE: Elaboración propia.

REFERENCIAS: N.T.P. 400.017 (1999), ASTM D-2216, MTC E 108-2000, J. E. Bowles (Experimento N° 1).

b. Diagrama de interpretación



Figura 84. Peso unitario compactado de agregado grueso.

4.8.7. Análisis del diseño de mezclas del concreto (Método del ACI – 211)

El diseño de mezclas es la proporción de los componentes del concreto, según las diferentes características de los agregados, se tendrá la dosificación para una resistencia de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Cabe indicar que, esta resistencia elegí porque en mi ciudad de Cusco y por supuesto en mi región Cusco se utiliza esta resistencia para las obras de infraestructura, en el mayor de los casos. Por ello, diseñe para una resistencia de concreto de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, la misma que servirá para futuras investigaciones en la región Cusco y las otras regiones del Perú.

Para la elaboración del diseño tuve en cuenta las siguientes propiedades:

1. Propiedades del concreto a diseñar

Tabla 24

Propiedades del concreto a diseñar

PROPIEDADES DEL CONCRETO A DISEÑAR	
F'c =	210 kg/cm ²
Slump	4 pulgadas
Aire incorporado	No
Uso de aditivo	Sin Aditivo
Consistencia	Plástica

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los ensayos de los agregados se obtuvo datos y ello servirá para el diseño de mezclas del concreto según el método ACI 211.

2. Características físicas y mecánicas de los componentes del concreto

Tabla 25

Características del cemento

CEMENTO	
Marca:	Yura
Tipo:	IP
Peso específico (ficha técnica):	2.85 g/cm ³

Fuente: Elaboración propia.

Así mismo, cabe indicar que se utilizó agua potable de la red pública de la ciudad de Cusco (SEDACUSCO). Cumple con la Norma NTP 339.088 y/o E 0-60.

Tabla 26

Características físicas de agregados fino y grueso para el diseño de mezclas

CARACTERÍSTICAS	AGREGADOS		UNIDAD
	FINO	GRUESO	
Perfil Angular	----	Si	----
Tamaño Máximo Nominal	----	3/4	Pulgadas
Peso Compacto Seco	1780.00	1660.00	Kg/m ³
Peso Suelto Seco	1650.00	1570.00	Kg/m ³
Peso Específico de la masa	2.56	2.51	Kg/m ³
Absorción	1.92	1.42	%
Contenido de Humedad	3.41	2.33	%
Módulo de Fineza	2.97	----	----

Fuente: Elaboración propia.

3. Determinación de la resistencia promedio (F'_{cr})

La norma ACI 318 – 99, presenta tres posibles casos para la determinación de la resistencia requerida (F'_{cr}).

Cuando no se cuenta con un registro de resultados de ensayos que posibilite el cálculo de la desviación estándar o ningún dato estadístico, se hará uso de la siguiente tabla.

Según las recomendaciones del ACI, sugiere utilizar la tabla siguiente, para el cálculo del F'_{cr} .

Tabla 27

Valores para determinar la resistencia promedio

F'c (ESPECIFICADO)	F'cr [RESISTENCIA PROMEDIO] (Kg/cm²)
$F'c < 210 \text{ Kg/cm}^2$	$F'c+70$
$210 \text{ Kg/cm}^2 \text{ a } 350 \text{ Kg/cm}^2$	$F'c+85$
$F'c > 350 \text{ Kg/cm}^2$	$1.1F'c+50$

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, la resistencia promedio será:

$$F'_{cr} = F'c + 85$$

$$F'_{cr} = 210 + 85$$

$$F'_{cr} = 295 \text{ Kg/cm}^2$$

4. Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso (TMN)

El tamaño máximo nominal del agregado grueso, proveniente de la Cantera Vicho, Región Cusco es la siguiente:

$$\text{TMN} = 3/4''$$

5. Selección de la consistencia y asentamiento

Tabla 28

Asentamiento mínimo y máximo para el tipo de estructura

TIPO DE ESTRUCTURA	SLUMP MÁXIMO	SLUMP MÍNIMO
Zapatas y muros de cimentación armados	3"	1"
Cimentaciones simples, calzaduras	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas de edificios	4"	1"
Losas y pavimentos	3"	1"
Concreto ciclópeo	2"	1"

Fuente: Manual de la Construcción I.C.G, 2016; Rivva López, Diseño de Mezclas, 2014.

Tabla 29

Consistencia y asentamiento

Consistencia	Asentamiento (Slump)
Seca	0" (0 mm) a 2" (50 mm)
Plástica	3" (75 mm) a 4" (100 mm)
Fluida	≥ 5" (125 mm)

Fuente: Rivva López, Diseño de Mezclas, 2014.

En la presente investigación se eligió el asentamiento que va entre los rangos 3" a 4".

Consistencia = Plástica

Slump = 4"

6. Cálculo y selección del volumen unitario de agua de diseño

Para el cálculo del volumen unitario de agua, se deben tener presente: el tamaño máximo nominal, la presencia de aire (incorporado o no), y el slump. Las mismas que son estipuladas por el comité ACI 211.

Tabla 30

Volumen de agua por metro cúbico

AGUA EN L/m ³ , PARA TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL (TMN) DE AGREGADOS Y CONSISTENCIA INDICADAS								
SLUMP	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	--
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	187	184	174	166	154	--

Fuente: Comité 211 del ACI.

En la presente investigación se tiene el tamaño máximo nominal (TMN) de 3/4", *consistencia plástica* con asentamiento de 3" (75 mm) a 4" (100 mm), teniendo en cuenta que el concreto será *sin la incorporación de aire*.

Por tanto, el volumen *unitario de agua de diseño* es 205 L/m³.

Volumen unitario de agua de mezcla = 205 Litros/m³

7. Selección del contenido de aire atrapado e incorporado

Tabla 31

Contenido de aire atrapado

TMN DEL AGREGADO GRUESO		AIRE ATRAPADO (%)			
		VALOR	MODERADA	SEVERA	SUAVE
Pulgadas	Milímetros	1	2	3	4
3/8"	9.5 mm	3.0%	6.00%	7.50%	4.50%
1/2 "	12.5 mm	2.5%	5.50%	7.00%	4.00%
3/4 "	19.0 mm	2.0%	5.00%	6.00%	3.50%
1"	25.0 mm	1.5%	4.50%	6.00%	3.00%
1 1/2"	37.5 mm	1.0%	4.50%	5.50%	2.50%
2"	50.0 mm	0.5%	4.00%	5.00%	2.00%
3"	75.0 mm	0.3%	3.50%	4.50%	1.50%
6"	150.0 mm	0.2%	3.00%	4.00%	1.00%

Fuente: Comité 211.1 del ACI; Rivva López, Diseño de Mezclas (2014); Manual de la construcción (ICG, 2016)

Tabla 32

Contenido de aire total

CONTENIDO DE AIRE TOTAL	
Contenido de aire atrapado	2.0 %
Contenido de aire incorporado	0.0 %
Contenido de aire total	2.0 %

Fuente: Elaboración propia.

$$\text{Aire Atrapado} = 2.0\% = 0.020 \text{ m}^3$$

6. Cálculo de la relación Agua - Cemento

Tabla 33

Determinación de la relación agua-cemento por resistencia y por durabilidad

F'c (Kg/cm ²)	RELACIÓN AGUA/CEMENTO EN PESO	
	CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO	CONCRETO CON AIRE INCORPORADO
150	0.8	0.71
200	0.7	0.61
250	0.62	0.53
295	X	Y
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	----
450	0.38	----

Fuente: Comité 211.1 del ACI; Rivva López, Diseño de Mezclas (2014); Manual de la construcción (ICG, 2016)

F'c (Kg/cm ²)	A/C
250	0.62
295	X
300	0.55
X = a/c	0.557

$$\frac{250 - 300}{295 - 300} = \frac{0.62 - 0.55}{X - 0.55}$$

Relación Agua - Cemento: A/C = X = 0.557

Tabla 34

Relación de agua cemento

RELACIÓN AGUA/CEMENTO	
Relación agua cemento por resistencia	0.557
Relación agua cemento por durabilidad	0.000
Relación agua cemento adoptada (por resistencia+durabilidad)	0.557

Fuente: Elaboración propia.

7. Determinación del Factor Cemento (contenido de cemento)

Para el cálculo del factor cemento se utiliza la siguiente relación:

$$\text{Factor Cemento} = \frac{\text{Paso 4}}{\text{Paso 6}} = \frac{\text{Volumen unitario de agua de mezcla (diseño)}}{\text{Relación agua cemento (adoptada)}}$$

$$\text{Factor Cemento} = \frac{205 \text{ Litros (En agua: Lt = Kg)}}{0.557}$$

$$\text{Factor Cemento} = 368 \text{ Kg/m}^3$$

Cálculo de número de bolsas de cemento por metro cúbico

Es preciso indicar que, una bolsa de cemento (Yura IP) pesa 42.5 Kg.

$$\text{Número de bolsas (42.5 Kg)} = \frac{\text{Factor Cemento}}{\text{Peso de una bolsa de cemento (en Perú)}}$$

$$\text{Número de bolsas (42.5 Kg)} = \frac{368 \text{ Kg/m}^3}{42.5 \text{ Kg}}$$

$$\text{Número de bolsas por metro cúbico} = 8.67 \text{ bolsas}$$

8. Calculo del volumen absoluto de la pasta

$$V^{\circ} \text{ cemento por metro cúbico} = \frac{\text{Factor Cemento}}{\text{Peso Específico Cemento (Kg/m}^3\text{)}}$$

$$\text{Volumen Cemento por metro cúbico} = \frac{368 \text{ Kg}}{2850 \text{ Kg/m}^3}$$

$$\text{Volumen Cemento por metro cúbico} = 0.129 \text{ m}^3$$

$$V^{\circ} \text{ Agua por metro cúbico} = \frac{\text{Volumen Unitario de agua de mezcla}}{\text{Peso Específico Agua (Kg/m}^3\text{)}}$$

$$V^{\circ} \text{ Agua por metro cúbico} = \frac{205 \text{ Lt (solo en agua: Litros = Kilogramos)}}{1000 \text{ Kg/m}^3}$$

$$\text{Volumen Agua por metro cúbico} = 0.205 \text{ m}^3$$

Así mismo, el valor de aire atrapado es 2.0 %. Por tanto:

$$\text{Volumen Aire por metro cúbico} = 2.0\% = 0.020 \text{ m}^3$$

Tabla 35

Volumen de la pasta por metro cúbico

VOLUMEN DE LA PASTA	
Cemento por metro cúbico	0.129 m ³
Agua por metro cúbico	0.205 m ³
Aire por metro cúbico	0.020 m ³
Volumen de la pasta	0.354 m³

Fuente: Elaboración propia.

9. Determinación del volumen del agregado grueso

Primer Método:

$$\text{Volumen de los Agregados} = 1 - \text{Volumen de la Pasta}$$

$$\text{Volumen de los Agregados} = 1 \text{ m}^3 - 0.354 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de los Agregados (A.F + A.G)} = 0.646 \text{ m}^3$$

Segundo Método:

Determinación de la cantidad de agregado grueso (b/b₀)

Tabla 36

Volumen del agregado grueso seco y compactado por unidad de volumen de concreto

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO TMN		VOLUMEN DEL AGREGADO GRUESO SECO Y COMPACTADO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO (m ³)				
		Módulos de Fineza del Agregado Fino				
		2.4	2.6	2.8	MF=2.97	3.0
3/8"	9.5 mm	0.5	0.48	0.46		0.44
1/2"	12.5 mm	0.59	0.57	0.55		0.53
3/4"	19.0 mm	0.66	0.64	0.62	X	0.60
1"	25.0 mm	0.71	0.69	0.67		0.65
1 1/2"	37.5 mm	0.75	0.73	0.71		0.69
2"	50.0 mm	0.78	0.76	0.74		0.72
3"	75.0 mm	0.82	0.8	0.78		0.76
6"	150.0 mm	0.87	0.85	0.83		0.81

Fuente: Comité 211.1 del ACI; Rivva López, Diseño de Mezclas (2014); Manual de la construcción (ICG, 2016)

El módulo de fineza de la investigación es 2.97 y el tamaño máximo nominal de agregado grueso es ¾". Por tanto, mediante la interpolación de la siguiente tabla, se tiene el *peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto*.

F'c (Kg/cm ²)	A/C
3.0	0.60
2.97	X
2.8	0.62
X =	0.603

$$\frac{3 - 2.80}{2.97 - 2.80} = \frac{0.60 - 0.62}{X - 0.62}$$

$$X = \frac{(0.60 - 0.62) * (2.97 - 2.80)}{(3 - 2.80)} + 0.62$$

$$\text{Agregado grueso} = b/b_o = X = 0.603 \text{ m}^3$$

Por tanto, el peso del **agregado grueso** es:

$$\text{Peso seco de A. G (kg)} = b/b_o(\text{m}^3) * \text{Peso Unitario Compactado (Kg/m}^3)$$

$$\text{Peso del Agregado Grueso} = 0.603 \text{ m}^3 * 1660 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Peso del Agregado Grueso} = 1000.98 \text{ Kg}$$

Cálculo del volumen de agregado grueso

$$\text{Volumen de Agregado Grueso} = \frac{\text{Peso}}{\text{Peso Específico}}$$

$$\text{Volumen de Agregado Grueso} = \frac{1000.98 \text{ Kg}}{2510 \text{ Kg/m}^3}$$

$$\text{Volumen de Agregado Grueso} = 0.399 \text{ m}^3$$

10. Determinación del contenido de agregado fino.

Se puede determinar por dos métodos.

Método del Volumen Absoluto (1)

Tabla 37

Volúmenes absolutos

VOLUMENES ABSOLUTOS	
Cemento	.129 m ³
Agua	.205 m ³
Aire	.020 m ³
Agregado grueso	.399 m ³
SUMA DE VOLUMENES	.753 m³

Fuente: Elaboración propia.

Se tiene que, el volumen absoluto es: 753 m³., entonces:

$$\text{Volumen de Agregado Fino} = 1 \text{ m}^3 - \text{Volumen absoluto}$$

$$\text{Volumen de Agregado Fino} = 1 \text{ m}^3 - 0.753 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de Agregado Fino} = 0.247 \text{ m}^3$$

Cálculo del peso de agregado fino:

$$\text{Peso del Agregado Fino} = \text{Peso Específico} * \text{Volumen}$$

$$\text{Peso del Agregado Fino} = 2560 \text{ Kg/m}^3 * 0.247 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso del Agregado Fino} = 632 \text{ Kg}$$

11. Valores de diseño para 01 metro cúbico (agregados secos)

MATERIALES	CANTIDAD
Cemento	368 kg/m ³
Agua de Diseño	205 lt/m ³
Agregado Fino	632 kg/m ³
Agregado Grueso	1001 kg/m ³

Fuente: Elaboración propia.

12. Corrección por humedad del agregado

Para la corrección del contenido de humedad de los agregados, se utiliza la relación:

$$\text{Peso Corregido} = (1 + \% \text{ contenido de humedad}) * \text{Peso Seco}$$

PARA AGREGADO FINO

$$\text{Peso Corregido A.F} = (1 + 3.41\%) * 632 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso Corregido A.F} = (1 + 0.0341) * 632 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso Corregido A.F} = 653.55 \text{ Kg (para un metro cúbico)}$$

PARA AGREGADO GRUESO

$$\text{Peso Corregido A.G} = (1 + 2.33\%) * 1001 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso Corregido A.G} = (1 + 0.0233) * 1001 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso Corregido A.G} = 1024.32 \text{ Kg (para un metro cúbico)}$$

Balance de Agua

$$\text{Balance de Agua} = \% \text{Humedad} - \% \text{Absorción}$$

Tabla 38

Humedad superficial del agregado

HUMEDAD SUPERFICIAL DEL AGREGADO (HUMEDAD NATURAL - ABSORCIÓN)	
AGREGADOS	CONTENIDO DE HUMEDAD - ABSORCIÓN
Agregado Fino	1.49%
Agregado Grueso	0.91%

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior, es preciso indicar que, 1.49 % correspondiente al agregado fino, es la diferencia entre el contenido de humedad y absorción; lo propio para el agregado grueso, el resultado 0.91%, viene hacer la diferencia entre el contenido de humedad y absorción de dicho agregado grueso.

12.1. Aporte o contribución de agua de los agregados

Aporte de agua de agregado fino

$$\text{Aporte de Agua A.F} = \text{Peso Seco A.F} * \text{Balance de Agua}$$

$$\text{Aporte de Agua A.F} = 632 \text{ Kg} * 0.0149$$

$$\text{Aporte de Agua A.F} = 9.42 \text{ Kg/m}^3 \text{ (Aporte a } 1 \text{ m}^3\text{)}$$

Aporte de agua de agregado grueso

$$\text{Aporte de Agua A. G} = \text{Peso Seco A. G} * \text{Balance de Agua}$$

$$\text{Aporte de Agua A. G} = 1001 \text{ Kg} * 0.0091$$

$$\text{Aporte de Agua A. G} = 9.11 \text{ Kg/m}^3 \text{ (Aporte a } 1 \text{ m}^3\text{)}$$

Tabla 39

Aporte de agua de los agregados

CORRECCION DE HUMEDAD		
DESCRIPCION	HUMEDAD SUPERFICIAL	APORTE DE AGUA
Para agregado fino	1.49%	= 9.42 Kg
Para agregado grueso	0.91%	= 9.11 Kg
Volumen de agua a corregir		= 18.53 Kg

Fuente: Elaboración propia.

13. Volumen de agua efectiva

Tabla 40

Volumen de agua efectiva

AGUA EFECTIVA	
Agua inicial (a_i)	205.00 kg/m ³
Aporte de los Agregados (a_f)	18.53 kg/m ³
Agua Final ($a_i - a_f$)	186.47 kg/m³

Fuente: Elaboración propia.

14. VALORES DE DISEÑO POR 1 M³ DE CONCRETO, AGREGADOS CORREGIDOS POR HUMEDAD (AGREGADOS HÚMEDOS)

Tabla 41

Valores de diseño de concreto por 1 m³ (Dosificación final)

MATERIALES	CANTIDAD
Cemento	368 kg/m ³
Agua de Diseño	186 kg/m ³
Agregado Fino	654 kg/m ³
Agregado Grueso	1024 kg/m ³
Aire	2.00%
Peso Total	2233 kg/m ³

Fuente: Elaboración propia.

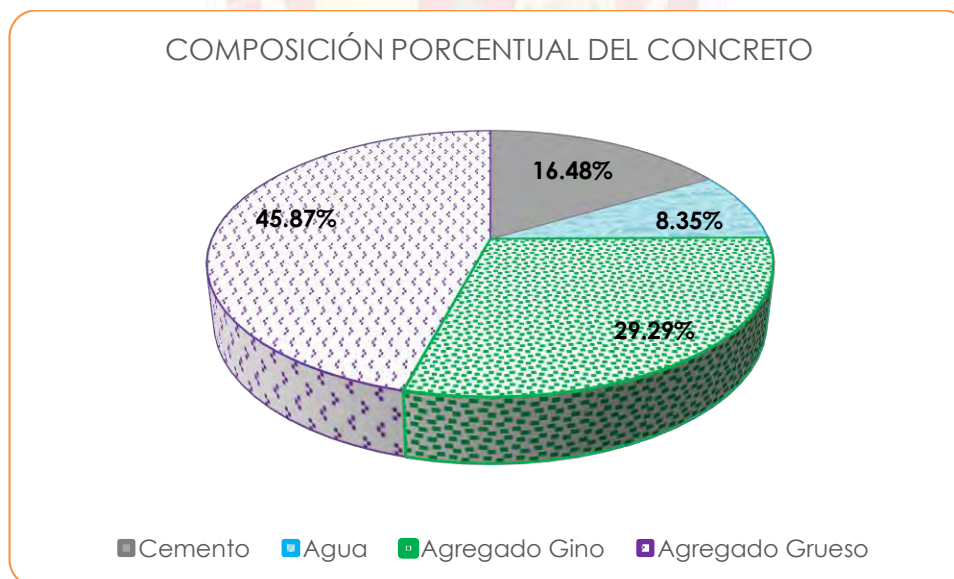


Figura 85. Valor porcentual del concreto por m³

Tabla 42

Proporción por peso corregidos por humedad por kilogramo (Kg) de cemento

MATERIALES	CANTIDAD
Cemento	1.00
Agua de Diseño	0.51 lt/bolsa
Agregado Fino	1.78
Agregado Grueso	2.78

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 43

Peso por tandas de una bolsa

MATERIALES	CANTIDAD
Cemento	42.5 kg/bolsa
Agua de Diseño	22 lt/bolsa
Agregado Fino	75.5 kg/bolsa
Agregado Grueso	118.3 kg/bolsa

Fuente: Elaboración propia.

Es preciso indicar que, en Perú (en la Región de Cusco), 01 bolsa de cemento Yura IP, pesa 42.5 Kg.

1 bolsa de cemento Yura IP = 42.5 kg

Tabla 44

Proporción por volumen corregidos por humedad por cada pie³ de cemento

MATERIALES	CANTIDAD
Cemento	1.00 pie ³ /pie ³
Agua de Diseño	22 lt/pie ³
Agregado Fino	1.6 pie ³ /pie ³
Agregado Grueso	2.7 pie ³ /pie ³

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 45

Proporción por volumen corregido por humedad por cada m³ de concreto

MATERIALES	CANTIDAD
Cemento	8.66 bls/m ³
Agua de Diseño	0.19 m ³ /m ³
Agregado Fino	0.40 m ³ /m ³
Agregado Grueso	0.65 m ³ /m ³

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de diseño

Es preciso indicar que, la realización de toma de datos, el procesamiento de los mismos, se realizó mediante hojas Excel. Las cuales, se tuvo que elaborar cuadros para los cálculos respectivos, tal como se muestra dichas hojas Excel en la parte de metodología.

A partir de los cálculos obtenidos en referente a los ensayos de agregados, se tuvo la información para el diseño de mezclas. Cabe indicar, el procesamiento del cálculo para el diseño de mezclas se trabajó según normas indicadas, así mismo con tres hojas en Microsoft Office Excel elaboradas y cálculos realizados en Microsoft Office Word, todo ello para la respectiva comparación de los *valores de diseño de concreto*, para una buena dosificación del concreto para la investigación.

4.8.8. Análisis del revenimiento (consistencia - slump) del concreto

El revenimiento se determinó para el concreto patrón, fue el mismo concreto para la realización de los prismas de concreto en la presente investigación ($f'c=210 \text{ kg/cm}^2$).

Tabla 46

Revenimiento del concreto

REVENIMIENTO DEL CONCRETO (CONSISTENCIA - SLUMP)								
CONCRETO	VACIADO	LECTURAS				PROMEDIO SLUMP (cm)	PROMEDIO SLUMP (pulgadas) 1" = 2.54 cm	PROMEDIO SLUMP (pulgadas)
		LECTURA I (cm)	LECTURA 2 (cm)	LECTURA 3 (cm)	LECTURA 4 (cm)			
Concreto F'c 210 kg/cm²	ETAPA I	9.50	9.65	9.50	9.60	9.56	3.76	3.81
	ETAPA II	9.65	9.64	9.60	9.62	9.63	3.79	
	ETAPA III	9.44	9.40	9.38	9.45	9.42	3.71	
	ETAPA IV	10.10	10.15	10.00	10.12	10.09	3.97	

FUENTE: Elaboración propia.

REFERENCIAS: ASTM C-143

A continuación, se muestra en el diagrama, las cuatro etapas de la toma de datos del revenimiento para el concreto que se realizaron las muestras (prismas de concreto).

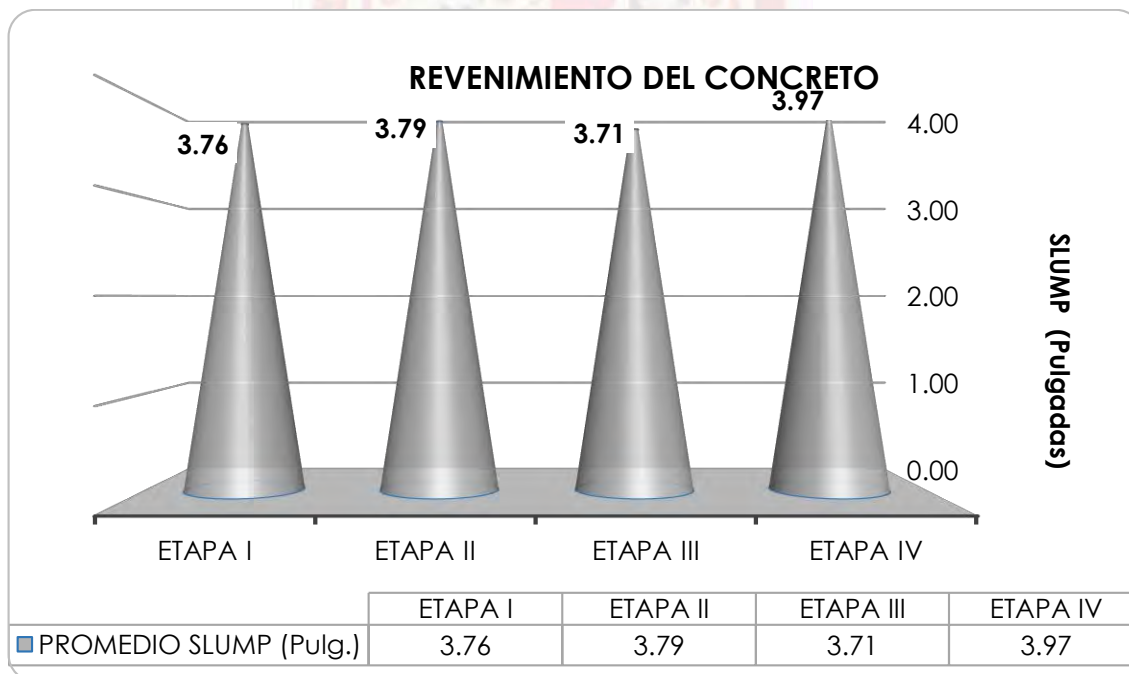


Figura 86. *Revenimiento del concreto.*

4.8.9. Análisis de la preparación de la solución bacteriana

El sistema de autocuración se compone de dos soluciones:

Solución A.

- Silicato de sodio (buffer alcalino, 4,8 g/l).
- Gluconato de sodio (fuente de carbono para el crecimiento de bacterias, 125 g/l).
- Extracto de levadura (vitaminas para bacterias, 1g/l).
- Bacterias Alcalífilas (1.16×10^8 esporas/mL).

Solución B.

- Lactato de calcio (calcio para la precipitación de CaCO_3 , 80 g / l).
- Bacterias alcalífilas (1.16×10^8 esporas / l).

*La solución A y B fueron preparadas en condiciones asépticas para un total de 6000 mL (en agua destilada), la misma que sirvió como un medio para la bio-precipitación de CaCO_3 (calcita) mediante las bacterias.

Es preciso indicar que, en la solución A y B conforman las esporas bacterianas, porque son resistentes a cambios bruscos de temperatura, pH, humedad, luminosidad, presencia o ausencia de oxígeno.

4.8.10. Análisis de la aplicación de solución bacteriana (*Bacillus subtilis*)

Es fundamental la aplicación adecuada de la solución bio-precipitadora (bioreparadora), es decir la solución A+B en los prismas de concreto fisurado. En la presente investigación (como se indica paso a paso la aplicación en metodología) se agregó la solución A y B hasta una altura de 100 mm del envase, donde ya se encontraban los prismas de concreto fisurado, la cual este curado de fisuras fue por inmersión.

Pasado 5 días, las fisuras que estaban en la base del recipiente (lavatorio) fueron volteadas, es decir ahora tenían contacto con el oxígeno (indica la actividad metabólica microbiana), humedad, luminosidad y a temperatura ambiente (laboratorio), 7 días después de ello, se observó la formación de CaCO_3 como se muestra en los resultados.

4.8.11. Análisis de la prueba de permeabilidad

La permeabilidad se calculó como flujo de agua en fisuras (antes de la aplicación de solución reparadora basada en bacterias) en las muestras no curadas en g/min y el flujo de las muestras curadas en g/min (después de la aplicación de la solución reparadora basada en bacterias). Es decir, el sellado de los prismas de concreto fisurado se calculó mediante la recuperación en la impermeabilidad de las muestras curadas con la solución bacteriana.

La prueba se realizó antes del tratamiento curativo en un conjunto de 32 muestras y después de curar en otro conjunto de 12 muestras a los 28 días y 20 muestras a los 56 días. Ello, con la finalidad de probar diferentes conjuntos antes y después de la curación a base de bacterias y para determinar el proceso de la mejora de curación en fisuras mediante la precipitación de CaCO_3 por *Bacillus subtilis*. Cabe indicar, si hubiera realizado la prueba de permeabilidad (mediante la aplicación de bacterias) a los 3, 7, 14 días, posiblemente pueda afectar la curación (formación de CaCO_3). Además, Wiktor y Jonkers (2014), indican a partir de los 28 días la realización de esta prueba.

El hecho de realizar la prueba de permeabilidad después del curado a los 3, 7, 14 días pudo influir en los resultados obtenidos. Los resultados después de realizar la prueba de permeabilidad a los 28 y 56 días, dieron una buena indicación de la curación que ha tenido

lugar durante el tratamiento curativo, es decir, el sellado de fisuras del concreto mediante el proceso de bioprecipitación de CaCO_3 o simplemente bioreparación a base de bacterias.

Tabla 47

Toma de datos de muestras para el ensayo de permeabilidad.

TOMA DE DATOS DE PRISMAS PARA EL ENSAYO DE PERMEABILIDAD										
Self Healing	Prisma de Concreto	Longitud			Ancho			Peralte		
		Longitud L ₁ (cm)	Longitud L ₂ (cm)	Promedio L (cm)	Ancho A ₁ (cm)	Ancho A ₂ (cm)	Promedio A (cm)	Peralte B ₁ (cm)	Peralte B ₂ (cm)	Promedio B (cm)
	Código									
29 días	RHMA 1	34.00	34.10	34.05	9.86	9.80	9.83	9.90	10.50	10.20
	RHMA 2	34.10	34.15	34.13	10.01	10.00	10.01	10.30	10.10	10.20
	RHMA 3	34.30	34.25	34.28	10.20	10.18	10.19	9.80	9.90	9.85
	RHMA 4	33.90	34.00	33.95	10.09	10.08	10.09	10.20	10.20	10.20
	RHMA 5	34.00	34.00	34.00	10.06	10.00	10.03	10.20	10.00	10.10
	RHMA 6	34.10	34.00	34.05	10.32	10.20	10.26	10.00	10.20	10.10
	RHMA 7	34.20	34.00	34.10	10.10	10.20	10.15	10.00	9.70	9.85
29 días	RHMA 8	33.90	33.90	33.90	9.89	10.01	9.95	9.80	10.00	9.90
	RHMA 9	34.10	34.00	34.05	10.04	10.09	10.07	10.30	9.70	10.00
	RHMA 10	34.10	34.05	34.08	10.09	10.12	10.11	9.70	10.00	9.85
	RHMA 11	34.20	34.30	34.25	9.94	10.03	9.99	9.95	10.00	9.98
	RHMA 12	34.40	34.20	34.30	10.14	10.07	10.11	9.14	9.56	9.35
	RHMA 13	34.00	34.10	34.05	9.95	10.01	9.98	10.12	9.50	9.81
	RHMA 14	34.20	34.20	34.20	10.12	10.01	10.07	10.10	10.08	10.09
	RHMA 15	34.10	34.15	34.13	10.23	10.13	10.18	10.03	10.00	10.02
	RHMA 16	34.20	34.25	34.23	10.21	10.05	10.13	10.14	10.15	10.15
	RHMA 17	34.20	34.10	34.15	10.05	9.97	10.01	9.60	9.80	9.70
29 días	RHMA 18	34.10	34.15	34.13	10.20	10.15	10.18	10.00	9.90	9.95
	RHMA 19	34.40	34.25	34.33	10.06	10.05	10.06	9.80	9.75	9.78
	RHMA 20	34.15	34.20	34.18	10.14	10.28	10.21	10.00	9.60	9.80
	RHMA 21	34.10	34.12	34.11	10.06	10.15	10.11	9.70	10.30	10.00
	RHMA 22	34.20	34.15	34.18	9.78	9.91	9.85	9.60	9.60	9.60
	RHMA 23	34.20	34.15	34.18	10.05	10.20	10.13	10.00	9.90	9.95
	RHMA 24	34.10	34.10	34.10	10.04	10.10	10.07	9.60	10.10	9.85
	RHMA 25	34.40	34.30	34.35	10.04	10.02	10.03	10.00	9.90	9.95
	RHMA 26	34.30	34.30	34.30	9.85	9.89	9.87	9.90	9.90	9.90
	RHMA 27	34.30	34.30	34.30	9.98	10.10	10.04	9.90	10.00	9.95
	RHMA 28	34.10	34.00	34.05	10.09	10.11	10.10	10.00	10.10	10.05
	RHMA 29	34.20	34.25	34.23	9.96	9.80	9.88	9.90	9.60	9.75
	RHMA 30	34.00	34.10	34.05	9.97	10.07	10.02	9.50	10.00	9.75
	RHMA 31	34.10	34.00	34.05	10.00	9.98	9.99	9.90	10.05	9.98
	RHMA 32	34.15	34.10	34.13	10.10	10.15	10.13	10.10	10.00	10.05

FUENTE: Elaboración propia.

4.8.12. Análisis de la bio-precipitación (SELF HEALING CONCRETE)



Figura 87. Prismas de concreto fisurado (antes de la curación a base de bacterias)

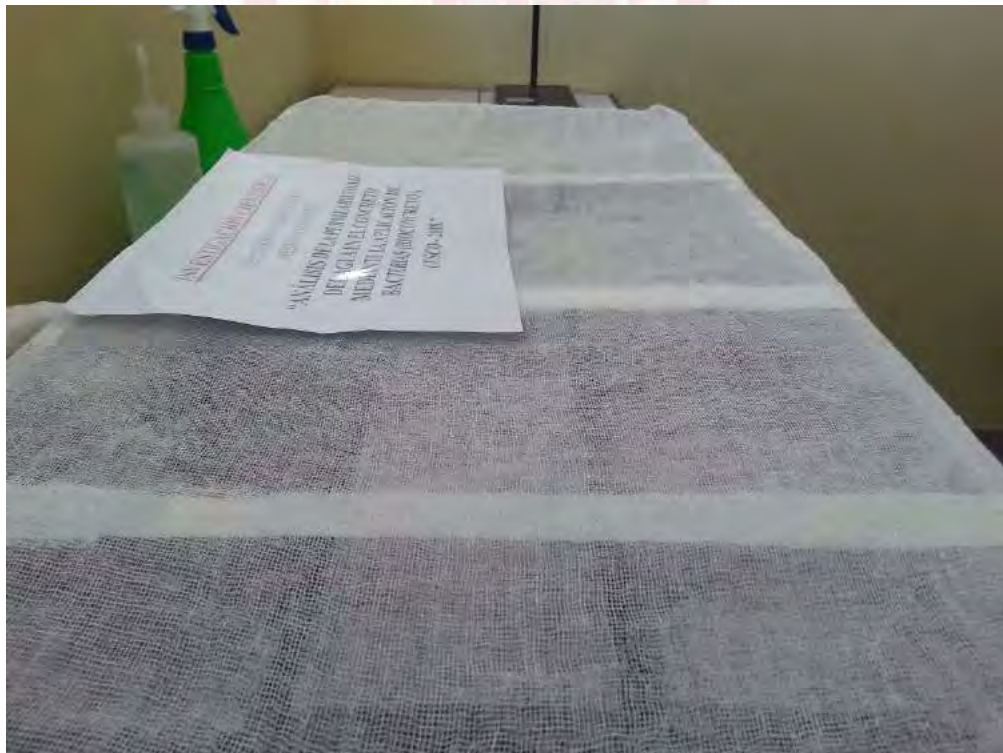


Figura 88. Curación de prismas de concreto fisurado (a base de bacterias).



Figura 89. Proceso de auto-curación del concreto a base de bacterias.



Figura 90. Bio-precipitación de CaCO_3 a base de bacterias a los 12 días.



Figura 91. Precipitación de carbonato de calcio en fisuras de concreto.



Figura 92. Sellado de fisuras a base de bacterias.



Figura 93. Bioprecipitación de fisuras en prismas de concreto.



Figura 94. Formación de CaCO_3 en las fisuras de concreto.



Figura 95. Bioreparación de fisuras de las muestras de concreto mediante las bacterias (86 días).



*Figura 96. Proceso de bioprecipitación de CaCO_3 , mediante la aplicación de *Bacillus subtilis*.*



Figura 97. Proceso de formación de CaCO_3 (a base de bacteria con solución A y B).

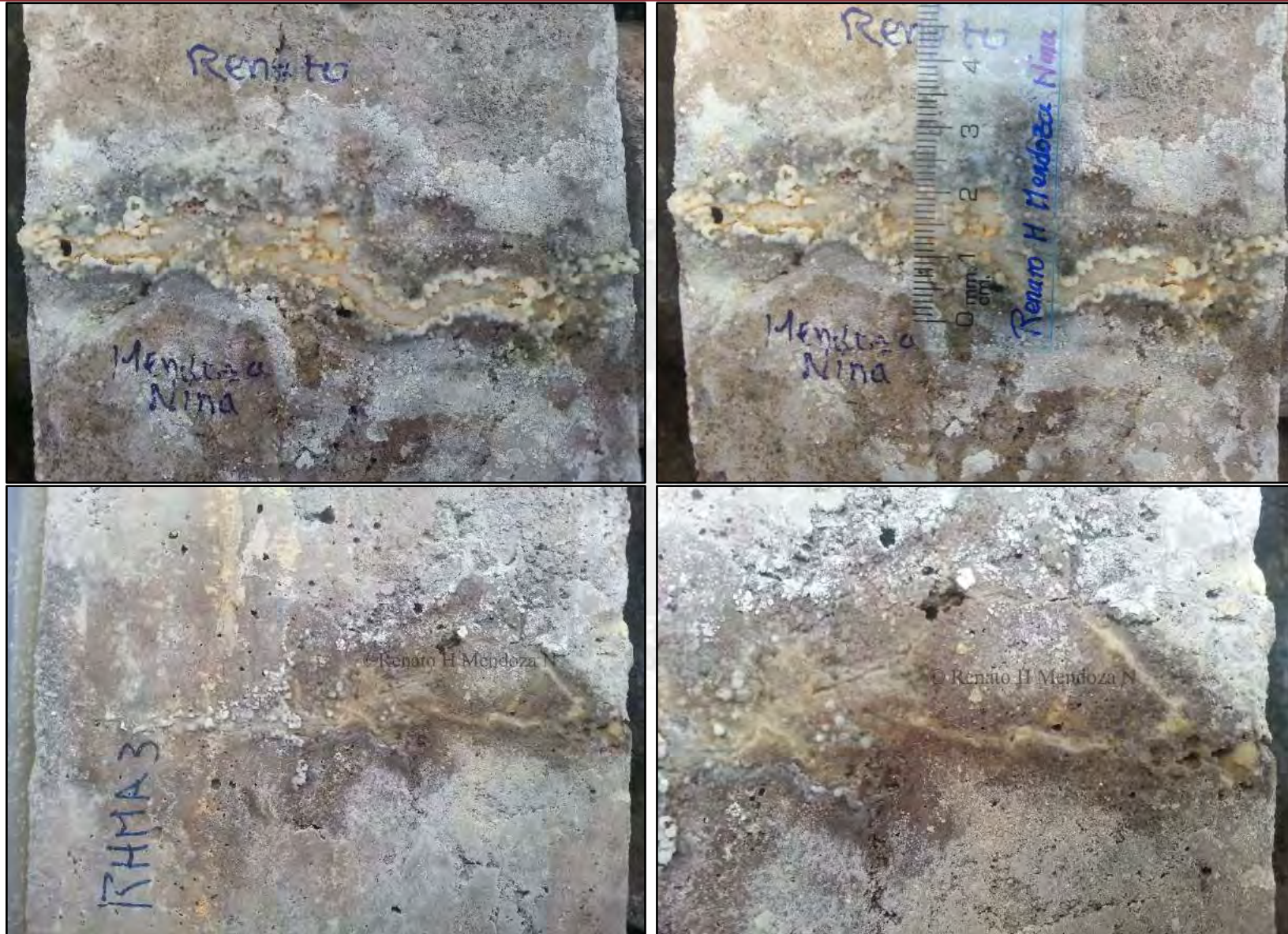


Figura 98. Curación de fisuras del concreto a base de bacterias a los 56 y 84 días.

4.8.13. Análisis de la observación a estereoscopio



Figura 99. Observación a nivel estereoscopio de la precipitación de CaCO_3 .



Figura 100. Observación mediante estereoscopio con objetivo a 2x y 4x; y ocular a 8x (con aumento de 16X y 32X).

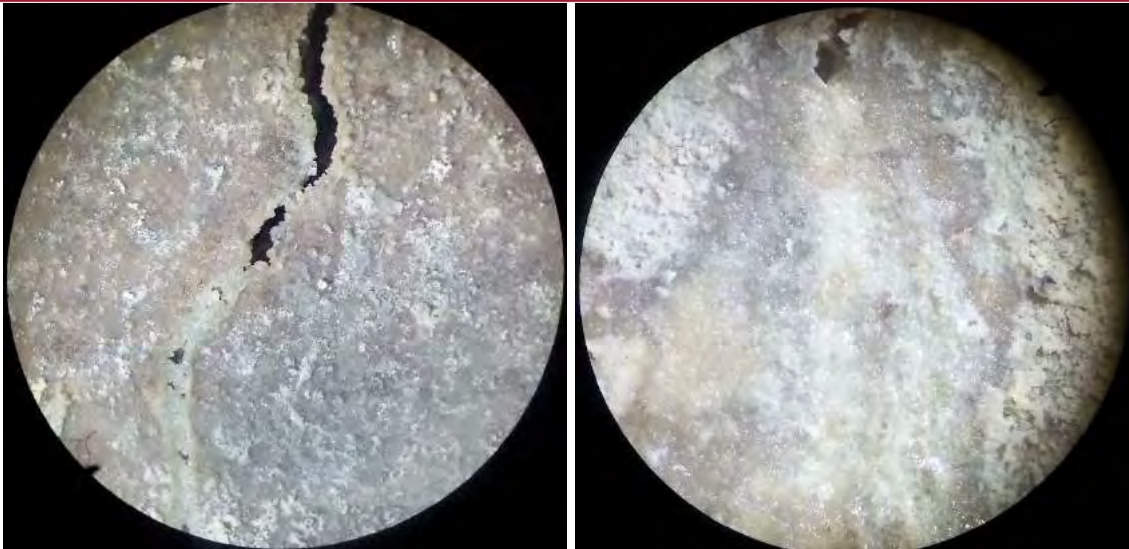


Figura 101. Observación a nivel estereoscopio con aumento de 32X.

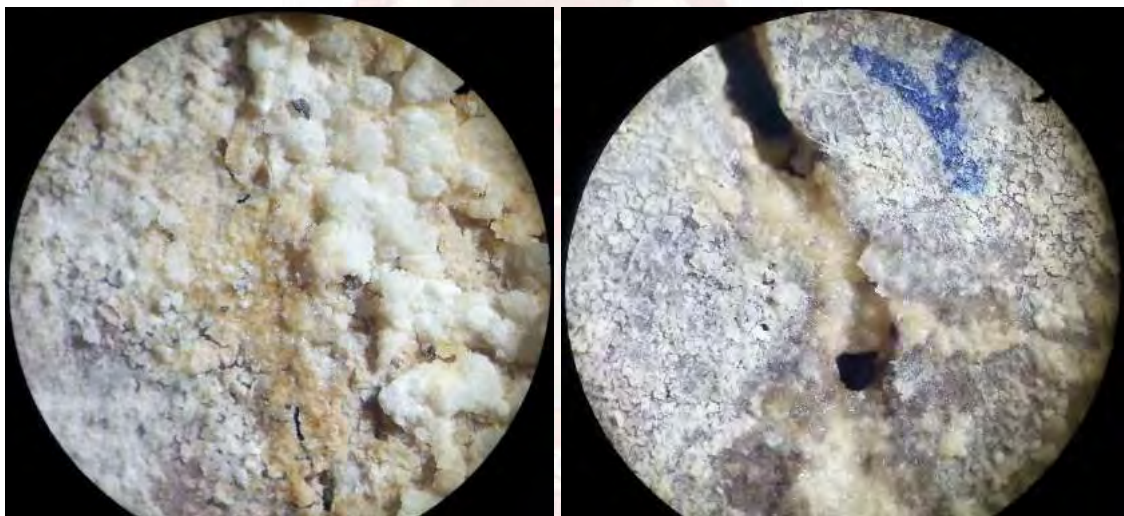


Figura 102. Observación a nivel estereoscopio de la precipitación de CaCO_3 .

El análisis a nivel estereoscopio con aumento de 32X, se puede apreciar la formación y/o precipitación de CaCO_3 mediante el metabolismo de bacterias precipitadoras del compuesto. Las fisuras menores a 1 mm de ancho son selladas por la acción de bacteriana y por ende quedan reparadas las fisuras del concreto.

Análisis químico de carbonato de calcio



Figura 103. Proceso de determinación de carbonato de calcio.

Para el análisis de carbonato de calcio, se utilizó ácido clorhídrico (HCl) para su determinación. Los cristales de carbonato de calcio se tomaron: de la fisura de la muestra, de la base de la muestra (contacto con el líquido bacteriano) y de la superficie de la muestra (parte superior). Se determinó con la prueba de ácido clorhídrico, que dio resultado de la presencia de carbonatos en la muestra analizada.

CAPITULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. RESULTADO DEL DESARROLLO DE UN SISTEMA DE REPARACIÓN A BASE BIOLÓGICA

La bacteria utilizada para el estudio es una cepa de *Bacillus subtilis* (bacterias que están vivas en cualquier condición climática extrema), se ha utilizado el lactato de calcio para la precipitación de cristales de CaCO_3 . Esta propiedad de las bacterias ha contribuido al aumento en la impermeabilidad a los 28 y 56 días de las muestras en comparación con las muestras de control.

Se desarrolló el sistema de reparación a base biológica del concreto fisurado, simulado para obras hidráulicas, las mismas que cumplan función de impermeabilidad. El proceso de auto-curación a base de bacterias, se determinó mediante el uso de un permeámetro construido exclusivamente para este trabajo de investigación y con el apoyo de estereoscopio para la observación de la formación de cristales de carbonato de calcio (CaCO_3). Los cristales de CaCO_3 , se observan a nivel macroscópica como a nivel de estereoscopio.

Es preciso indicar que, el desarrollo de la reparación de fisuras producidas en las muestras fue dada en condiciones de laboratorio, con temperatura de 18°C . Así mismo, cabe precisar que, la presencia de oxígeno es fundamental para la precipitación de CaCO_3 , el cual ayuda en el metabolismo bacteriana para sellar las fisuras mediante la producción de este compuesto.

5.2. RESULTADO DE LA DETERMINACIÓN DE PERMEABILIDAD DEL CONCRETO FISURADO REPARADO MEDIANTE BACTERIAS.

Las fisuras impregnadas con la solución A y B basado en bacterias están parcialmente selladas ya que hay fugas de agua de la fisura, pero en menor proporción. Para las muestras de control la permeabilidad es mayor en comparación para las mismas muestras impregnadas con bacterias después de los 28 y 56 días.

El aumento de la impermeabilidad se debe a la formación de calcita y su precipitación se verifica con estudios de prueba de permeabilidad, observación estereoscópica y análisis químico. El logro de una mejora de la impermeabilidad del precipitado de CaCO_3 , mediante la aplicación de *Bacillus subtilis* en el concreto, y su capacidad para evitar el ingreso de sustancias químicas al concreto. La cual, es beneficioso para las futuras infraestructuras de concreto.

La prueba de permeabilidad a los 30 días, el concreto fisurado patrón tuvo una permeabilidad de: RHMA1 (0.79), RHMA 2 (1.10), RHMA 3 (11.11), RHMA 4 (17.86), RHMA 5 (3.45), RHMA 6 (0.75), RHMA 7 (0.67), RHMA 8 (0.70), RHMA 9 (3.13), RHMA 10 (2.11), RHMA 11 (2.48), RHMA 12 (3.76), el mismo concreto fisurado, esta vez reparado a base de bacterias, a los 58 días tuvo una permeabilidad de: RHMA 1 (0.35), RHMA 2 (0.39), RHMA 3 (4.31), RHMA 4 (12.50), RHMA 5 (1.96), RHMA 6 (0.53), RHMA 7 (0.56), RHMA 8 (0.54), RHMA 9 (1.40), RHMA 10 (0.73), RHMA 11 (1.18), RHMA 12 (1.87).

Tabla 48

Permeabilidad de muestras a los 30 días (control) y a los 58 días (con bacteria).

PERMEABILIDAD EN MUESTRAS			
SELF HEALING	PRISMA	PERMEABILIDAD (mL/seg)	
	Código	Sin bacteria (30 días)	Con bacteria (58 días)
A los 30, días prueba control de permeabilidad. A los 58, días prueba de permeabilidad en fisuras reparadas a base de bacterias.	RHMA 1	0.79	0.35
	RHMA 2	1.10	0.39
	RHMA 3	11.11	4.31
	RHMA 4	17.86	12.50
	RHMA 5	3.45	1.96
	RHMA 6	0.75	0.53
	RHMA 7	0.67	0.56
	RHMA 8	0.70	0.54
	RHMA 9	3.13	1.40
	RHMA 10	2.11	0.73
	RHMA 11	2.48	1.18
	RHMA 12	3.76	1.87

FUENTE: Elaboración propia.

COMPARACIÓN DE PERMEABILIDAD EN MUESTRAS (30 DÍAS vs 58 DÍAS)

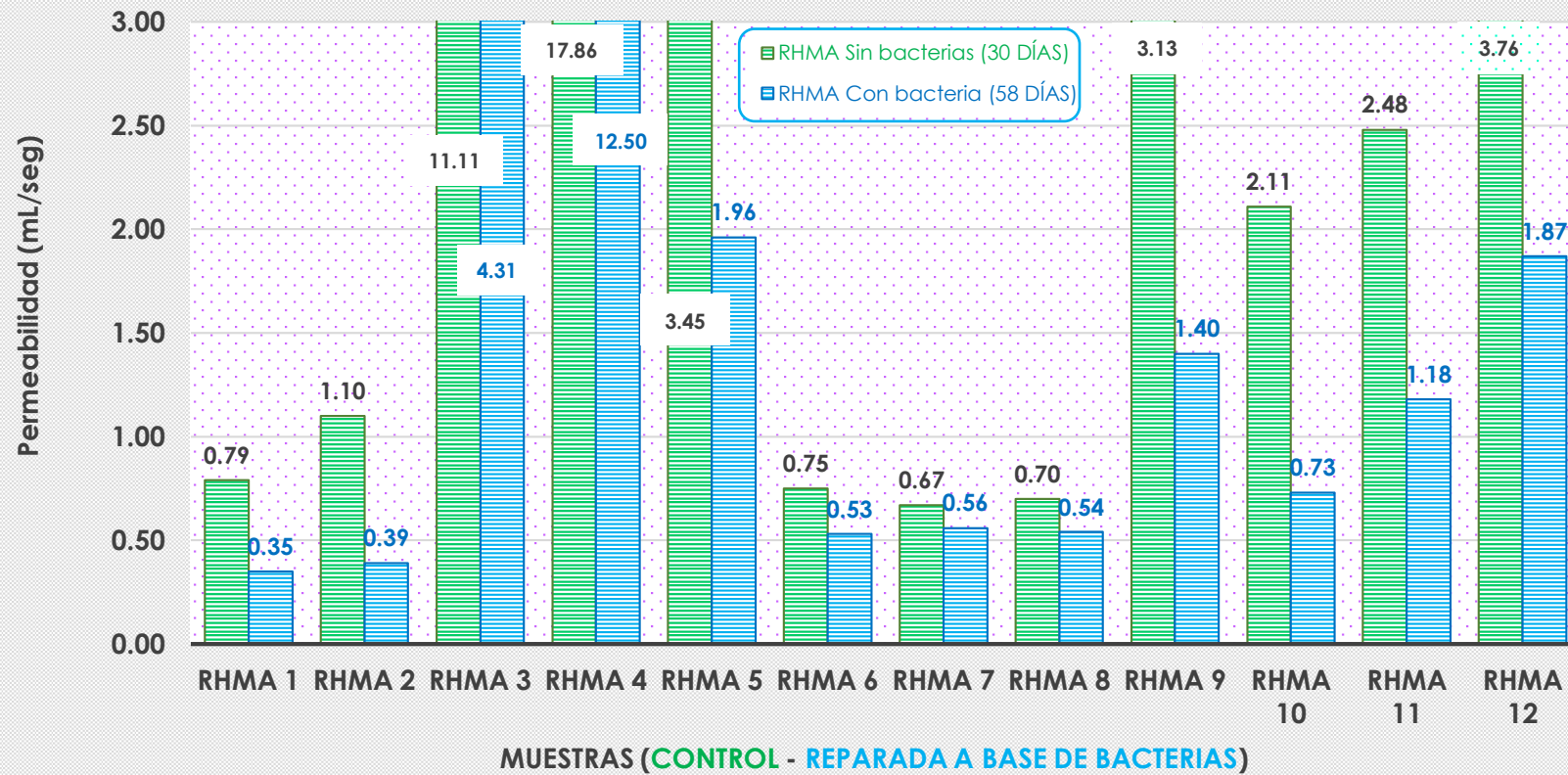


Figura 104. Comparación de permeabilidad en muestras (30 días - control vs 58 días - con bacteria).

La prueba de permeabilidad a los 30 días, el concreto fisurado patrón tuvo una permeabilidad de: RHMA 13 (6.02), RHMA 14 (14.71), RHMA 15 (2.27), RHMA 16 (13.89), RHMA 17 (0.81), RHMA 18 (3.03), RHMA 19 (0.70), RHMA 20 (0.63), RHMA 21 (0.94), RHMA 22 (1.02), RHMA 23 (0.77), RHMA 24 (0.61), RHMA 25 (1.09), RHMA 26 (2.20), RHMA 27 (0.69), RHMA 28 (0.50), RHMA 29 (0.32), RHMA 30 (0.80), RHMA 31 (0.53), RHMA 32 (0.31). A los 56 días, las mismas muestras, reparado a base de bacterias tuvo una permeabilidad de: RHMA 13 (1.37), RHMA 14 (8.77), RHMA 15 (1.48), RHMA 16 (8.62), RHMA 17 (0.38), RHMA 18 (1.82), RHMA 19 (0.31), RHMA 20 (0.35), RHMA 21 (0.44), RHMA 22 (0.35), RHMA 23 (0.36), RHMA 24 (0.42), RHMA 25 (0.54), RHMA 26 (1.29), RHMA 27 (0.43), RHMA 28 (0.35), RHMA 29 (0.11), RHMA 30 (0.35), RHMA 31 (0.25), RHMA 32 (0.11).

Tabla 49

Permeabilidad de muestras a los 30 días (control) y a los 86 días (con bacteria).

PERMEABILIDAD EN MUESTRAS			
SELF HEALING	PRISMA	PERMEABILIDAD (mL/seg)	
	Código	Sin bacteria (30 días)	Con bacteria (86 días)
A los 30 días, prueba control de permeabilidad. A los 86 días, prueba de permeabilidad en fisuras reparadas a base de bacterias.	RHMA 13	6.02	1.37
	RHMA 14	14.71	8.77
	RHMA 15	2.27	1.48
	RHMA 16	13.89	8.62
	RHMA 17	0.81	0.38
	RHMA 18	3.03	1.82
	RHMA 19	0.70	0.31
	RHMA 20	0.63	0.35
	RHMA 21	0.94	0.44
	RHMA 22	1.02	0.35
	RHMA 23	0.77	0.36
	RHMA 24	0.61	0.42
	RHMA 25	1.09	0.54
	RHMA 26	2.20	1.29
	RHMA 27	0.69	0.43
	RHMA 28	0.50	0.35
	RHMA 29	0.32	0.11
RHMA 30	0.80	0.35	
RHMA 31	0.53	0.25	
RHMA 32	0.31	0.11	

FUENTE: Elaboración propia.

COMPARACIÓN DE PERMEABILIDAD EN MUESTRAS (30 DÍAS vs 86 DÍAS)

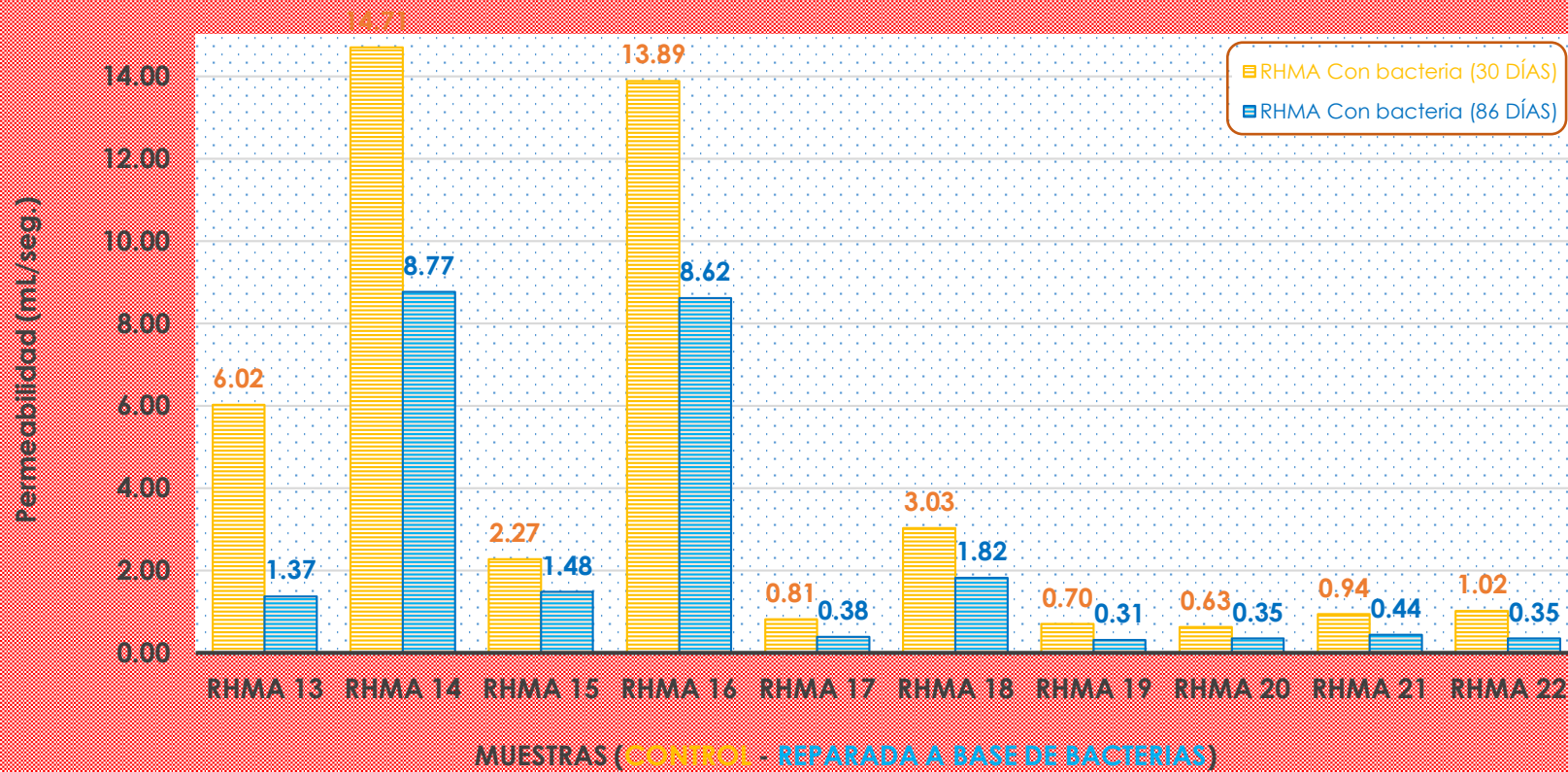


Figura 105. Comparación de permeabilidad en muestras (30 días - control vs 86 días - con bacteria).

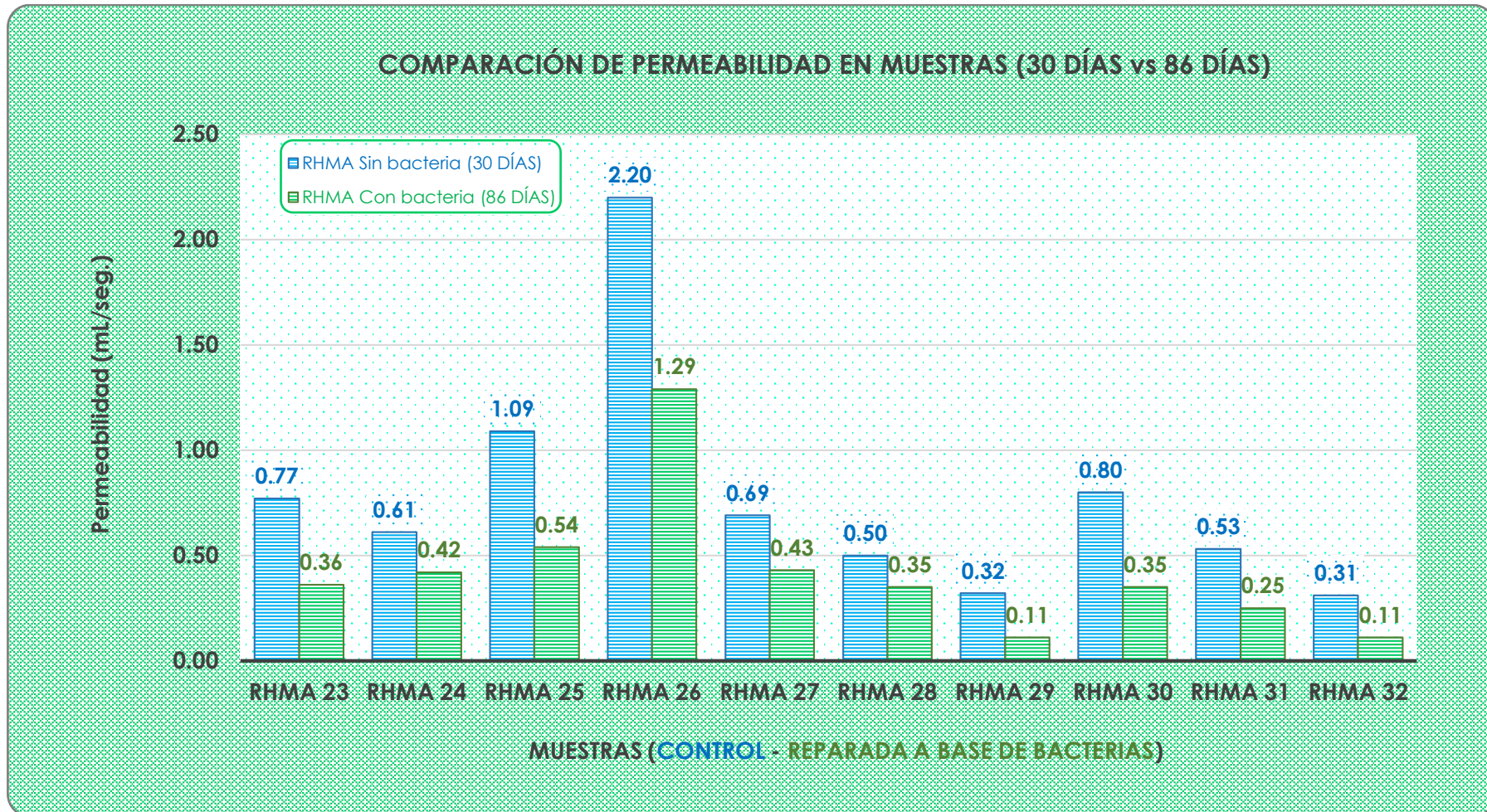


Figura 106. Comparación de permeabilidad en muestras (30 días - control vs 86 días - con bacteria).

Los resultados de la prueba de permeabilidad revelaron que, se produjo un incremento en la impermeabilización, para las muestras en las que se adicionó la solución reparadora a base de bacterias, en comparación con las mismas muestras sin la incorporación de la solución A y B (solución a base de bacterias precipitadoras de cristales de CaCO_3).

Las fisuras fueron producidas intencionalmente en las muestras, tenían que ser reparadas (selladas) mediante la aplicación de bacterias precipitadoras de CaCO_3 .

Para ver el resultado de ello, fue mediante la observación a estereoscopio y la prueba de permeabilidad. El antes (sin aplicar la bacteria) y el después (con curado a base de bacterias, según la metodología indicada en el ítem 4.7.22).

Las 32 muestras se curaron con agua hasta 28 días (como un concreto tradicional), como indica la norma (N.T.P. 339.033, 2009). El día 29 se fisuraron intencionalmente con ancho de fisura menor a 1mm (menores a esta dimensión las bacterias pueden reparar). El día 30 se realizó la primera prueba de permeabilidad a las 32 muestras, dicho resultado es un indicador (patrón o inicial, sin aplicación de bacterias) para cada muestra la cantidad de agua (gramos = mililitros) que pasaban en un determinado tiempo. Después de esta prueba (día 31), todas las muestras fueron curados por inmersión en solución A y B por 28 días. Al pasar 58 días, se toman 12 muestras (desde RHMA 1 hasta RHMA 12) para la prueba de permeabilidad (muestras curadas con bacterias reparadoras de fisuras). Del mismo modo, las 20 muestras (RHMA 13 – RHMA 32) se curaron desde el día 31 hasta día 86 (es decir se curaron 56 días con bacterias). De la misma manera se realizó la prueba de permeabilidad. Los cuadros y gráficos muestran los datos obtenidos y la comparación entre la permeabilidad inicial (sin bacterias) y la permeabilidad después de haber sido curado las fisuras mediante la aplicación de bacterias.

5.3. RESULTADO DEL TIEMPO DE PRECIPITACIÓN DE CARBONATO DE CALCIO INDUCIDA POR BACTERIAS

Las fisuras realizadas intencionalmente en el concreto, que tuvieron hasta 1 mm de ancho, pueden ser curadas; no obstante, la curación a fisuras mayor a 2 mm de ancho, se limita la formación del precipitado de cristales de CaCO_3 por la acción bacteriana.

La mayor mejora en la impermeabilidad se produce a los 56 días. Esta mejora se debe a la esporulación de los microorganismos dentro de la fisura del concreto.

Para alcanzar estos resultados del sellado de fisuras, las muestras estuvieron en laboratorio con temperatura desde 4°C (noche) hasta 25°C durante el día. Así mismo, cabe indicar que el pH juega un rol muy importante en el proceso de precipitación de calcita, en este caso la solución reparadora a base de bacteria estuvo en un rango de 9 – 13 con pH alcalino.

Otro factor muy importante es la presencia de oxígeno, junto con el CO_2 . Cuando las fisuras de las muestras estuvieron inmersas en la solución reparadora, no se produjo la precipitación de CaCO_3 . Pero, cuando se pusieron la fisura a mitad de la solución y la otra mitad en condiciones ambientales (con presencia de oxígeno, luminosidad), empezó la precipitación de caliza, por ende, a sellar las fisuras de las muestras.



Figura 107. Precipitación de CaCO_3 por acción microbiana.

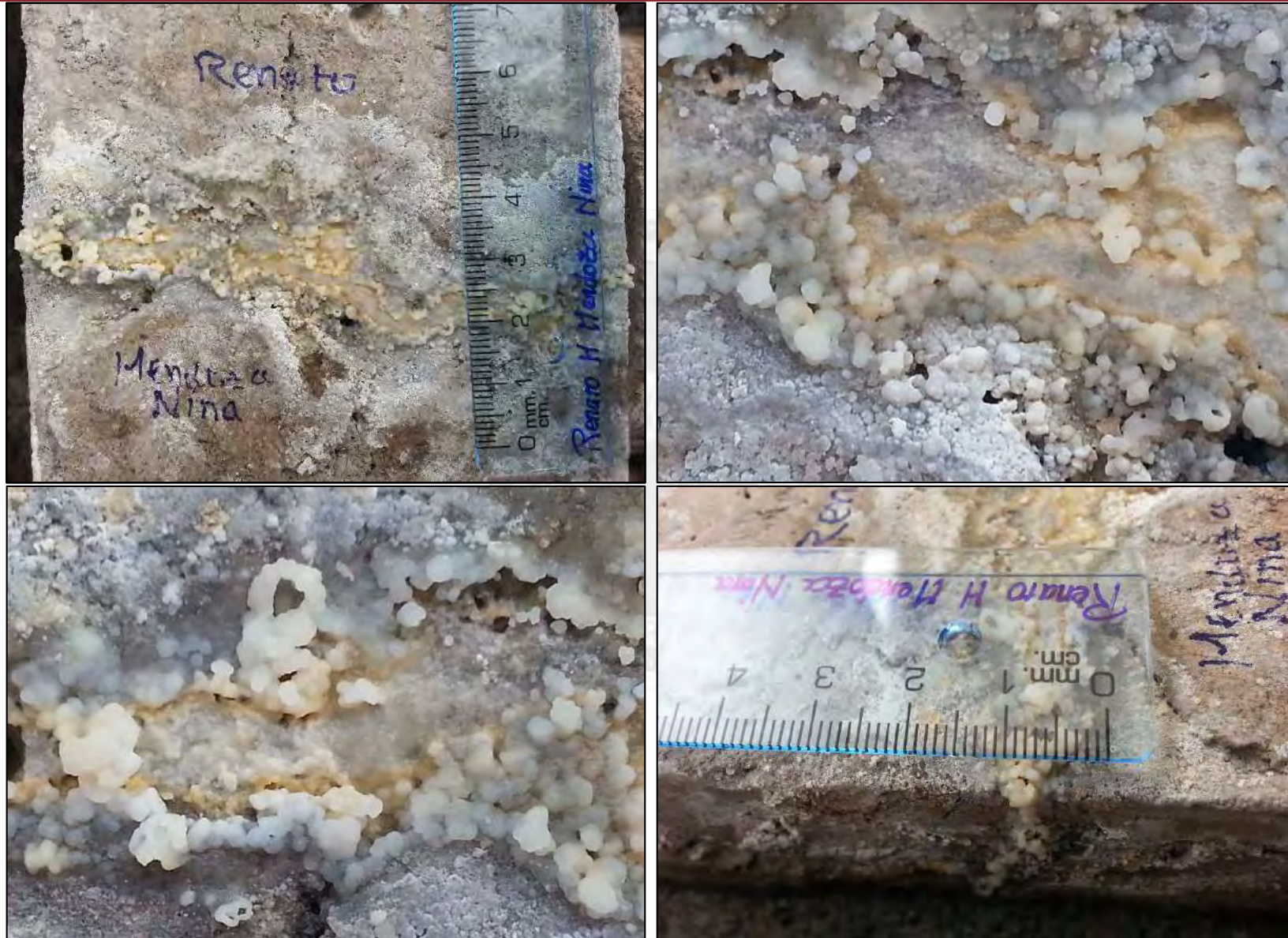


Figura 108. Bioreparación de fisuras (self healing concrete by use of bacteria to repair cracks in concrete).



Figura 109. Fisura de concreto reparado con CaCO_3 a base de bacterias a los 47 días.



Figura 110. Autosación del concreto a base de bacterias a los 86 días (self healing concrete by use of bacteria).



Figura 111. Fisura de concreto reparado mediante la aplicación de bacterias.



Figura 112. Observación estereoscópica de la precipitación de CaCO_3 a base de bacterias a los 58 días.



Figura 113. Observación estereoscópica de la precipitación de CaCO_3 a base de bacterias a los 86 días.

DISCUSIÓN

En el estudio de Bhaskar (2016), presenta tres especies de bacterias diferentes para la autocuración del concreto, una de ellas es *Bacillus subtilis* (subsp. *Spizizenii*). La evaluación de la autocuración (sellado de fisura) se realizó mediante la observación mediante la microscopía electrónica de barrido (SEM), espectro energético dispersivo (EDS) y difracción de rayos X (XRD). Así mismo cabe indicar que, una de las especies bacterianas eficaces fue *Bacillus subtilis* (subsp. *Spizizenii*) en dicha investigación.

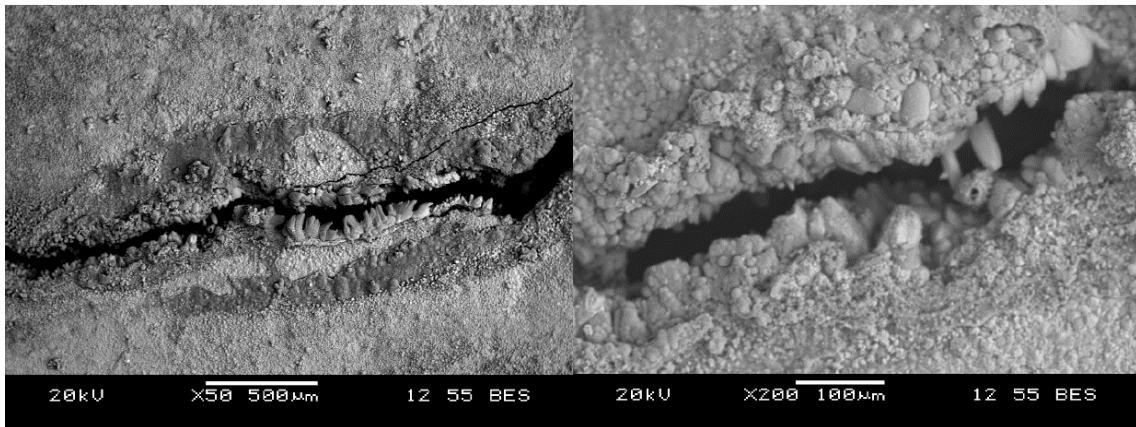


Figura 114. Observación SEM de muestra fisurada con *B. subtilis* + zeolita después de 1 mes de curación (Bhaskar, 2016).

En la presente investigación se trabajó con una sola especie de *Bacillus subtilis*. Para la evaluación del proceso de auto-curación, se realizó la prueba de permeabilidad, la cual indicó el sellado de las fisuras menores a 1 mm de ancho; también se realizó la observación a estereoscopio con un aumento focal de 16X – 32X. Así mismo se llevo a laboratorio de Química (UNSAAC) para el análisis químico de los cristales de carbonato de calcio (caliza), la misma que resultó ser precipitado de CaCO_3 .

En la siguiente figura se observan el precipitado de CaCO_3 y el sellado de la fisura del concreto.

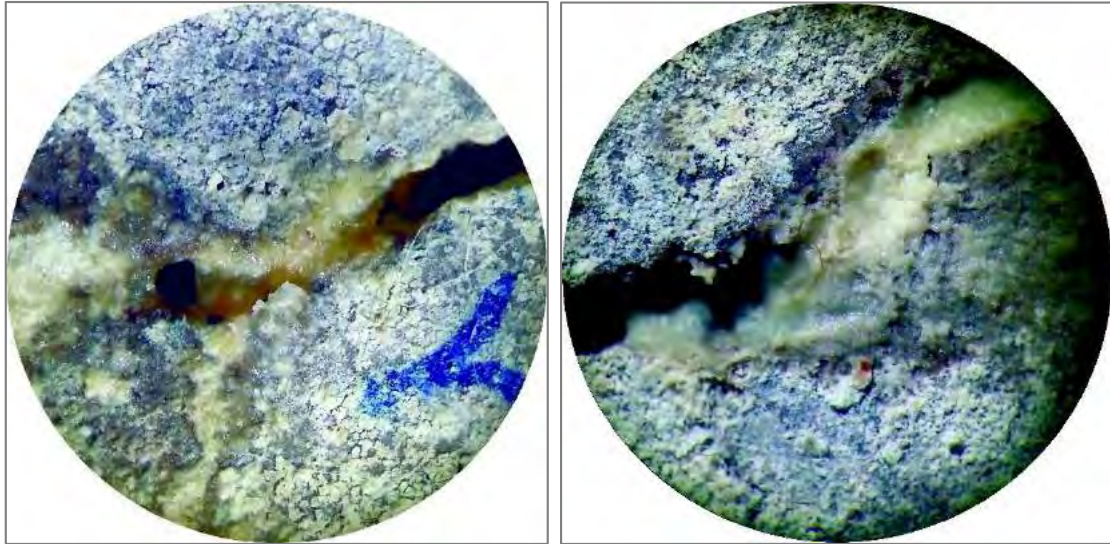


Figura 115. Precipitado de CaCO_3 y auto-reparación de la fisura del concreto.

Así mismo, en su tesis doctoral, Bhaskar (2016) realizó la auto-reparación en muestras de mortero de cemento. En esta investigación, las mezclas basadas en bacterias mostraron una recuperación considerablemente mejor tanto de la resistencia a la flexión como de la capacidad de deflexión en comparación con la mezcla de control después del fisuración y la curación.

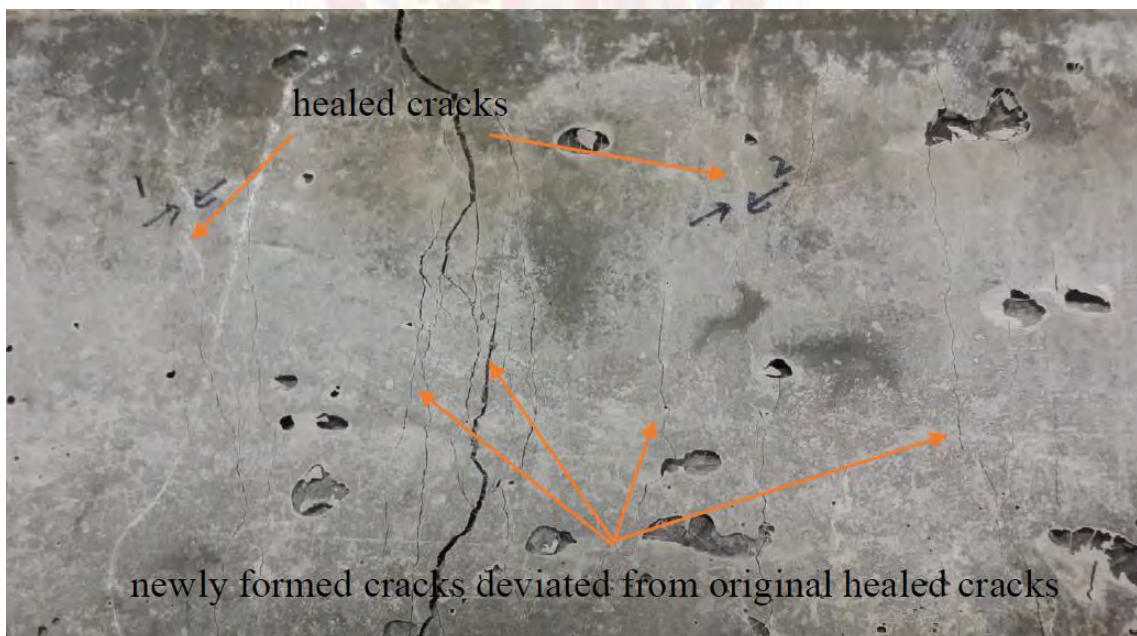


Figura 116. Espécimen curado con *Bacillus subtilis* antes (arriba) y después de la carga (abajo) mostrando la desviación de la formación de fisuras (Bhaskar, 2016).

En la presente investigación el trabajo fue netamente desarrollar este tipo de autocuración (auto-reparación) en concreto. Cabe indicar que, la autocuración a base de bacterias fue eficiente, puesto que sella fisuras menores a 1 mm de ancho y a la vez es amigable con el medio ambiente. Cabe indicar que, similares a esta investigación no se encontró en consulta realizada en los antecedentes, puesto que, realizaron estudios en mortero de cemento, tanto en prismas (40 x 40 x 160 mm) y en cubos (4 cm³). Los resultados en dichas investigaciones fueron eficientes, como en la presente investigación, con la diferencia para este estudio se utilizaron agregados de la Región Cusco y el Cemento Yura, los cuales dieron resultados esperados.



Figura 117. Auto-curado de fisuras de concreto a base de bacterias después de 86 días.

En la investigación de Qian *et.*, (2015), estudiaron la capacidad de reparación de la fisura influenciada por el tiempo. Los cuales, demostraron que, las bacterias tienen una excelente capacidad de bioreparar a pequeñas fisuras de 0.4 hasta 1.0 mm las cuales se cerraron casi por completo. Cabe señalar que, en este estudio, el ancho de fisuras que en promedio fue sellado 0.4 mm. Asimismo, cabe indicar, mientras la fisura era reciente, se podría autocurar; en comparación aquellas fisuras que tuvieron mayor cantidad de días.

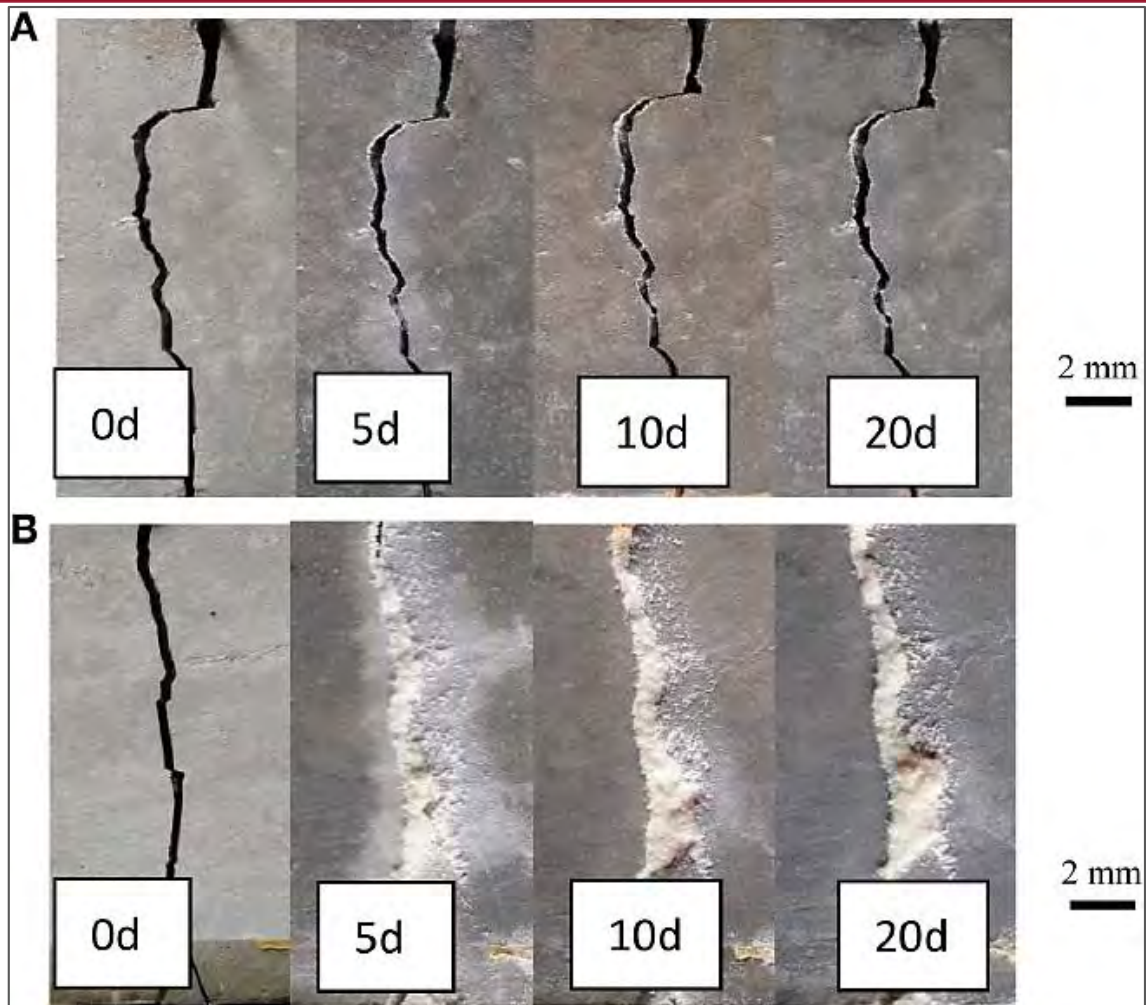


Figura 118. Imágenes de superficie de especímenes después de diferentes tiempos de curación (Qian, Chen, Ren, y Luo, 2015).



Figura 119. Proceso de autocuración de fisura de concreto.

En esta investigación *experimental pura*, el ancho de fisura juega un rol importante para la auto-reparación mediante la aplicación de bacterias precipitadoras de calcita, puesto que, según los autores mencionados en el capítulo II, en sus diversos estudios y publicaciones en revistas de renombre indican que, por lo general puede autocurar de manera eficaz fisuras menores a 1 mm. Lo propio en esta investigación la autocuración de manera eficiente fue en fisuras menores a 1 mm de ancho.

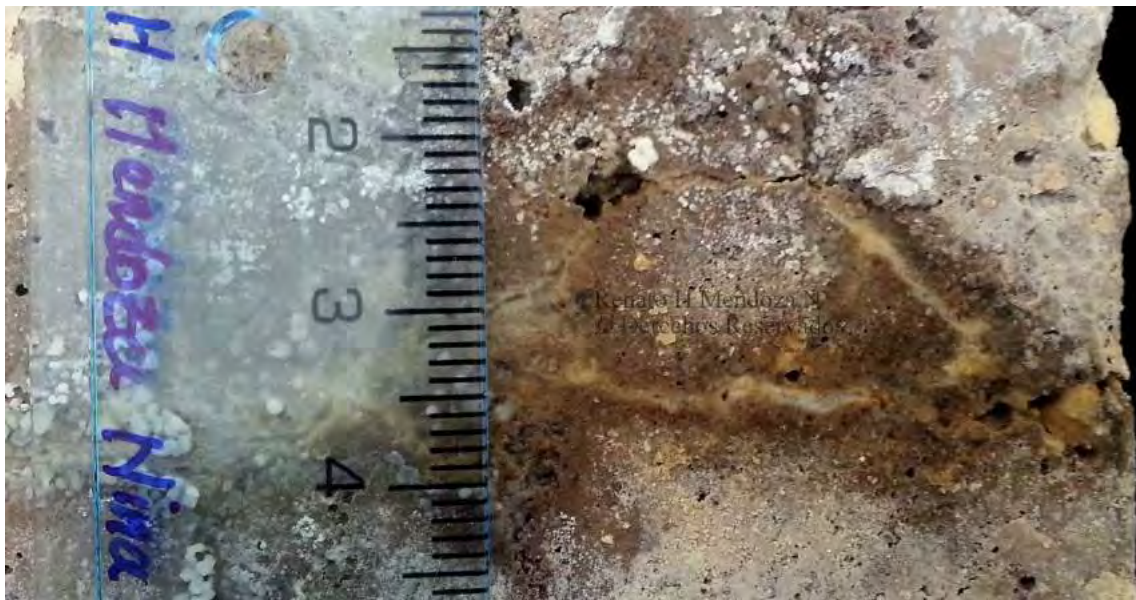


Figura 120. Bioprecipitación de calcita por metabolismo bacteriano.

Afirma Wehbe (2016) uno de los desafíos clave en la incorporación de microorganismos es encontrar un microorganismo que sea capaz de sobrevivir al proceso de mezclado, un ambiente de alto pH y sobrevivir teniendo acceso limitado a los nutrientes.

En la presente investigación, se demostró que, las muestras que fueron autocuradas a base de bacterias, casi sellaron por completo las fisuras. No obstante, las muestras que no fueron inducidas por *Bacillus subtilis*, no tuvieron el mismo resultado. Tal como se muestra en la siguiente figura.

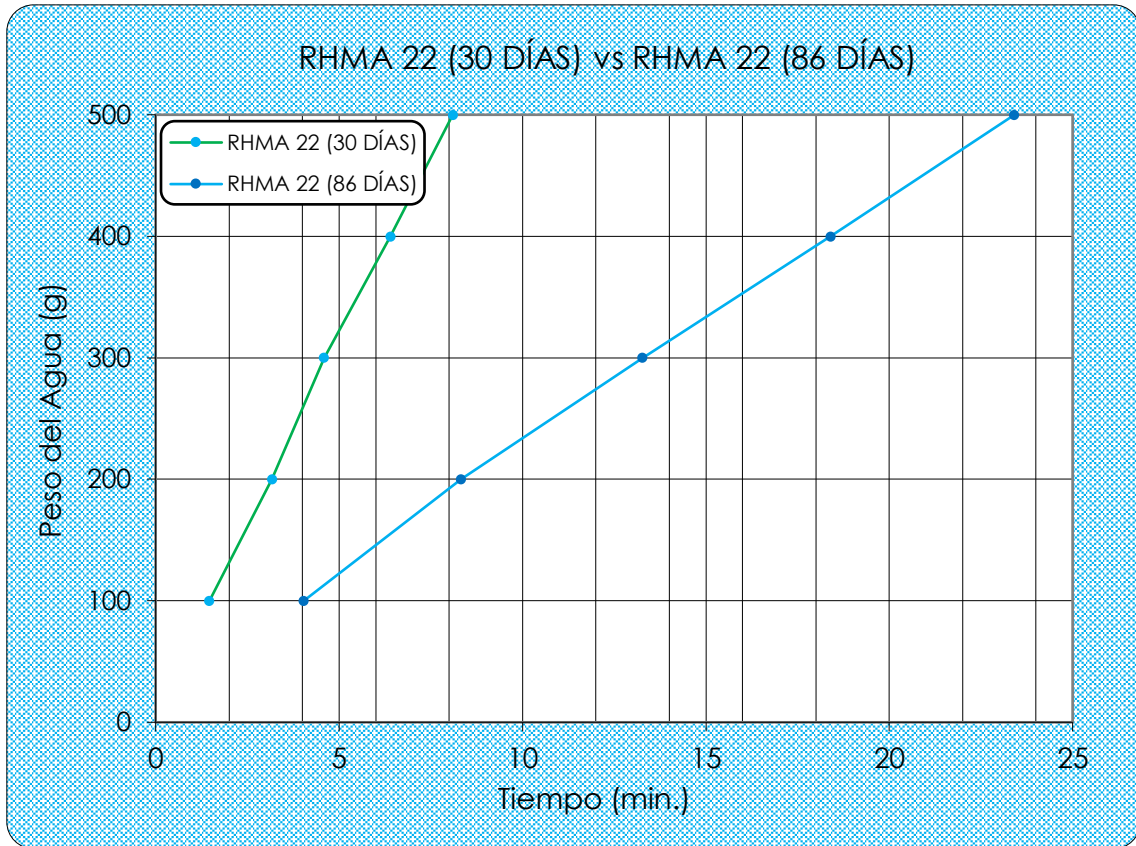


Figura 121. Prueba de permeabilidad de la muestra de concreto fisurado a los 30 días sin la aplicación de bacteria vs prueba de permeabilidad mediante la aplicación de bacteria a los 86 días.

Según Wiktor y Jonkers (2011):

Una posible aplicación de esporas bacterianas de miembros del género *Bacillus* ha sido recientemente propuesto, a saber, como agentes de concreto, el material de construcción actualmente más utilizado en todo el mundo, indicando que puede auto-curar el concreto con fisuras pequeñas.

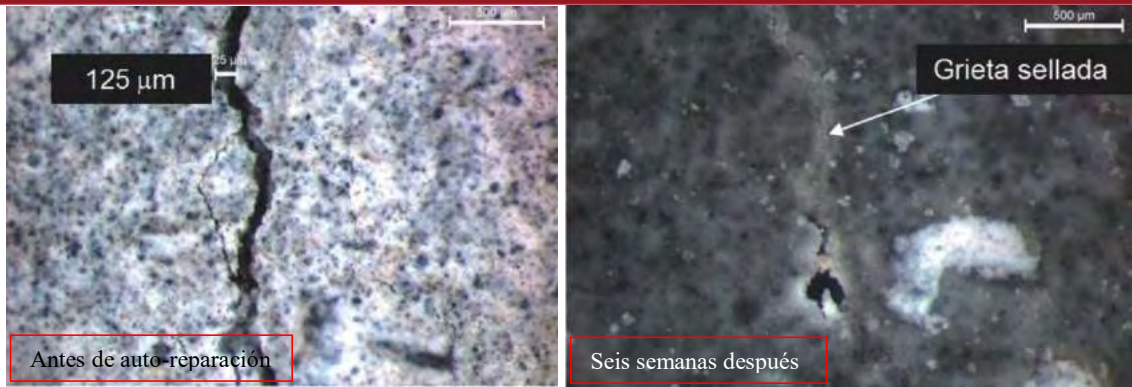


Figura 122. (a) Foto de microscopio de la fisura en una muestra de concreto antes de la autorreparación, (b) Foto de la misma fisura seis semanas después, la fisura está sellada por la precipitación de carbonato de calcio (Sierra y Jonkers, 2015).

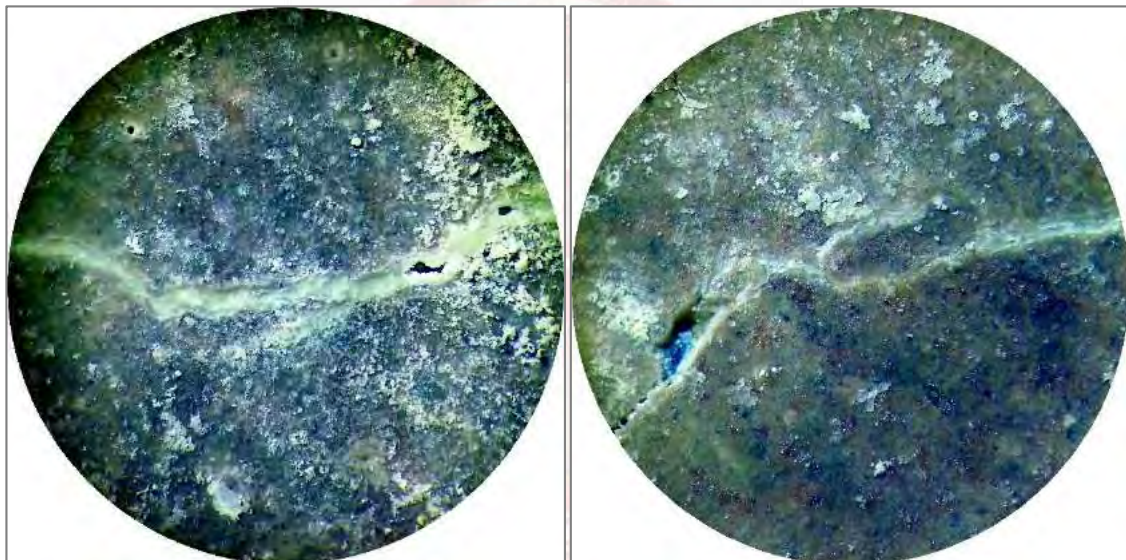


Figura 123. Observación a estereoscopio (32X) del sellado de fisuras (86 días) con la aplicación de bacterias (Renato H Mendoza N).

En la presentación del cuadragésimo simposio en Warwickshire - Inglaterra, Henk Jonkers, afirma que, las bacterias que se añaden a la mezcla de concreto son capaces de producir minerales a base de carbonato de calcio, un proceso que puede resultar en el sellado y endurecimiento de las fisuras.



Figura 124. Imágenes estereoscópicas microscópicas (40 veces de aumento) de la muestra pre-fisurada (A) y con bacteria (B) antes (izquierda) y después (derecha) de la curación por inmersión en agua durante un período de dos semanas. La precipitación mineral se produjo predominantemente cerca del borde de la fisura en el control, pero dentro de la fisura en muestras bacterianas (Jonkers, 2012).

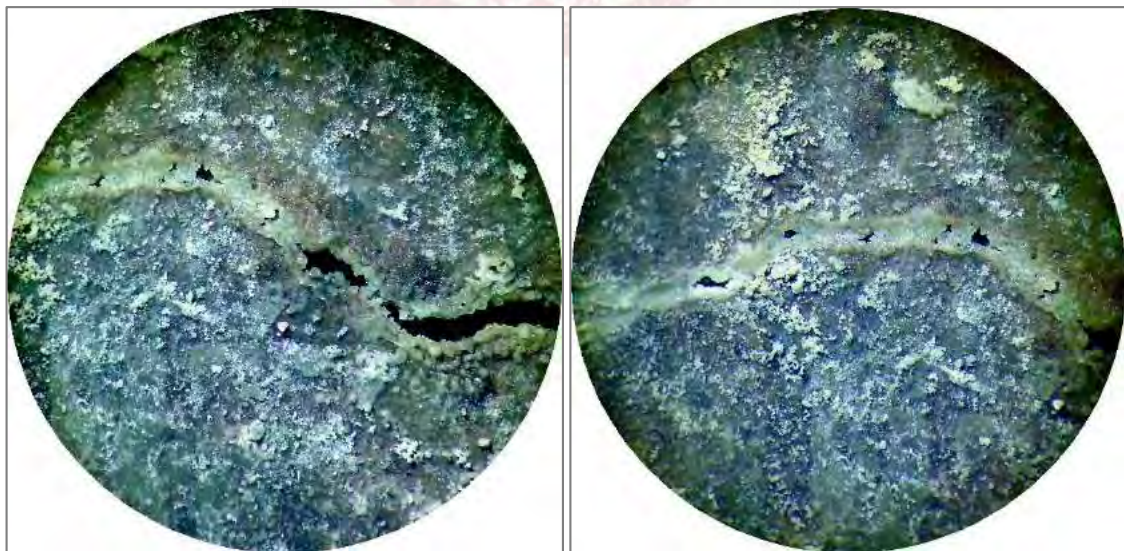


Figura 125. Sellado de fisuras (< 1.00mm de ancho) del concreto a base de bacterias a los 58 días (Renato H Mendoza N).

En la figura anterior, es preciso indicar que, esta auto-curación a base de bacterias, mediante la observación en estereoscopio tiene exclusivamente 28 días; sin embargo, se puso 58 días (30 días curado como concreto normal y 28 días aplicado con las bacterias).



Figura 126. Curación del concreto fisurado a base de bacterias metabolizadoras de lactato de calcio para convertirlos en carbonato de calcio (calcita) y cerrar de esta manera las fisuras producidas en las muestras.

Así mismo, Jonkers H. M., Thijssen, Muyzer, Copuroglu, y Schlangen (2010), seleccionaron bacterias formadoras de esporas resistentes a los álcalis relacionadas con el género *Bacillus*. Determinaron que las bacterias podrían ser agentes auto-reparadores de fisuras pequeñas. En las muestras, la aplicación potencial de esporas bacterianas como agente de autocuración pareció prometedora.

CONCLUSIONES

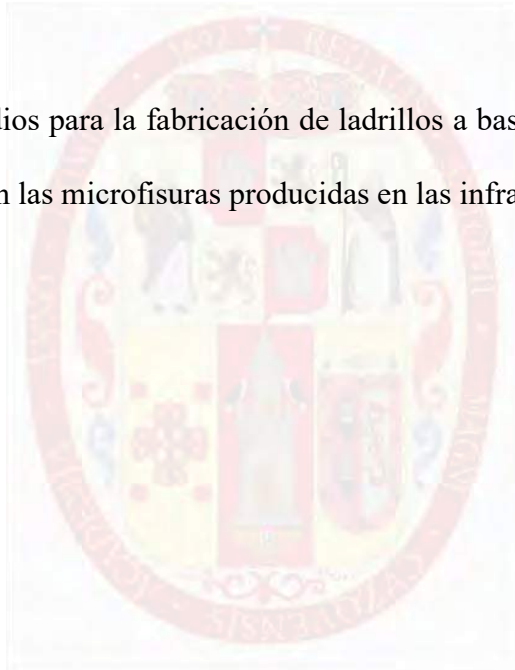
- La permeabilidad en las muestras de concreto fisurado sin la aplicación de bacterias fue mayor en comparación con la aplicación de bacterias; por consiguiente, las bacterias bioreparan las fisuras ($e \leq 1$ mm de ancho) mediante el proceso de precipitación de calcita en condiciones aeróbicas. De esta manera evitar el ingreso de sustancias nocivas al concreto aumentando la durabilidad para tener mayor vida útil de la infraestructura, aminorando el costo y el cuidado del ambiente.
- Se desarrolló un sistema de reparación a base biológica para reparar las fisuras del concreto ($e \leq 1$ mm de ancho) en la Región Cusco – Perú, mediante la preparación de solución bioreparadora (solución A + Solución B) y la aplicación de *Bacillus subtilis*. Este sistema de reparación es amigable con el ambiente, teniendo en cuenta la Política Nacional del Ambiente 2030 del Ministerio del Ambiente del Estado Peruano y la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.
- La permeabilidad (ml/s) de las muestras pre-fisuradas sin la aplicación de bacterias fue: RHMA1 (0.79), RHMA 2 (1.10), RHMA 3 (11.11), RHMA 4 (17.86), RHMA 5 (3.45), RHMA 6 (0.75), RHMA 7 (0.67), RHMA 8 (0.70), RHMA 9 (3.13), RHMA 10 (2.11), RHMA 11 (2.48), RHMA 12 (3.76), RHMA 13 (6.02), RHMA 14 (14.71), RHMA 15 (2.27), RHMA 16 (13.89), RHMA 17 (0.81), RHMA 18 (3.03), RHMA 19 (0.70), RHMA 20 (0.63), RHMA 21 (0.94), RHMA 22 (1.02), RHMA 23 (0.77), RHMA 24 (0.61), RHMA 25 (1.09), RHMA 26 (2.20), RHMA 27 (0.69), RHMA 28 (0.50), RHMA 29 (0.32), RHMA 30 (0.80), RHMA 31 (0.53), RHMA 32 (0.31); la permeabilidad con la aplicación de bacterias fue: RHMA 1 (0.35), RHMA 2 (0.39), RHMA 3 (4.31), RHMA 4

(12.50), RHMA 5 (1.96), RHMA 6 (0.53), RHMA 7 (0.56), RHMA 8 (0.54), RHMA 9 (1.40), RHMA 10 (0.73), RHMA 11 (1.18), RHMA 12 (1.87), RHMA 13 (1.37), RHMA 14 (8.77), RHMA 15 (1.48), RHMA 16 (8.62), RHMA 17 (0.38), RHMA 18 (1.82), RHMA 19 (0.31), RHMA 20 (0.35), RHMA 21 (0.44), RHMA 22 (0.35), RHMA 23 (0.36), RHMA 24 (0.42), RHMA 25 (0.54), RHMA 26 (1.29), RHMA 27 (0.43), RHMA 28 (0.35), RHMA 29 (0.11), RHMA 30 (0.35), RHMA 31 (0.25), RHMA 32 (0.11). Por ende, las fisuras aplicadas con bacterias pudieron recuperar la estanqueidad del agua.

- El tiempo de precipitación de los cristales de carbonato de calcio (calcita), mediante el metabolismo bacteriano fue a los 11 días (las primeras apariciones del CaCO_3). Así mismo, a los 28 días el precipitado de CaCO_3 fue más sólido que días anteriores y a los 86 días se observa un cierre total de fisuras y con mayor dureza de calcita, las mismas que se llevaron a análisis químico para corroborar, resultando del carbonato de calcio (calcita). Cabe precisar que, el sellado de fisuras se da en aquellas muestras que tuvieron menor o igual a 1 mm de ancho. El sellado de la fisura inducido por bacterias funciona de manera moderada y la estanqueidad a los líquidos mejora en la medida que la precipitación de Calcita se acumula.
- La autocuración a base de bacterias, es innovador y amigable con el ambiente. Debido a que, se adiciona bacterias, las mismas que auto-sellan las fisuras menores a 1 mm de ancho. Esta adición microbiana proporciona la base para una alternativa y la impermeabilización del concreto de alta calidad, que es rentable y ambientalmente seguro, y finalmente conduce a la mejora en la durabilidad de los materiales de construcción en estos tiempos donde la población se incrementa y la demanda de nuevas construcciones de infraestructuras se incrementa cada año.

RECOMENDACIONES

- Utilizar microscopio electrónico de barrido ambiental (ESEM) equipado con rayos X dispersivos de energía.
- Realizar pruebas piloto con la aplicación de bacteria en infraestructuras civiles como: irrigaciones, represas, edificios, vías (pavimento rígido).
- Elaborar bioconcreto como proyectos de investigación, seguidamente realizar pruebas piloto y de ser eficiente implementar una empresa productora de bioconcreto.
- Realizar estudios para la fabricación de ladrillos a base de bacterias, las mismas que auto-curen las microfisuras producidas en las infraestructuras.



BIBLIOGRAFÍA

- Abo-El-Enein, S. A., Ali, A. H., Talkhan, F. N., & Abdel-Gawwad, H. A. (2013). Application of microbial biocementation to improve the physico-mechanical properties of cement mortar. *HBRC Journal*, 9(1), 36-40.
- Achal, V., Mukherjee, A., & Reddy, M. S. (2010). Microbial Concrete: A way to enhance the Durability of Building Structures. *Journal of materials in civil engineering*, 23(6), 730-734.
- Achal, V., Mukherjee, A., Basu, P. C., & Reddy, M. S. (2009). *Lactose mother liquor as an alternative nutrient source for microbial concrete production by Sporosarcina pasteurii* (Vol. 36). *J. Ind: Microbiol. Biotechnol.*
- Achal, V., Pan, X., & Özyurt, N. (04 de 2011). Improved strength and durability of fly ash amended. *Ecological engineering*, 37(4), 554 - 559.
- Afifudin, H., Hamidah, M. S., Noor Hana, H., & Kartini, K. (2011). Microorganism Precipitation in Enhancing Concrete Properties. *Applied Mechanics and Materials*, 1157-1165. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.99-100.1157
- ASTM C-31. (2008). Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field. *ASTM INTERNATIONAL*, 8.
- Barth, H., Aktories, K., Popoff, M. R., & Stiles, B. G. (2004). Binary bacterial toxins: biochemistry, biology, and applications of common Clostridium and Bacillus proteins. *Microbiol Mol Biol Rev*, 68, 373-402.
- Barton, L., & Northup, D. (2011). *Microbial ecology*. Wiley- Blackwell.
- Basaran, Z. (08 de 2013). Biomineralization in cement based materials: inoculation of vegetative cells (Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy). *The University*

of Texas at Austin, 216. Obtenido de

<https://repositories.lib.utexas.edu/handle/2152/21141>

Bhaskar, S. (2016). *SELF-HEALING BACTERIAL CEMENTITIOUS CONCRETE COMPOSITES: DEVELOPMENT AND PERFORMANCE EVALUATION (Degree of Doctor of Philosophy in the Program of Civil Engineering)*. Toronto, Ontario, Canada: Ryerson University.

Buczynski, C., & Chafetz, H. (1993). *Habit of bacterially induced precipitation of calcium carbonate*. In Rezak R. and Lavoie D: Eds, Carbonate microfabrics. Springer, 105-116.

Casado, C., Torrico, G., & Medina, M. (05 de 09 de 2012). *Medios de cultivo en un laboratorio de microbiología*. Recuperado el 22 de 10 de 2016, de libroslaboratorio: <https://libroslaboratorio.files.wordpress.com/2012/09/medios-de-cultivo-en-un-laboratorio-de-microbiologc3ada.pdf>

Castanier, S., Le Métayer-Levrel, G., & Perthuisot, J. P. (1999). Carbonates precipitation and limestone genesis—the microbiologist point of view. *Sedimentary Geology*, 9-23.

Castanier, S., Le Metayer-Levrel, G., & Perthuisot, J. P. (2000). Bacterial roles in the precipitation of carbonate minerals. *Microbial Sediments*, 32-39.

Chahal, N., Siddique, R., & Rajor, A. (2012). Influence of bacteria on the compressive strength, water absorption and rapid chloride permeability of fly ash concrete. *Construction and Building Materials*, 28(1), 351-356.

Côrte, M. G. (2013). *Dissecting the function of the SpoIIIJ and YqjG membrane protein insertases during bacterial spore development (Ph.D degree in Biology)*. Lisboa, Portugal: Instituto de Tecnologia Química e Biológica - Universidade Nova de Lisboa. Obtenido de <http://run.unl.pt/handle/10362/11967>

- De Belie, N., & De Muynck, W. (2008). Crack repair in concrete using biodeposition. *Proceedings of the International conference on concrete repair, rehabilitation and retrofitting (ICCRRR)*, (págs. 291-292). Cape town, South Africa.
- De Belie, N., & De Muynck, W. (2008). Crack repair in concrete using biodeposition. *2nd International Conference on Concrete Repair, Rehabilitation, and Retrofitting (ICCRRR)* (págs. 291 - 292). Cape Town, South Africa: CRC Press/Balkema.
- De Muynck, W. (2009). *Microbial interactions with mineral building materials (Doctoral thesis)*. Magnel Laboratory for Concrete Research and Laboratory for Microbial Ecology and Technology: Gent University.
- De Muynck, W., Cox, K., De Belie, N., & Verstraete, W. (2008). Bacterial carbonate precipitation as an alternative surface treatment for concrete. *Constr Build Mater*, 875 -885.
- De Muynck, W., De Belie, N., & Verstraete, W. (2010). Microbial carbonate precipitation in construction materials: A review. *Ecological Engineering*, 36(2), 118-136. doi:10.1016/j.ecoleng.2009.02.006
- De Yoreo, J. J., & Vekilov, P. G. (2003). Principles of crystal nucleation and growth. *Mineralogy and Geochemistry*, 57 - 93.
- DeJong, J. T., Mortensen, B. M., Martinez, B. C., & Nelson, D. C. (2008). Bio-mediated Soil Improvement. *Ecological Engineering*, 36, 197-210.
- Dhami, N. K., Reddy, S. M., & Mukherjee, A. (2012). *Biofilm and microbial applications in biomineralized concrete*. InTech.
- Dick, J., Windt, W., Graef, B., Saveyn, H., Meeren, P., De Belie, N., & Verstraete, W. (2006). Bio-deposition of a calcium carbonate layer on degraded limestone by *Bacillus* species. *Biodegradation*, 17(4), 357–367.

- Donato, V., Rodríguez, F., Cogliati, S., Bauman, C., Costa, J., Leñini, C., & Grau, R. (2017). *Bacillus subtilis* biofilm extends *Caenorhabditis elegans* longevity through downregulation of the insulin-like signalling pathway. *nature COMMUNICATIONS*, 1-15.
- Edvardsen, C. (1999). Water permeability and autogenous healing of cracks in concrete. *ACI Material Journal*, 96(4), 448-454.
- Ehrlich, H. L. (1998). Geomicrobiology: Its significance for geology. *Earth-Science Reviews*, 45, 45 - 60.
- Ehsan, B. (2015). *Crack Healing in Concrete Using Various Bio Influenced Self-healing Techniques (Thesis of Master)*. Islamabad, Pakistan: National University of Sciences and Technology (NUST) Islamabad, Pakistan.
- Gallo, W. (2006). *INSPECCIONES TÉCNICAS DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL EN EDIFICACIONES DE CONCRETO ARMADO*. Piura: Universidad de Piura.
- Ghosh,, P., Mandal, S., Chattopadhyay,, B. D., & Pal, S. (2005). Use of microorganism to improve the strength of cement mortar. *Cement and Concrete Research*, 35(10), 1980 - 1983. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2005.03.005>
- Gollapudi, U. K., Knutson, C. L., Bang, S. S., & Islam, M. R. (1995). A new method for controlling leaching through permeable channels. *Chemosphere*, 30(4), 695-705.
- Gonsalves, G. M. (2011). *Bioconcrete-a sustainable substitute for concrete ? (Thesis of Master)*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/13629>
- González, J. (14 de 01 de 2007). *Crecimiento microbiano*. Recuperado el 24 de 08 de 2016, de Microbiología General - Microbiología Molecular - Genética Molecular: http://www.gonzalezcabeza.com/documentos/CRECIMIENTO_MICROBIANO.pdf

- González, M., Ben, K., Ben, A., Arias, M., & Rodriguez, M. (2000). Bacterially induced Mg-Calcite formation: Role of Mg²⁺ in development of crystal morphology. *Journal of Sedimentary Research*, 559-564.
- Grant, H. &. (1993). *Causas, Evaluacion y reparacion de fisuras en estructuras de Hormigon*. ACI 224.1R-93.
- Halvorsen, G., & Poston, R. (1993). Causas, Evaluación y Reparación de Fisuras en Estructuras de Hormigón. *ACI 224. 1R-93*, 1-24.
- Hammes, F., & Verstraete, K. (2002). Key roles of pH and calcium metabolism in microbial carbonate precipitation. *Environmental Science and Biotechnology*, 1, 3 - 7.
- Harshali, J., Mitali, S., Neha, A., & Pragati, B. (2016). BIO CONCRETE AND BACTERIA BASED SELF HEALING CONCRETE. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 5, 95-99.
- Hazelwood, T. (2015). *Investigation of a novel self-healing cementitious composite material system (Ph. D Thesis)*. Cardiff University. Obtenido de <http://orca.cf.ac.uk/id/eprint/76766>
- Heide, N. t. (30 de 2005). *Crack healing in hydrating concrete (MSc - Thesis)*. Delft , The Netherlands: Delft University of Technology.
- Hernández, R. (2014). *Metodología de la investigación*. México: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Hirozo, M., Yoshio , K., Tomoya , N., & Koji , O. (2000). Fundamental Study on Development of Intelligent Concrete Characterized by Self-Healing Capability for Strenght. *Concrete Research and Tecnology*, 11(2), 21 -28.
- Hua, X. (2010). *Self-healing of Engineered Cementitious Composites (ECC) in Concrete Repair System (M.Sc thesis)*. Netherlands: Delft University of Technology.

- Huang, H., & Ye, G. (2014). A review on self-healing in reinforced concrete structures in view of serving conditions. *3rd International Conference on Service Life Design for Infrastructure* (págs. 375–388). Delft, Netherlands: Delft University of Technology.
- Jonkers, H. (2012). Development and application of bacteria-based self-healing materials. *40th ICT Convention/Symposium, Bosworth Hall Hotel, Warwickshire, 22nd March 2012*, 1 - 8.
- Jonkers, H. M. (2007). Self healing concrete: a biological approach. (I. S. Materials, Ed.) *a biological approach*, 195 - 204.
- Jonkers, H. M., Thijssen, A., Muyzer, G., Copuroglu, O., & Schlangen, E. (2008). Application of bacteria as self-healing agent for the development of sustainable concrete. *The 1st international conference on biogeocivil engineering*. Delft, The Netherlands.
- Jonkers, H. M., Thijssen, A., Muyzer, G., Copuroglu, O., & Schlangen, E. (02 de 2010). Application of bacteria as self-healing agent for the development of sustainable concrete. *Ecological Engineering*, 36(2), 230-235. doi:10.1016/j.ecoleng.2008.12.036
- Jonkers, H., & Schlangen, E. (2008). Development of a bacteria-based self healing concrete. *Tailor Made Concrete Structures: New Solutions for our Society*, 425 - 430.
- Kashyap, V. N., & Radhakrishna. (2013). A study of bacteria on cement composites. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 356-360.
- Khaliq, W., & Ehsan, M. (01 de 2016). Crack healing in concrete using various bio influenced self-healing techniques. *Construction and Building Materials*, 349-357. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.11.006

- Koustubh, J., Madhav, K., & Vishal, G. (2016). Study of Self Healing Mechanism and its Impact on Bacillus Bacteria Impregnated Concrete. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 3, 2046-2053.
- Krishnapriya, S., Venkatesh Babu, D. L., & G, P. A. (2015). Isolation and identification of bacteria to improve the strength of concrete. *Microbiological Research*, 174, 48-55. doi:10.1016/j.micres.2015.03.009
- Maheswaran, S., Dasuru, S. S., Bhuvaneshwari, B., Kumar, V. R., Palani, G. S., Iyer, N. R., . . . Sandhya, S. (2014). Strength improvement studies using new type wild strain Bacillus cereus on cement mortar. *Current Science*, 106(1), 50.
- Maheswaran, S., Dasuru, S. S., Murthy, A. R., Bhuvaneshwari, B., Kumar, V. R., Palani, G. S., . . . Sandhya, S. (2014). Strength improvement studies using new type wild strain Bacillus cereus on cement mortar. *Current Science*, 106(1), 1 - 10.
- Mastromei, G., Marvasi, M., & Perito, B. (2008). Studies on bacterial carbonate precipitation for stone conservation. *BioGeocivil Engineering Conference*, (págs. 104–106). Delft, Netherlands.
- Mendoza Nina, R., & Sánchez Quijano, J. (2017). *ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO UTILIZANDO BACTERIAS DEL GÉNERO BACILLUS Y BIOPOLÍMEROS COMO BIOREPARADOR, CUSCO-2016*. Cusco, CUSCO, PERÚ: UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO. Obtenido de <http://repositorio.uandina.edu.pe/handle/UAC/1163>
- Merino, L. (08 de 02 de 2010). *Fisiología bacteriana*. Recuperado el 15 de 09 de 2016, de Microbiología:
<http://www.vet.unicen.edu.ar/ActividadesCurriculares/Microbiologia/images/Documentos/2016/Fisiolog%C3%ADa%20Bacteriana-METABOLISMO%20para%20c%C3%A1tedra.pdf>

- Mobley, H. L., & Hausinger, R. P. (1989). Microbial Ureases: Significance, regulation and molecular characterization. *Microbiological Review*, 53(1), 85-108.
- Mohanasundharam, C., Jeevakkumar, R., & Shankar, K. (2014). An Experimental Study on Performance of Bacteria in Concrete. *International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology*, 2, 1-5.
- Mors, R., & Jonkers, H. (s.f). Reduction of water permeation through cracks in mortar by addition of bacteria based healing agent. *Materials & Environment section*, 1-4.
- Navneet, C., Rafat, S., & Anita, R. (2012). Influence of bacteria on the compressive strength, water absorption and rapid chloride permeability of fly ash concrete. *Construction and Building Materials*, 28(1), 351–356.
- Nicholson, W. L., Munakata, N., Horneck, G., Melosh, H. J., & Setlow, P. (09 de 2000). Resistance of Bacillus Endospores to Extreme Terrestrial and Extraterrestrial Environments Resistance of Bacillus Endospores to Extreme Terrestrial and Extraterrestrial Environments. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 64(3), 548-572. Obtenido de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC99004/>
- ParvezAlam, A., Anwar, K., & MakandarImtiyazMehboob. (2016). *Bacterial concrete-A remedy for micro cracks (Thesis of Bachelor of Engineering)*. New Panvel, Navi Mumbai: University of Mumbai.
- Pedrique, M., Gutiérrez, S., Saravia, K., & Garcés, A. (2008). *CULTIVO DE LOS MICROORGANISMOS*. Obtenido de http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_farmacia/catedraMicro/08_Tema_5_Cultivo.pdf
- Pei, R., Liu, J., Wang, S., & Yang, M. (2013). Use of bacterial cell walls to improve the mechanical performance of concrete. *Cement and Concrete Composites*, 122-130.

- Piggot, P. J., & Coote, J. G. (12 de 1976). Genetic aspects of bacterial endospore formation. *Bacteriological reviews*, 40(4), 908-962. Obtenido de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC413989/>
- Piggot, P. J., & Hilbert, D. W. (2004). Sporulation of *Bacillus subtilis*. *Curr Opin Microbiol*, 7, 579-586.
- Qian, C., Chen, H., Ren, L., & Luo, M. (2015). Self-healing of early age cracks in cement-based materials by mineralization of carbonic anhydrase microorganism. *Frontiers in Microbiology*, 6, 1-9.
- Qian, S., Zhou, J., de Rooij, M. R., Schlangen, E., Ye, G., & van Breugel, K. (2009). Self-healing behavior of strain hardening cementitious composites incorporating local waste materials. *Cement and Concrete Composites*, 31, 613-621.
- Ramachandran, S. K., Ramakrishnan, V., & Bang, S. S. (2001). Remediation of concrete using microorganisms. *ACI Materials journal*, 98(1), 3-9.
- Ravindranatha, Kannan, N., & Likhith, M. L. (2014). Self-healing material bacterial concrete. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 656-659.
- Rivadeneira, M., Delgado, R., Del Moral, A., Ferrer, M., & Ramos, C. (1994). Precipitation of calcium carbonate by *Vibrio* spp. from an inland saltern. *FEMS Microbiol Ecol*, 13: 197-204.
- Rojas, A. (2011). *Conceptos y práctica de microbiología general*. Palmira - Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Sánchez, S., Canaveras, J. C., Laiz, L., Saiz, C., Bedoya, J., & Luque, L. (2003). Biomediated precipitation of calcium carbonate metastable phases in hypogean environments. *A short review, Geomicrobiology Journal*, 20(5), 491-500.

- Sangadji, S. (2015). *Porous Network Concrete a bio-inspired building component to make concrete structures self-healing*. Delft: Technische Universiteit Delft.
- Sangadji, S., & Schlangen, E. (2012). Self Healing of Concrete Structures - Novel Approach Using Porous Network Concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 10(5), 185-194. doi:10.3151/jact.10.185
- Sangadji, S., & Schlangen, E. (2012). Self Healing of Concrete Structures - Novel Approach Using Porous Network Concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 185-194.
- Sangadji, S., Wiktor, V. A., Jonkers, H. M., & Schlangen, E. (2013). Injecting a liquid bacteria-based repair system to make porous network concrete healed. *ICSHM 2013: Proceedings of the 4th International Conference on Self-Healing Materials, Ghent, Belgium, June 16-20, 2013* (págs. 118 - 122). Delft, the Netherland: Ghent University; Delft University of Technology.
- Sarda, D., Choonia, H. S., Sarode, D. D., & Lele, S. S. (2009). Biocalcification by *Bacillus pasteurii* urease: a novel application. *J Ind Microbiol Biotechnol*, 111–1115.
- Sathyan, A. K. (2015). *Study on Mechanical Properties of Cement Mortar by the Addition of Ureolytic Bacteria (Tesis)*. ROURKELA, ORISSA - INDIA: NATIONAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY, ROURKELA.
- Schlangen, E. (2007). Fracture Mechanics, CT5146 Lecture Notes. *Delft University of Technology*.
- Schlangen, E., & Joseph, C. (2009). Self-Healing Processes in Concrete. *Self-healing materials: Fundamentals, design strategies, and applications*, 141-182.
- Schlangen, E., & Sangadji, S. (2013). Addressing Infrastructure Durability and Sustainability by Self Healing Mechanisms - Recent Advances in Self Healing

Concrete and Asphalt. *Procedia Engineering*, 54, 39-57.

doi:10.1016/j.proeng.2013.03.005

Schlangen, E., Jonkers, H., Qian, S., & Garcia, A. (2010). Recent advances on self healing of concrete. *Proceedings FRAMCOS7*, 8.

Seifan, M., Khajeh, A., & Berenjian, A. (2016). Bioconcrete: next generation of self-healing concrete. *Springer - Appl Microbiol Biotechnol*, 100, 2591–2602.

Seshagiri, M. M., Ch Sasikala, V., & Srinivasa, A. (2012). Biological Approach To Enhance Strength And Durability In Concrete Structures. *International Journal of Advances in Engineering and Technology (IJAET)*, 4(2), 392-399.

Seshagiri, M. V., Srinivasa, V., Hafsa, M., Veena, P., & Anusha, P. (2013). Bioengineered Concrete - A Sustainable Self-Healing Construction Material. *Research Journal of Engineering Sciences*, 2(6), 45 - 51.

Sierra, G., & Jonkers, H. (2015). Crack self-healing technology based on bacteria. *Journal of Ceramic Processing Research.*, 16, 33 - 39.

Sierra-Beltran, M. G., & Jonkers, H. M. (2012). Bio-based mortar for concrete repair. *Proceedings of 14th int. conf. structural faults and repair* (págs. 1-8). Delft University of Technology. Obtenido de <http://repository.tudelft.nl/assets/uuid:964e4b8b-c8a0-483e-98e8-8ae3051bc035/2899602.pdf>

Solano, C. (2005). *Manual practicas microbiología de alimentos*. Obtenido de Grupo de Investigación de Genética y Microbiología: <http://www.unavarra.es/genmic/micalm/manual%20practicas%20micalimentos.pdf>

Soundharya, S., & Nirmalkumar, K. (2014). Strength Improvement Studies on Self-Healing Characteristics of Bacterial Concrete (Review Paper). *Int. J. Eng. Sci.*

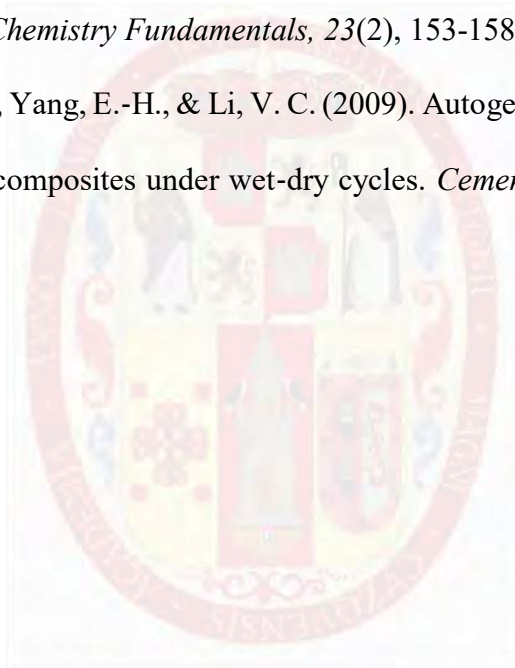
- Invent. Res. Dev., 1, 162–167. Obtenido de*
http://www.academia.edu/download/35759230/october_paper_4.pdf
- Soundharya, S., & Nirmalkumar, K. (2014). Study on the Effect of Calcite-Precipitating Bacteria on Self-Healing Mechanism of Concrete (Review Paper). *International Journal Of Engineering Research & Management Technology, 1*, 202-208.
- Sui, Y. (2014). *MECHANICAL BEHAVIOR OF FRP-CONFINED SELF-HEALING CONCRETE*. Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College.
- Sujatha, S., Sarayu, K., Annaselvi, M., Kumar, R., & Iyer, N. R. (2014). Soil bacteria for the strength enhancement of cement mortar. *Journal of Civil Engineering Research, 4(2A)*, 51–54. Obtenido de <http://article.sapub.org/10.5923.c.jce.201401.10.html>
- Tai, C. Y., & Chen, F. B. (1998). Polymorphism of CaCO₃, precipitated in a constant-composition environment. *AIChE Journal, 44(8)*, 1790-1798.
- Talaiekhazan, A., Keyvanfar, A., Shafaghat, A., Andalib, R., Majid, M., Fulazzaky, M., . . . others. (2014). A review of self-healing concrete research development. *Journal of Environmental Treatment Techniques, 2(1)*, 1–11.
- Tebo , B., Johnson, H., McCarthy, J., & Templeton, A. (2005). Geomicrobiology of manganese(II) oxidation. *Trends Microbiol, 13*:421–428.
- Tobergte, D. R., & Curtis, S. (2013). *Cell counting and serial dilutions* (Vol. 53). J. Chem. Inf: Model.
- Tziviloglou, E., Jonkers, H. M., & Schlangen, E. (2014). Bacteria-based self-healing concrete to increase durability of structures. *AMS 2014: 1st International Conference on Ageing of Materials and Structures, Delft, The Netherlands, 26-28 May 2014* (pág. s.p.). Delft - The Netherlands: DCMat Ageing Centre.

- Tziviloglou, E., Pan, Z., Jonkers, H., & Schlangen, E. (2017). Bio-based Self-healing Mortar: An Experimental and Numerical Study. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 536-543.
- Tziviloglou, E., Wiktor,, V., Jonkers, H., & Schlangen, E. (2016). Bacteria-based self-healing concrete to increase liquid tightness of cracks. *Construction and Building Materials*, 118–125.
- UNC. (04 de 07 de 2014). *TAXONOMÍA Y CRECIMIENTO BACTERIANO*. Recuperado el 05 de 09 de 2016, de Microbiología Agrícola: <http://agro.unc.edu.ar/~microbiologia/wp-content/uploads/2014/04/unidad-3-taxonomia-y-crecimiento-bacteriano.pdf>
- Van Breugel, K. (2007). Is there a market for self-healing cement-based materials. *Proceedings of the first international conference on self-healing materials* (págs. 1–9). Delft, The Netherlands: Delft University of Technology. Obtenido de <http://extras.springer.com/2007/978-1-4020-6249-0/documents/82.pdf>
- van der Zwaag, S. (2007). Self healing materials: an alternative approach to 20 centuries of material science.
- Van Paassen, L. A. (2009). *BiogROUT- Ground Improvement by Microbially Induced Carbonate Precipitation (Ph. D. thesis)*. Delft, The Netherlands: Delft University of Technology.
- van Tittelboom, K. (2012). *Self-healing concrete through incorporation of encapsulated bacteria - or polymer-based healing agents*. Ghent: Ghent University.
- Van Tittelboom, K., De Belie, N., De Muynck, W., & Verstraete, W. (2010). Use of bacteria to repair cracks in concrete. *Cement and Concrete Research*, 40(1), 157-166. doi:10.1016/j.cemconres.2009.08.025

- Vekariya, M. S., & Pitroda, J. (2013). Bacterial concrete: new era for construction industry. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 4, 4128–4137.
- Vélez, L. (2010). Permeabilidad y Porosidad en Concreto. *Revista Tecno Lógicas*, 169 - 187.
- Vempada, S., Reddy, S., Rao, M., & Sasikala, C. (2011). Strength enhancement of cement mortar using microorganisms-an experimental study. *Int J Earth Sci Eng*, 933–936.
- Wang, J. Y., Snoeck, D., Van Vlierberghe, S., Verstraete, W., & De Belie, N. (10 de 2014). Application of hydrogel encapsulated carbonate precipitating bacteria for approaching a realistic self-healing in concrete. *Construction and Building Materials*, 68, 110-119. doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.06.018
- Wang, J., Van Tittelboom, K., De Belie, N., & Verstraete, W. (2012). Use of silica gel or polyurethane immobilized bacteria for self-healing concrete. *Construction and Building Materials*, 26(1), 532-540. doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.06.054
- Wehbe, Y. (02 de 08 de 2016). *Bio-Inspired Self-Healing Infrastructure Materials (Thesis for the degree of Master of Science)*. Obtenido de University of Miami, Scholarly Repository: http://scholarlyrepository.miami.edu/oa_theses/619
- Whiffin, V. S. (2004). *Microbial CaCO₃ precipitation for the Production of Biocement (Ph.D. thesis)*. Perth, Western Australia, Murdoch University: Murdoch University. Obtenido de <http://researchrepository.murdoch.edu.au/id/eprint/399/>
- Whiffin, V. S., van Paassen, L. A., & Harkes, M. P. (14 de 08 de 2007). Microbial Carbonate Precipitation as a Soil Improvement Technique. *Geomicrobiology Journal*, 24(5), 417 - 423. doi:10.1080/01490450701436505

- Wiktor, V., & Jonkers, H. (2011). Quantification of crack-healing in novel bacteria-based self-healing concrete. *Cement and Concrete Composites*, 33(7), 763-770. doi:10.1016/j.cemconcomp.2011.03.012
- Wiktor, V., & Jonkers, H. M. (2012). Application of bacteria-based repair system to damaged concrete structures. *Proceedings of the 2nd International Workshop on Structural Life Management of Underground Structures, Daejeon* (págs. 31–34). Daejeon, South Korea: Citeseer. Obtenido de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.464.9329&rep=rep1&type=pdf>
- Wiktor, V., & Jonkers, H. M. (2014). Protection of aged concrete structures: application of bio-based impregnation system. *1st International Conference on Ageing of Materials & Structures* (pág. 295). Delft, The Netherlands: Delft University of Technology. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Eduardus_Koenders/publication/272789747_Full_Proceedings_Ageing_of_Materials_Structures_1st_International_Conference_2014_Delft_The_Netherlands/links/54ee2e4b0cf2e55866f231e2.pdf#page=319
- Wiktor, V., & Jonkers, H. M. (2015). *Assessment of the functionality of bacteria-based repair system for concrete through ESEM analysis*. Delft, The Netherlands: Delft University of Technology. Obtenido de http://repository.tudelft.nl/assets/uuid:56daf2b5-05c9-46f9-9d83-d97333142385/Jonkers_2015.pdf
- Wiktor, V., & Jonkers, H. M. (2015). Field performance of bacteria-based repair system: Pilot study in a parking garage. *Case Studies in Construction Materials*, 2, 11 - 17. doi:10.1016/j.cscm.2014.12.004

- Wu, M., Johannesson, B., & Geiker, M. (2012). A review: Self-healing in cementitious materials and engineered cementitious composite as a self-healing material. *Construction and Building Materials*, 571–583.
- Xu, J., Du, Y., Jiang, Z., & She, A. (02 de 12 de 2015). Effects of Calcium Source on Biochemical Properties of Microbial CaCO₃ Precipitation. *Frontiers in Microbiology*, 6, 7. doi:10.3389/fmicb.2015.01366
- Yagi, H., Iwazawa, A., Sonobe, R., Mateubara, T., & Kikita, H. (1984). Crystalization of calcium carbonate accompanying chemical absorption. *Industrial and Engineering Chemistry Fundamentals*, 23(2), 153-158.
- Yang, Y., Lepech, M., Yang, E.-H., & Li, V. C. (2009). Autogenous healing of engineered cementitious composites under wet-dry cycles. *Cement and Concrete Research*, 39, 382-390.





ANEXOS

TESIS
UNSAAC
MAYO 2022



TESIS:
**" ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL AGUA EN EL CONCRETO MEDIANTE
LA APLICACIÓN DE BACTERIAS (BIOCONCRETO), CUSCO - 2018".**

**MATRIZ DE
CONSISTENCIA**

ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL AGUA EN EL CONCRETO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS (BIOCONCRETO), CUSCO - 2018

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES		INSTRUMENTOS	FUENTE
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	INDEPENDIENTES			
¿De que manera influye la aplicación de bacteria <i>Bacillus subtilis</i> en la permeabilidad del concreto auto-curable fisurado, Cusco - 2018?	Analizar la permeabilidad del concreto fisurado mediante la aplicación de bacteria <i>Bacillus subtilis</i> .	La aplicación de bacterias <i>Bacillus subtilis</i> disminuye la permeabilidad del concreto fisurado.	Bacteria <i>Bacillus subtilis</i>	Precipitación de carbonato de calcio (calcita)	Guías de laboratorio (microbiología)	Revistas científicas indexadas
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICO	DEPENDIENTES	DE VAR. DEPEND.		
PE ₁ ¿Cuál es el sistema de reparación a base biológica del concreto fisurado con características de impermeabilidad al agua?	OE ₁ Desarrollar un sistema de reparación a base biológica del concreto que presente características de impermeabilidad al agua.	SH ₁ El sistema de reparación a base biológica del concreto presenta características de impermeabilidad al agua.	Permeabilidad	Mililitros por segundo (ml/s)	Guías para recopilación de datos	Bibliotecas especializadas en microbiología e ingeniería
PE ₂ ¿Cuál es la permeabilidad del concreto fisurado ($e \leq 1.0$ mm) mediante la aplicación de bacterias bioprecipitadoras a los 0, 28 y 56 días?	OE ₂ Determinar la permeabilidad del concreto fisurado ($e \leq 1.0$ mm) mediante la aplicación de bacterias reparadoras a los 0, 28 y 56 días.	SH ₂ La permeabilidad del concreto fisurado ($e \leq 1.0$ mm) mediante la aplicación de bacterias reparadoras a los 58 y 86 días se reduce en relación al tiempo.			Formatos de evaluación de permeabilidad	Libros Paper
PE ₃ ¿Cuál es el tiempo de precipitación de carbonato de calcio (sellado) inducida por bacteria <i>Bacillus subtilis</i> dentro de la fisura del concreto?	OE ₃ Determinar el tiempo de la precipitación de carbonato de calcio inducida por bacteria <i>Bacillus subtilis</i> dentro de la fisura.	SH ₃ El tiempo de la precipitación de carbonato de calcio inducida por bacteria <i>Bacillus subtilis</i> dentro de la fisura después de la aplicación es 28 y 56 días.			Guías de observación de laboratorio	Publicaciones Científicas
PE ₄ ¿Cuál es la eficiencia del sistema de reparación a base de bacterias en la estanqueidad al líquido en muestras de concreto fisurado?	OE ₄ Recuperar la estanqueidad al líquido en muestras de concreto fisurado a base de bacterias.	SH ₄ La estanqueidad al líquido en muestras de concreto fisurado a base de bacterias es eficiente.			Fichas técnicas	Artículos Científicos

TESIS
UNSAAC
MAYO 2022



TESIS:
**" ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL AGUA EN EL CONCRETO MEDIANTE
LA APLICACIÓN DE BACTERIAS (BIOCONCRETO), CUSCO - 2018".**

CERTIFICACIÓN

CERTIFICACIÓN

El jefe de prácticas de Laboratorio de Suelos, Materiales, Concreto y Asfalto, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, de la Universidad Andina del Cusco, de acuerdo a los ensayos realizados de los materiales Agregado Grueso de Vicho y Agregado Fino de Cunyac, del trabajo de investigación intitulado "**ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL AGUA EN EL CONCRETO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS (BIOCONCRETO), CUSCO – 2018**", solicitados en su oportunidad por el Bach. Renato Héctor Mendoza Nina, se constató que este cumplió con las normas exigidas: NTP 400.012, N.T.P. 400.037 (2014), NTP 400.07, ASTM D-422, ASTM C-33, MTCE 107-2000, J.E.BOWLES; MTC E 107-2000, NTP 400.012, NTP 400.037, ASTM D-422, ASTM C-33; ASTM D-2216, MTC E 108-2000; ASTM C-128, NTP 400.022, N.T.P. 400.021 (2013), MTC E 205-2000; N.T.P. 400.017 (1999), ASTM D-2216, MTC E 108-2000; apruebo y certifico para los fines pertinentes.



Jefe de Laboratorio
ING. ADAN RENZO AGUILAR HILARI
DNI: 48226102

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS**

CERTIFICACIÓN

La que suscribe, docente del Departamento Académico de Química, Laboratorio de Área Química Analítica - UNSAAC, certifica que el Bachiller en Ciencias Biológicas: Renato Héctor Mendoza Nina, código 173031 de la Maestría en Ingeniería Civil Mención Recursos Hídricos y Medio Ambiente-UNSAAC. Ha realizado la determinación del análisis de carbonatos en muestras de concreto (fisuras) las mismas que al ser analizadas en el laboratorio **dieron positivo a la prueba realizada y corresponden a carbonato de calcio (caliza).**

Lo que certifica para los fines concernientes al caso.

Cusco, 25 de junio del 2019



.....
Mgt. Luz Jacqueline Aragón Alencastre
Prof. Dpto. Académico de Química

**TESIS
UNSAAC
MAYO 2022**



TESIS:
**" ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL AGUA EN EL CONCRETO MEDIANTE
LA APLICACIÓN DE BACTERIAS (BIOCONCRETO), CUSCO - 2018".**

**DATOS PRUEBA DE
PERMEABILIDAD**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL**

RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE



DATOS DE PRISMAS PARA PRUEBA DE PERMEABILIDAD

TESIS: "ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL AGUA EN EL CONCRETO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS (BIOCONCRETO), CUSCO - 2018".

REALIZADO POR	: Renato Héctor Mendoza Nina
PRUEBA	: Permeabilidad en fisuras de concreto sin la aplicación de bacterias Bio-precipitadoras de carbonato de calcio (CaCO_3).
LUGAR	: Laboratorio de suelos, materiales, concreto y asfalto

Self Healing: autocuración del concreto (curado del concreto)

TOMA DE DATOS DE PRISMAS PARA EL ENSAYO DE PERMEABILIDAD										
Self Healing	Prisma de Concreto Código	Longitud			Ancho			Peralte		
		Longitud L ₁ (cm)	Longitud L ₂ (cm)	Promedio L (cm)	Ancho A ₁ (cm)	Ancho A ₂ (cm)	Promedio A (cm)	Peralte B ₁ (cm)	Peralte B ₂ (cm)	Promedio B (cm)
		29 días	RHMA 1	34.00	34.10	34.05	9.86	9.80	9.83	9.90
RHMA 2	34.10		34.15	34.13	10.01	10.00	10.01	10.30	10.10	10.20
RHMA 3	34.30		34.25	34.28	10.20	10.18	10.19	9.80	9.90	9.85
RHMA 4	33.90		34.00	33.95	10.09	10.08	10.09	10.20	10.20	10.20
RHMA 5	34.00		34.00	34.00	10.06	10.00	10.03	10.20	10.00	10.10
RHMA 6	34.10		34.00	34.05	10.32	10.20	10.26	10.00	10.20	10.10
RHMA 7	34.20		34.00	34.10	10.10	10.20	10.15	10.00	9.70	9.85
RHMA 8	33.90		33.90	33.90	9.89	10.01	9.95	9.80	10.00	9.90
29 días	RHMA 9	34.10	34.00	34.05	10.04	10.09	10.07	10.30	9.70	10.00
	RHMA 10	34.10	34.05	34.08	10.09	10.12	10.11	9.70	10.00	9.85
	RHMA 11	34.20	34.30	34.25	9.94	10.03	9.99	9.95	10.00	9.98
	RHMA 12	34.40	34.20	34.30	10.14	10.07	10.11	9.14	9.56	9.35
	RHMA 13	34.00	34.10	34.05	9.95	10.01	9.98	10.12	9.50	9.81
	RHMA 14	34.20	34.20	34.20	10.12	10.01	10.07	10.10	10.08	10.09
	RHMA 15	34.10	34.15	34.13	10.23	10.13	10.18	10.03	10.00	10.02
	RHMA 16	34.20	34.25	34.23	10.21	10.05	10.13	10.14	10.15	10.15
29 días	RHMA 17	34.20	34.10	34.15	10.05	9.97	10.01	9.60	9.80	9.70
	RHMA 18	34.10	34.15	34.13	10.20	10.15	10.18	10.00	9.90	9.95
	RHMA 19	34.40	34.25	34.33	10.06	10.05	10.06	9.80	9.75	9.78
	RHMA 20	34.15	34.20	34.18	10.14	10.28	10.21	10.00	9.60	9.80
	RHMA 21	34.10	34.12	34.11	10.06	10.15	10.11	9.70	10.30	10.00
	RHMA 22	34.20	34.15	34.18	9.78	9.91	9.85	9.60	9.60	9.60
	RHMA 23	34.20	34.15	34.18	10.05	10.20	10.13	10.00	9.90	9.95
	RHMA 24	34.10	34.10	34.10	10.04	10.10	10.07	9.60	10.10	9.85
	RHMA 25	34.40	34.30	34.35	10.04	10.02	10.03	10.00	9.90	9.95
	RHMA 26	34.30	34.30	34.30	9.85	9.89	9.87	9.90	9.90	9.90
	RHMA 27	34.30	34.30	34.30	9.98	10.10	10.04	9.90	10.00	9.95
	RHMA 28	34.10	34.00	34.05	10.09	10.11	10.10	10.00	10.10	10.05
	RHMA 29	34.20	34.25	34.23	9.96	9.80	9.88	9.90	9.60	9.75
	RHMA 30	34.00	34.10	34.05	9.97	10.07	10.02	9.50	10.00	9.75
	RHMA 31	34.10	34.00	34.05	10.00	9.98	9.99	9.90	10.05	9.98
	RHMA 32	34.15	34.10	34.13	10.10	10.15	10.13	10.10	10.00	10.05

FUENTE: Elaboración propia.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE



PRUEBA DE PERMEABILIDAD

TESIS: "ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL AGUA EN EL CONCRETO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS (BIOCONCRETO), CUSCO - 2018".

REALIZADO POR	: Renat o Héctor Mendoza Nina
PRUEBA	: Permeabilidad en fisuras de concreto sin la aplicación de bacterias Bio-precipitadoras de carbonato de calcio (CaCO ₃).
LUGAR	: Laboratorio de Investigación - Collana - UAC

PRUEBA DE PERMEABILIDAD SIN LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Prueba Control	Prisma de Concreto Código	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	Promedio T _{plA 30} (hr.mn.seg)	Permeabilidad (ml/seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
Día 30	RHMA 1	100.00 g	T ₁₀₀	00:02:16	00:02:00	00:02:06	00:02:14	00:02:25	00:02:12	0.79
		200.00 g	T ₂₀₀	00:04:42	00:04:26	00:04:32	00:04:40	00:04:51	00:04:38	
		300.00 g	T ₃₀₀	00:07:08	00:07:15	00:07:04	00:06:51	00:07:03	00:07:04	
		400.00 g	T ₄₀₀	00:08:53	00:08:52	00:08:49	00:08:27	00:08:41	00:08:44	
		500.00 g	T ₅₀₀	00:10:38	00:10:35	00:10:33	00:10:25	00:10:30	00:10:32	

FUENTE: Elaboración propia.

PRUEBA DE PERMEABILIDAD SIN LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Prueba Control	Prisma de Concreto Código	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	Promedio T _{plA 30} (hr.mn.seg)	Permeabilidad (ml/seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
Día 30	RHMA 2	100.00	T ₁₀₀	00:01:35	00:01:47	00:01:51	00:01:46	00:01:43	00:01:44	1.10
		200.00	T ₂₀₀	00:03:48	00:04:01	00:04:07	00:04:00	00:03:56	00:03:58	
		300.00	T ₃₀₀	00:04:31	00:04:42	00:04:51	00:04:43	00:04:39	00:04:41	
		400.00	T ₄₀₀	00:05:57	00:06:03	00:06:14	00:06:08	00:06:02	00:06:05	
		500.00	T ₅₀₀	00:07:27	00:07:31	00:07:42	00:07:38	00:07:35	00:07:35	

FUENTE: Elaboración propia.

PRUEBA DE PERMEABILIDAD SIN LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Prueba Control	Prisma de Concreto Código	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	Promedio T _{plA 30} (hr.mn.seg)	Permeabilidad (ml/seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
Día 30	RHMA 3	100.00	T ₁₀₀	00:00:07	00:00:07	00:00:07	00:00:06	00:00:07	00:00:07	11.11
		200.00	T ₂₀₀	00:00:15	00:00:16	00:00:15	00:00:15	00:00:17	00:00:16	
		300.00	T ₃₀₀	00:00:25	00:00:25	00:00:25	00:00:24	00:00:26	00:00:25	
		400.00	T ₄₀₀	00:00:34	00:00:35	00:00:34	00:00:33	00:00:34	00:00:34	
		500.00	T ₅₀₀	00:00:44	00:00:45	00:00:45	00:00:46	00:00:45	00:00:45	

FUENTE: Elaboración propia.

PRUEBA DE PERMEABILIDAD SIN LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Prueba Control	Prisma de Concreto Código	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	Promedio T _{plA 30} (hr.mn.seg)	Permeabilidad (ml/seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
Día 30	RHMA 4	100.00	T ₁₀₀	00:00:05	00:00:06	00:00:05	00:00:04	00:00:06	00:00:05	17.86
		200.00	T ₂₀₀	00:00:11	00:00:11	00:00:11	00:00:10	00:00:12	00:00:11	
		300.00	T ₃₀₀	00:00:16	00:00:17	00:00:16	00:00:16	00:00:16	00:00:16	
		400.00	T ₄₀₀	00:00:22	00:00:23	00:00:22	00:00:21	00:00:22	00:00:22	
		500.00	T ₅₀₀	00:00:29	00:00:29	00:00:28	00:00:27	00:00:28	00:00:28	

FUENTE: Elaboración propia.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE



PRUEBA DE PERMEABILIDAD - BACTERIAS

TESIS: "ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL AGUA EN EL CONCRETO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS (BIOCONCRETO), CUSCO - 2018".

REALIZADO POR	: Renato Héctor Mendoza Nina
PRUEBA	: Permeabilidad en fisuras de concreto sin la aplicación de bacterias Bio-precipitadoras de carbonato de calcio (CaCO ₃).
LUGAR	: Laboratorio de Investigación - Collana - UAC

PRUEBA DE PERMEABILIDAD SIN LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Prueba Control	Prisma de Concreto Código	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	Promedio T _{Día 30} (hr.mn.seg)	Permeabilidad (ml/seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
Día 30	RHMA 5	100.00	T ₁₀₀	00:00:27	00:00:32	00:00:28	00:00:28	00:00:30	00:00:29	3.45
		200.00	T ₂₀₀	00:00:53	00:00:59	00:00:56	00:00:54	00:00:57	00:00:56	
		300.00	T ₃₀₀	00:01:22	00:01:28	00:01:25	00:01:23	00:01:27	00:01:25	
		400.00	T ₄₀₀	00:01:50	00:01:57	00:01:53	00:01:55	00:01:55	00:01:54	
		500.00	T ₅₀₀	00:02:21	00:02:29	00:02:24	00:02:25	00:02:27	00:02:25	

FUENTE: Elaboración propia.

PRUEBA DE PERMEABILIDAD SIN LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Prueba Control	Prisma de Concreto Código	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	Promedio T _{Día 30} (hr.mn.seg)	Permeabilidad (ml/seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
Día 30	RHMA 6	100.00	T ₁₀₀	00:01:56	00:01:52	00:01:54	00:01:50	00:01:56	00:01:54	0.75
		200.00	T ₂₀₀	00:03:10	00:03:05	00:03:09	00:03:00	00:03:11	00:03:07	
		300.00	T ₃₀₀	00:05:30	00:05:25	00:05:28	00:05:23	00:05:29	00:05:27	
		400.00	T ₄₀₀	00:08:11	00:08:07	00:08:10	00:08:05	00:08:09	00:08:08	
		500.00	T ₅₀₀	00:11:08	00:11:01	00:11:05	00:11:03	00:11:10	00:11:05	

FUENTE: Elaboración propia.

PRUEBA DE PERMEABILIDAD SIN LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Prueba Control	Prisma de Concreto Código	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	Promedio T _{Día 30} (hr.mn.seg)	Permeabilidad (ml/seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
Día 30	RHMA 7	100.00	T ₁₀₀	00:02:10	00:02:18	00:02:15	00:02:17	00:02:12	00:02:14	0.67
		200.00	T ₂₀₀	00:04:32	00:04:45	00:04:07	00:04:39	00:04:29	00:04:30	
		300.00	T ₃₀₀	00:06:55	00:07:18	00:06:43	00:07:15	00:06:51	00:07:00	
		400.00	T ₄₀₀	00:09:26	00:09:59	00:09:35	00:09:47	00:09:28	00:09:39	
		500.00	T ₅₀₀	00:12:22	00:12:41	00:12:19	00:12:35	00:12:25	00:12:28	

FUENTE: Elaboración propia.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE



PRUEBA DE PERMEABILIDAD - BACTERIAS

TESIS: "ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL AGUA EN EL CONCRETO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS (BIOCONCRETO), CUSCO - 2018".

REALIZADO POR	: Renat o Héctor Mendoza Nina
PRUEBA	: Permeabilidad en fisuras de concreto sin la aplicación de bacterias Bio-precipitadoras de carbonato de calcio (CaCO ₃).
LUGAR	: Laboratorio de Investigación - Collana - UAC

PRUEBA DE PERMEABILIDAD SIN LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Prueba Control	Prisma de Concreto Código	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	Promedio T _{día 30} (hr.mn.seg)	Permeabilidad (ml/seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
Día 30	RHMA 8	100.00	T ₁₀₀	00:01:57	00:02:03	00:02:22	00:02:05	00:02:31	00:02:12	0.70
		200.00	T ₂₀₀	00:04:05	00:04:13	00:04:53	00:04:14	00:04:58	00:04:29	
		300.00	T ₃₀₀	00:06:01	00:06:29	00:07:29	00:06:33	00:07:36	00:06:50	
		400.00	T ₄₀₀	00:08:09	00:08:52	00:10:13	00:08:54	00:10:21	00:09:18	
		500.00	T ₅₀₀	00:10:24	00:11:22	00:13:05	00:11:27	00:13:10	00:11:54	

FUENTE: Elaboración propia.

PRUEBA DE PERMEABILIDAD SIN LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Prueba Control	Prisma de Concreto Código	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	Promedio T _{día 30} (hr.mn.seg)	Permeabilidad (ml/seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
Día 30	RHMA 9	100.00	T ₁₀₀	00:00:31	00:00:29	00:00:32	00:00:27	00:00:28	00:00:29	3.13
		200.00	T ₂₀₀	00:01:02	00:01:03	00:01:06	00:00:51	00:01:00	00:01:00	
		300.00	T ₃₀₀	00:01:34	00:01:28	00:01:27	00:01:22	00:01:31	00:01:28	
		400.00	T ₄₀₀	00:02:07	00:02:03	00:01:59	00:01:45	00:02:01	00:01:59	
		500.00	T ₅₀₀	00:02:52	00:02:49	00:02:27	00:02:25	00:02:48	00:02:40	

FUENTE: Elaboración propia.

PRUEBA DE PERMEABILIDAD SIN LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Prueba Control	Prisma de Concreto Código	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	Promedio T _{día 30} (hr.mn.seg)	Permeabilidad (ml/seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
Día 30	RHMA 10	100.00	T ₁₀₀	00:00:37	00:00:38	00:00:35	00:00:35	00:00:36	00:00:36	2.11
		200.00	T ₂₀₀	00:01:12	00:01:16	00:01:11	00:01:12	00:01:10	00:01:12	
		300.00	T ₃₀₀	00:01:49	00:01:55	00:01:53	00:01:57	00:01:48	00:01:52	
		400.00	T ₄₀₀	00:02:26	00:02:35	00:02:21	00:02:38	00:02:28	00:02:30	
		500.00	T ₅₀₀	00:03:55	00:04:05	00:03:53	00:04:01	00:03:51	00:03:57	

FUENTE: Elaboración propia.

PRUEBA DE PERMEABILIDAD SIN LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Prueba Control	Prisma de Concreto Código	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	Promedio T _{día 30} (hr.mn.seg)	Permeabilidad (ml/seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
Día 30	RHMA 11	100.00	T ₁₀₀	00:00:31	00:00:35	00:00:30	00:00:29	00:00:31	00:00:31	2.48
		200.00	T ₂₀₀	00:01:10	00:01:03	00:01:11	00:01:07	00:01:14	00:01:09	
		300.00	T ₃₀₀	00:01:36	00:01:32	00:01:31	00:01:37	00:01:29	00:01:33	
		400.00	T ₄₀₀	00:02:39	00:02:34	00:02:28	00:02:31	00:02:37	00:02:34	
		500.00	T ₅₀₀	00:03:20	00:03:17	00:03:25	00:03:19	00:03:27	00:03:22	

FUENTE: Elaboración propia.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE



PRUEBA DE PERMEABILIDAD - BACTERIAS

TESIS: "ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL AGUA EN EL CONCRETO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS (BIOCONCRETO), CUSCO - 2018".

REALIZADO POR	: Renat o Héctor Mendoza Nina
PRUEBA	: Permeabilidad en fisuras de concreto sin la aplicación de bacterias Bio-precipitadoras de carbonato de calcio (CaCO ₃).
LUGAR	: Laboratorio de Investigación - Collana - UAC

PRUEBA DE PERMEABILIDAD SIN LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Prueba Control	Prisma de Concreto Código	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	Promedio T _{30 DÍAS} (hr.mn.seg)	Permeabilidad (mL/seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
Día 30	RHMA 12	100.00	T ₁₀₀	00:00:27	00:00:26	00:00:27	00:00:25	00:00:27	00:00:26	3.76
		200.00	T ₂₀₀	00:00:50	00:00:47	00:00:49	00:00:45	00:00:47	00:00:48	
		300.00	T ₃₀₀	00:01:13	00:01:11	00:01:12	00:01:15	00:01:15	00:01:13	
		400.00	T ₄₀₀	00:01:38	00:01:37	00:01:37	00:01:38	00:01:36	00:01:37	
		500.00	T ₅₀₀	00:02:12	00:02:12	00:02:11	00:02:15	00:02:13	00:02:13	

FUENTE: Elaboración propia.

PRUEBA DE PERMEABILIDAD SIN LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Prueba Control	Prisma de Concreto Código	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	Promedio T _{30 DÍAS} (hr.mn.seg)	Permeabilidad (mL/seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
Día 30	RHMA 13	100.00	T ₁₀₀	00:00:15	00:00:12	00:00:16	00:00:13	00:00:15	00:00:14	6.02
		200.00	T ₂₀₀	00:00:28	00:00:26	00:00:28	00:00:28	00:00:29	00:00:28	
		300.00	T ₃₀₀	00:00:45	00:00:43	00:00:45	00:00:42	00:00:46	00:00:44	
		400.00	T ₄₀₀	00:01:02	00:01:06	00:01:06	00:01:08	00:01:04	00:01:05	
		500.00	T ₅₀₀	00:01:21	00:01:25	00:01:22	00:01:25	00:01:21	00:01:23	

FUENTE: Elaboración propia.

PRUEBA DE PERMEABILIDAD SIN LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Prueba Control	Prisma de Concreto Código	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	Promedio T _{30 DÍAS} (hr.mn.seg)	Permeabilidad (mL/seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
Día 30	RHMA 14	100.00	T ₁₀₀	00:00:06	00:00:05	00:00:05	00:00:06	00:00:05	00:00:05	14.71
		200.00	T ₂₀₀	00:00:14	00:00:11	00:00:11	00:00:10	00:00:10	00:00:11	
		300.00	T ₃₀₀	00:00:21	00:00:18	00:00:18	00:00:19	00:00:20	00:00:19	
		400.00	T ₄₀₀	00:00:29	00:00:25	00:00:24	00:00:25	00:00:26	00:00:26	
		500.00	T ₅₀₀	00:00:38	00:00:32	00:00:32	00:00:34	00:00:35	00:00:34	

FUENTE: Elaboración propia.

PRUEBA DE PERMEABILIDAD SIN LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Prueba Control	Prisma de Concreto Código	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	Promedio T _{30 DÍAS} (hr.mn.seg)	Permeabilidad (mL/seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
Día 30	RHMA 15	100.00	T ₁₀₀	00:00:37	00:00:40	00:00:35	00:00:34	00:00:36	00:00:36	2.27
		200.00	T ₂₀₀	00:01:20	00:01:23	00:01:18	00:01:17	00:01:19	00:01:19	
		300.00	T ₃₀₀	00:02:05	00:02:08	00:02:03	00:02:02	00:02:04	00:02:04	
		400.00	T ₄₀₀	00:02:52	00:02:55	00:02:50	00:02:49	00:02:51	00:02:51	
		500.00	T ₅₀₀	00:03:41	00:03:44	00:03:39	00:03:38	00:03:40	00:03:40	

FUENTE: Elaboración propia.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL**

RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE



PRUEBA DE PERMEABILIDAD - BACTERIAS

TESIS: "ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL AGUA EN EL CONCRETO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS (BIOCONCRETO), CUSCO - 2018".

REALIZADO POR	: Renat o Héctor Mendoza Nina
PRUEBA	: Permeabilidad en fisuras de concreto sin la aplicación de bacterias Bio-precipitadoras de carbonato de calcio (CaCO ₃).
LUGAR	: Laboratorio de Investigación - Collana - UAC

PRUEBA DE PERMEABILIDAD SIN LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Prueba Control	Prisma de Concreto Código	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	Promedio T _{Día 30} (hr.mn.seg)	Permeabilidad (ml/seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
Día 30	RHMA 16	100.00	T ₁₀₀	00:00:08	00:00:06	00:00:05	00:00:07	00:00:06	00:00:06	13.89
		200.00	T ₂₀₀	00:00:15	00:00:12	00:00:11	00:00:14	00:00:11	00:00:13	
		300.00	T ₃₀₀	00:00:21	00:00:19	00:00:17	00:00:21	00:00:18	00:00:19	
		400.00	T ₄₀₀	00:00:29	00:00:25	00:00:24	00:00:28	00:00:23	00:00:26	
		500.00	T ₅₀₀	00:00:38	00:00:33	00:00:34	00:00:39	00:00:35	00:00:36	

FUENTE: Elaboración propia.

PRUEBA DE PERMEABILIDAD SIN LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Prueba Control	Prisma de Concreto Código	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	Promedio T _{Día 30} (hr.mn.seg)	Permeabilidad (ml/seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
Día 30	RHMA 17	100.00	T ₁₀₀	00:01:05	00:01:03	00:01:07	00:01:05	00:01:06	00:01:05	0.81
		200.00	T ₂₀₀	00:02:19	00:02:15	00:02:23	00:02:18	00:02:19	00:02:19	
		300.00	T ₃₀₀	00:04:39	00:04:37	00:04:42	00:04:37	00:04:41	00:04:39	
		400.00	T ₄₀₀	00:07:20	00:07:18	00:07:23	00:07:18	00:07:21	00:07:20	
		500.00	T ₅₀₀	00:10:17	00:10:14	00:10:21	00:10:16	00:10:18	00:10:17	

FUENTE: Elaboración propia.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL**

RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE



PRUEBA DE PERMEABILIDAD - BACTERIAS

TESIS: "ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL AGUA EN EL CONCRETO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS (BIOCONCRETO), CUSCO - 2018".

REALIZADO POR	: Renat o Héctor Mendoza Nina
PRUEBA	: Permeabilidad en fisuras de concreto sin la aplicación de bacterias Bio-precipitadoras de carbonato de calcio (CaCO ₃).
LUGAR	: Laboratorio de Investigación - Collana - UAC

PRUEBA DE PERMEABILIDAD SIN LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Prueba Control	Prisma de Concreto Código	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	Promedio T _{día 30} (hr.mn.seg)	Permeabilidad (mL/seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
Día 30	RHMA 18	100.00	T ₁₀₀	00:00:35	00:00:32	00:00:34	00:00:34	00:00:37	00:00:34	3.03
		200.00	T ₂₀₀	00:01:08	00:01:05	00:01:07	00:01:08	00:01:11	00:01:08	
		300.00	T ₃₀₀	00:01:40	00:01:38	00:01:36	00:01:42	00:01:45	00:01:40	
		400.00	T ₄₀₀	00:02:13	00:02:11	00:02:06	00:02:15	00:02:18	00:02:13	
		500.00	T ₅₀₀	00:02:46	00:02:44	00:02:38	00:02:47	00:02:52	00:02:45	

FUENTE: Elaboración propia.

PRUEBA DE PERMEABILIDAD SIN LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Prueba Control	Prisma de Concreto Código	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	Promedio T _{día 30} (hr.mn.seg)	Permeabilidad (mL/seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
Día 30	RHMA 19	100.00	T ₁₀₀	00:01:31	00:01:29	00:01:33	00:01:31	00:01:30	00:01:31	0.70
		200.00	T ₂₀₀	00:03:58	00:03:56	00:04:03	00:03:57	00:03:56	00:03:58	
		300.00	T ₃₀₀	00:06:31	00:06:28	00:06:37	00:06:29	00:06:28	00:06:31	
		400.00	T ₄₀₀	00:09:12	00:09:10	00:09:19	00:09:09	00:09:11	00:09:12	
		500.00	T ₅₀₀	00:11:54	00:11:51	00:11:58	00:11:52	00:11:53	00:11:54	

FUENTE: Elaboración propia.

PRUEBA DE PERMEABILIDAD SIN LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Prueba Control	Prisma de Concreto Código	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	Promedio T _{día 30} (hr.mn.seg)	Permeabilidad (mL/seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
Día 30	RHMA 20	100.00	T ₁₀₀	00:02:56	00:02:51	00:02:54	00:02:52	00:02:51	00:02:53	0.63
		200.00	T ₂₀₀	00:05:28	00:05:24	00:05:27	00:05:25	00:05:25	00:05:26	
		300.00	T ₃₀₀	00:08:10	00:08:07	00:08:08	00:08:05	00:08:08	00:08:08	
		400.00	T ₄₀₀	00:10:51	00:10:45	00:10:49	00:10:47	00:10:47	00:10:48	
		500.00	T ₅₀₀	00:13:18	00:13:15	00:13:16	00:13:14	00:13:15	00:13:16	

FUENTE: Elaboración propia.

PRUEBA DE PERMEABILIDAD SIN LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Prueba Control	Prisma de Concreto Código	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	Promedio T _{día 30} (hr.mn.seg)	Permeabilidad (mL/seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
Día 30	RHMA 21	100.00	T ₁₀₀	00:02:44	00:02:39	00:02:41	00:02:43	00:02:44	00:02:42	0.94
		200.00	T ₂₀₀	00:04:12	00:04:08	00:04:10	00:04:12	00:04:11	00:04:11	
		300.00	T ₃₀₀	00:05:48	00:05:43	00:05:45	00:05:45	00:05:46	00:05:46	
		400.00	T ₄₀₀	00:07:27	00:07:23	00:07:24	00:07:24	00:07:25	00:07:25	
		500.00	T ₅₀₀	00:08:55	00:08:51	00:08:53	00:08:52	00:08:54	00:08:53	

FUENTE: Elaboración propia.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE



PRUEBA DE PERMEABILIDAD - BACTERIAS

TESIS: "ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL AGUA EN EL CONCRETO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS (BIOCONCRETO), CUSCO - 2018".

REALIZADO POR	: Renat o Héctor Mendoza Nina
PRUEBA	: Permeabilidad en fisuras de concreto sin la aplicación de bacterias Bio-precipitadoras de carbonato de calcio (CaCO ₃).
LUGAR	: Laboratorio de Investigación - Collana - UAC

PRUEBA DE PERMEABILIDAD SIN LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Prueba Control	Prisma de Concreto Código	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	Promedio T _{día 30} (hr.mn.seg)	Permeabilidad (mL/seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
Día 30	RHMA 22	100.00	T ₁₀₀	00:01:44	00:01:45	00:01:47	00:01:46	00:01:47	00:01:46	1.02
		200.00	T ₂₀₀	00:03:15	00:03:16	00:03:19	00:03:17	00:03:18	00:03:17	
		300.00	T ₃₀₀	00:04:57	00:04:58	00:05:01	00:04:58	00:05:02	00:04:59	
		400.00	T ₄₀₀	00:06:39	00:06:39	00:06:42	00:06:40	00:06:41	00:06:40	
		500.00	T ₅₀₀	00:08:08	00:08:10	00:08:11	00:08:09	00:08:12	00:08:10	

FUENTE: Elaboración propia.

PRUEBA DE PERMEABILIDAD SIN LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Prueba Control	Prisma de Concreto Código	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	Promedio T _{día 30} (hr.mn.seg)	Permeabilidad (mL/seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
Día 30	RHMA 23	100.00	T ₁₀₀	00:02:15	00:02:17	00:02:16	00:02:17	00:02:15	00:02:16	0.77
		200.00	T ₂₀₀	00:04:30	00:04:33	00:04:32	00:04:31	00:04:29	00:04:31	
		300.00	T ₃₀₀	00:06:53	00:06:56	00:06:53	00:06:54	00:06:52	00:06:54	
		400.00	T ₄₀₀	00:09:24	00:09:26	00:09:21	00:09:23	00:09:22	00:09:23	
		500.00	T ₅₀₀	00:10:53	00:10:55	00:10:52	00:10:53	00:10:51	00:10:53	

FUENTE: Elaboración propia.

PRUEBA DE PERMEABILIDAD SIN LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Prueba Control	Prisma de Concreto Código	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	Promedio T _{día 30} (hr.mn.seg)	Permeabilidad (mL/seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
Día 30	RHMA 24	100.00	T ₁₀₀	00:03:11	00:03:15	00:03:15	00:03:14	00:03:11	00:03:13	0.61
		200.00	T ₂₀₀	00:05:38	00:05:43	00:05:42	00:05:40	00:05:39	00:05:40	
		300.00	T ₃₀₀	00:08:10	00:08:16	00:08:15	00:08:14	00:08:11	00:08:13	
		400.00	T ₄₀₀	00:10:52	00:10:56	00:10:55	00:10:55	00:10:52	00:10:54	
		500.00	T ₅₀₀	00:13:33	00:13:38	00:13:36	00:13:37	00:13:34	00:13:36	

FUENTE: Elaboración propia.

PRUEBA DE PERMEABILIDAD SIN LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Prueba Control	Prisma de Concreto Código	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	Promedio T _{día 30} (hr.mn.seg)	Permeabilidad (mL/seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
Día 30	RHMA 25	100.00	T ₁₀₀	00:01:02	00:01:00	00:00:59	00:01:05	00:01:02	00:01:02	1.09
		200.00	T ₂₀₀	00:02:47	00:02:44	00:02:44	00:02:51	00:02:45	00:02:46	
		300.00	T ₃₀₀	00:04:19	00:04:15	00:04:16	00:04:22	00:04:18	00:04:18	
		400.00	T ₄₀₀	00:06:01	00:05:57	00:05:58	00:06:03	00:06:00	00:06:00	
		500.00	T ₅₀₀	00:07:42	00:07:39	00:07:37	00:07:43	00:07:41	00:07:40	

FUENTE: Elaboración propia.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL**

RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE



PRUEBA DE PERMEABILIDAD - BACTERIAS

TESIS: "ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL AGUA EN EL CONCRETO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS (BIOCONCRETO), CUSCO - 2018".

REALIZADO POR	: Renat o Héctor Mendoza Nina
PRUEBA	: Permeabilidad en fisuras de concreto sin la aplicación de bacterias Bio-precipitadoras de carbonato de calcio (CaCO ₃).
LUGAR	: Laboratorio de Investigación - Collana - UAC

PRUEBA DE PERMEABILIDAD SIN LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Prueba Control	Prisma de Concreto Código	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	Promedio T _{día 30} (hr.mn.seg)	Permeabilidad (mL/seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
Día 30	RHMA 26	100.00	T ₁₀₀	00:00:58	00:00:56	00:01:03	00:00:57	00:00:57	00:00:58	2.20
		200.00	T ₂₀₀	00:01:28	00:01:27	00:01:33	00:01:28	00:01:27	00:01:29	
		300.00	T ₃₀₀	00:02:05	00:02:05	00:02:10	00:02:06	00:02:04	00:02:06	
		400.00	T ₄₀₀	00:02:57	00:02:58	00:03:02	00:03:00	00:02:56	00:02:59	
		500.00	T ₅₀₀	00:03:45	00:03:48	00:03:50	00:03:48	00:03:44	00:03:47	

FUENTE: Elaboración propia.

PRUEBA DE PERMEABILIDAD SIN LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Prueba Control	Prisma de Concreto Código	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	Promedio T _{día 30} (hr.mn.seg)	Permeabilidad (mL/seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
Día 30	RHMA 27	100.00	T ₁₀₀	00:01:20	00:01:16	00:01:23	00:01:18	00:01:19	00:01:19	0.69
		200.00	T ₂₀₀	00:03:51	00:03:47	00:03:54	00:03:52	00:03:48	00:03:50	
		300.00	T ₃₀₀	00:06:27	00:06:23	00:06:30	00:06:26	00:06:25	00:06:26	
		400.00	T ₄₀₀	00:09:11	00:09:07	00:09:14	00:09:09	00:09:10	00:09:10	
		500.00	T ₅₀₀	00:12:03	00:11:59	00:12:06	00:12:02	00:12:04	00:12:03	

FUENTE: Elaboración propia.

PRUEBA DE PERMEABILIDAD SIN LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Prueba Control	Prisma de Concreto Código	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	Promedio T _{día 30} (hr.mn.seg)	Permeabilidad (mL/seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
Día 30	RHMA 28	100.00	T ₁₀₀	00:03:11	00:03:26	00:03:24	00:03:15	00:03:17	00:03:19	0.50
		200.00	T ₂₀₀	00:05:13	00:05:31	00:05:26	00:05:16	00:05:19	00:05:21	
		300.00	T ₃₀₀	00:08:52	00:09:41	00:09:05	00:08:55	00:08:59	00:09:06	
		400.00	T ₄₀₀	00:12:24	00:13:37	00:12:37	00:12:27	00:12:30	00:12:43	
		500.00	T ₅₀₀	00:16:33	00:17:35	00:16:44	00:16:36	00:16:40	00:16:49	

FUENTE: Elaboración propia.

PRUEBA DE PERMEABILIDAD SIN LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Prueba Control	Prisma de Concreto Código	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	Promedio T _{día 30} (hr.mn.seg)	Permeabilidad (mL/seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
Día 30	RHMA 29	100.00	T ₁₀₀	00:03:38	00:03:31	00:03:29	00:03:31	00:03:44	00:03:35	0.32
		200.00	T ₂₀₀	00:08:24	00:08:18	00:08:18	00:08:17	00:08:29	00:08:21	
		300.00	T ₃₀₀	00:13:35	00:13:30	00:13:30	00:13:27	00:13:28	00:13:32	
		400.00	T ₄₀₀	00:19:25	00:19:21	00:19:20	00:19:18	00:19:27	00:19:22	
		500.00	T ₅₀₀	00:25:55	00:25:53	00:25:53	00:25:48	00:25:58	00:25:53	

FUENTE: Elaboración propia.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE



PRUEBA DE PERMEABILIDAD - BACTERIAS

INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

TESIS: "ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL AGUA EN EL CONCRETO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS (BIOCONCRETO), CUSCO - 2018".

REALIZADO POR	: Renato Héctor Mendoza Nina
PRUEBA	: Permeabilidad en fisuras de concreto sin la aplicación de bacterias Bio-precipitadoras de carbonato de calcio (CaCO ₃).
LUGAR	: Laboratorio de Investigación - Collana - UAC

PRUEBA DE PERMEABILIDAD SIN LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Prueba Control	Prisma de Concreto Código	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	Promedio T _{Día 30} (hr.mn.seg)	Permeabilidad (mL/seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
Día 30	RHMA 30	100.00	T ₁₀₀	00:01:11	00:01:13	00:01:04	00:01:15	00:01:07	00:01:10	0.80
		200.00	T ₂₀₀	00:03:20	00:03:20	00:03:14	00:03:22	00:03:14	00:03:18	
		300.00	T ₃₀₀	00:05:35	00:05:38	00:05:30	00:05:41	00:05:37	00:05:36	
		400.00	T ₄₀₀	00:07:57	00:07:56	00:07:53	00:07:53	00:08:03	00:07:58	
		500.00	T ₅₀₀	00:10:26	00:10:28	00:10:23	00:10:31	00:10:28	00:10:27	

FUENTE: Elaboración propia.

PRUEBA DE PERMEABILIDAD SIN LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Prueba Control	Prisma de Concreto Código	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	Promedio T _{Día 30} (hr.mn.seg)	Permeabilidad (mL/seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
Día 30	RHMA 31	100.00	T ₁₀₀	00:02:29	00:02:33	00:02:38	00:02:31	00:02:30	00:02:32	0.53
		200.00	T ₂₀₀	00:05:18	00:05:21	00:05:24	00:05:19	00:05:16	00:05:20	
		300.00	T ₃₀₀	00:08:27	00:08:30	00:08:35	00:08:28	00:08:27	00:08:29	
		400.00	T ₄₀₀	00:12:18	00:12:19	00:12:23	00:12:20	00:12:15	00:12:19	
		500.00	T ₅₀₀	00:15:50	00:15:52	00:15:55	00:15:50	00:15:47	00:15:51	

FUENTE: Elaboración propia.

PRUEBA DE PERMEABILIDAD SIN LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Prueba Control	Prisma de Concreto Código	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	V°=750 mL	Promedio T _{Día 30} (hr.mn.seg)	Permeabilidad (mL/seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
Día 30	RHMA 32	100.00	T ₁₀₀	00:04:38	00:04:40	00:04:52	00:04:46	00:04:45	00:04:44	0.31
		200.00	T ₂₀₀	00:09:25	00:09:26	00:09:37	00:09:32	00:09:31	00:09:30	
		300.00	T ₃₀₀	00:14:37	00:14:35	00:14:47	00:14:43	00:14:42	00:14:41	
		400.00	T ₄₀₀	00:20:28	00:20:31	00:20:36	00:20:34	00:20:32	00:20:32	
		500.00	T ₅₀₀	00:26:59	00:27:04	00:27:09	00:27:06	00:27:02	00:27:04	

FUENTE: Elaboración propia.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE



PRUEBA DE PERMEABILIDAD - BACTERIAS

INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

TESIS: "ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL AGUA EN EL CONCRETO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS (BIOCONCRETO), CUSCO - 2018".

REALIZADO POR	: Renat o Héctor Mendoza Nina
PRUEBA	: Sellado de fisuras de concreto mediante la aplicación de bacterias Bio-precipitadoras de carbonato de calcio (CaCO ₃) - Calcita
LUGAR	: Laboratorio de Investigación de la Facultad de Ciencias de la Salud de la UAC.

Self Healing: autocuración del concreto mediante bacterias

PRUEBA DE PERMEABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Self Healing	Prisma de Concreto	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	Promedio T ₅₈ DÍAS (hr.mn.seg)	Tiempo Total (seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
58 días	RHMA 1	100.00	T ₁₀₀	00:04:53	00:04:37	00:04:43	00:04:51	00:05:02	00:04:49	1448
		200.00	T ₂₀₀	00:08:15	00:08:22	00:08:11	00:07:58	00:08:10	00:08:11	
		300.00	T ₃₀₀	00:13:01	00:13:02	00:13:45	00:12:56	00:13:17	00:13:12	
		400.00	T ₄₀₀	00:18:12	00:18:33	00:17:45	00:18:04	00:18:21	00:18:11	
		500.00	T ₅₀₀	00:24:02	00:24:22	00:23:57	00:24:11	00:24:08	00:24:08	
Cantidad de Agua		500 mL	Permeabilidad (mL/seg.)						0.35	

PRUEBA DE PERMEABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Self Healing	Prisma de Concreto	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	Promedio T ₅₈ DÍAS (hr.mn.seg)	Tiempo Total (seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
58 días	RHMA 2	100.00	T ₁₀₀	00:04:01	00:04:10	00:04:15	00:04:12	00:04:10	00:04:10	1267
		200.00	T ₂₀₀	00:08:08	00:08:25	00:08:23	00:08:19	00:08:32	00:08:21	
		300.00	T ₃₀₀	00:12:20	00:12:37	00:12:36	00:12:31	00:12:44	00:12:34	
		400.00	T ₄₀₀	00:16:32	00:16:57	00:16:50	00:16:43	00:16:56	00:16:48	
		500.00	T ₅₀₀	00:20:52	00:21:15	00:21:09	00:21:03	00:21:16	00:21:07	
Cantidad de Agua		500 mL	Permeabilidad (mL/seg.)						0.39	

PRUEBA DE PERMEABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Self Healing	Prisma de Concreto	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	Promedio T ₅₈ DÍAS (hr.mn.seg)	Tiempo Total (seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
58 días	RHMA 3	100.00	T ₁₀₀	00:00:25	00:00:21	00:00:21	00:00:23	00:00:24	00:00:23	116
		200.00	T ₂₀₀	00:00:49	00:00:43	00:00:43	00:00:45	00:00:43	00:00:45	
		300.00	T ₃₀₀	00:01:15	00:01:07	00:01:06	00:01:08	00:01:13	00:01:10	
		400.00	T ₄₀₀	00:01:41	00:01:30	00:01:29	00:01:27	00:01:35	00:01:32	
		500.00	T ₅₀₀	00:02:05	00:01:53	00:01:52	00:01:51	00:01:57	00:01:56	
Cantidad de Agua		500 mL	Permeabilidad (mL/seg.)						4.31	

PRUEBA DE PERMEABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Self Healing	Prisma de Concreto	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	Promedio T ₅₈ DÍAS (hr.mn.seg)	Tiempo Total (seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
58 días	RHMA 4	100.00	T ₁₀₀	00:00:08	00:00:07	00:00:06	00:00:07	00:00:08	00:00:07	40
		200.00	T ₂₀₀	00:00:17	00:00:15	00:00:13	00:00:16	00:00:15	00:00:15	
		300.00	T ₃₀₀	00:00:25	00:00:23	00:00:19	00:00:21	00:00:24	00:00:22	
		400.00	T ₄₀₀	00:00:33	00:00:31	00:00:26	00:00:30	00:00:31	00:00:30	
		500.00	T ₅₀₀	00:00:45	00:00:39	00:00:33	00:00:38	00:00:43	00:00:40	
Cantidad de Agua		500 mL	Permeabilidad (mL/seg.)						12.50	

FUENTE: Elaboración propia.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL**

RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE



PRUEBA DE PERMEABILIDAD - BACTERIAS

INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

TESIS: "ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL AGUA EN EL CONCRETO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS (BIOCONCRETO), CUSCO - 2018".

REALIZADO POR	: Renat o Héctor Mendoza Nina
PRUEBA	: Sellado de fisuras de concreto mediante la aplicación de bacterias Bio-precipitadoras de carbonato de calcio (CaCO ₃) - Calcita
LUGAR	: Laboratorio de Investigación de la Facultad de Ciencias de la Salud de la UAC.

Self Healing: autocuración del concreto mediante bacterias

PRUEBA DE PERMEABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Self Healing	Prisma de Concreto	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	Promedio T _{58 DÍAS} (hr.mn.seg)	Tiempo Total (seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
58 días	RHMA 5	100.00	T ₁₀₀	00:01:58	00:02:01	00:01:57	00:01:56	00:01:55	00:01:57	255
		200.00	T ₂₀₀	00:02:23	00:02:29	00:02:25	00:02:27	00:02:29	00:02:27	
		300.00	T ₃₀₀	00:02:56	00:03:05	00:03:01	00:02:54	00:03:03	00:03:00	
		400.00	T ₄₀₀	00:03:33	00:03:37	00:03:35	00:03:29	00:03:34	00:03:34	
		500.00	T ₅₀₀	00:04:14	00:04:21	00:04:17	00:04:08	00:04:15	00:04:15	
Cantidad de Agua		500 mL	Permeabilidad (mL/seg.)						1.96	

PRUEBA DE PERMEABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Self Healing	Prisma de Concreto	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	Promedio T _{58 DÍAS} (hr.mn.seg)	Tiempo Total (seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
58 días	RHMA 6	100.00	T ₁₀₀	00:05:17	00:05:19	00:05:22	00:05:17	00:05:23	00:05:20	947
		200.00	T ₂₀₀	00:07:58	00:08:03	00:08:05	00:08:00	00:08:09	00:08:03	
		300.00	T ₃₀₀	00:10:55	00:11:02	00:11:05	00:10:59	00:11:07	00:11:02	
		400.00	T ₄₀₀	00:13:11	00:13:15	00:13:21	00:13:17	00:13:12	00:13:15	
		500.00	T ₅₀₀	00:15:41	00:15:48	00:15:52	00:15:50	00:15:42	00:15:47	
Cantidad de Agua		500 mL	Permeabilidad (mL/seg.)						0.53	

PRUEBA DE PERMEABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Self Healing	Prisma de Concreto	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	Promedio T _{58 DÍAS} (hr.mn.seg)	Tiempo Total (seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
58 días	RHMA 7	100.00	T ₁₀₀	00:03:12	00:03:15	00:03:00	00:03:15	00:03:08	00:03:10	898
		200.00	T ₂₀₀	00:06:22	00:06:27	00:06:10	00:06:25	00:06:18	00:06:20	
		300.00	T ₃₀₀	00:08:58	00:09:05	00:09:07	00:09:02	00:09:00	00:09:02	
		400.00	T ₄₀₀	00:12:00	00:12:10	00:11:57	00:11:56	00:12:03	00:12:01	
		500.00	T ₅₀₀	00:14:57	00:15:07	00:14:54	00:14:53	00:15:00	00:14:58	
Cantidad de Agua		500 mL	Permeabilidad (mL/seg.)						0.56	

PRUEBA DE PERMEABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Self Healing	Prisma de Concreto	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	Promedio T _{58 DÍAS} (hr.mn.seg)	Tiempo Total (seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
58 días	RHMA 8	100.00	T ₁₀₀	00:03:15	00:03:17	00:03:17	00:03:10	00:03:12	00:03:14	932
		200.00	T ₂₀₀	00:06:11	00:06:18	00:06:16	00:06:08	00:06:11	00:06:13	
		300.00	T ₃₀₀	00:09:04	00:09:11	00:09:12	00:09:04	00:09:07	00:09:08	
		400.00	T ₄₀₀	00:11:55	00:11:57	00:11:57	00:11:49	00:11:52	00:11:54	
		500.00	T ₅₀₀	00:15:32	00:15:35	00:15:36	00:15:28	00:15:31	00:15:32	
Cantidad de Agua		500 mL	Permeabilidad (mL/seg.)						0.54	

FUENTE: Elaboración propia.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE



PRUEBA DE PERMEABILIDAD - BACTERIAS

INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

TESIS: "ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL AGUA EN EL CONCRETO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS (BIOCONCRETO), CUSCO - 2018".

REALIZADO POR	: Renato Héctor Mendoza Nina
PRUEBA	: Sellado de fisuras de concreto mediante la aplicación de bacterias Bio-precipitadoras de carbonato de calcio (CaCO ₃) - Calcita
LUGAR	: Laboratorio de Investigación de la Facultad de Ciencias de la Salud de la UAC.

Self Healing: autocuración del concreto mediante bacterias

PRUEBA DE PERMEABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Self Healing	Prisma de Concreto Código	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	Promedio T _{58 DÍAS} (hr.mn.seg)	Tiempo Total (seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
58 días	RHMA 9	100.00	T ₁₀₀	00:01:23	00:01:19	00:01:21	00:01:23	00:01:21	00:01:21	357
		200.00	T ₂₀₀	00:02:27	00:02:26	00:02:29	00:02:27	00:02:30	00:02:28	
		300.00	T ₃₀₀	00:03:34	00:03:30	00:03:32	00:03:31	00:03:31	00:03:32	
		400.00	T ₄₀₀	00:04:48	00:04:43	00:04:42	00:04:43	00:04:44	00:04:44	
		500.00	T ₅₀₀	00:06:03	00:05:55	00:05:53	00:05:57	00:05:55	00:05:57	
Cantidad de Agua		500 mL	Permeabilidad (mL/seg.)						1.40	

PRUEBA DE PERMEABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Self Healing	Prisma de Concreto Código	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	Promedio T _{58 DÍAS} (hr.mn.seg)	Tiempo Total (seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
58 días	RHMA 10	100.00	T ₁₀₀	00:02:30	00:02:31	00:02:37	00:02:31	00:02:33	00:02:32	684
		200.00	T ₂₀₀	00:04:37	00:04:39	00:04:44	00:04:37	00:04:39	00:04:39	
		300.00	T ₃₀₀	00:06:49	00:06:52	00:06:56	00:06:54	00:06:52	00:06:53	
		400.00	T ₄₀₀	00:09:01	00:09:06	00:09:08	00:09:05	00:09:03	00:09:05	
		500.00	T ₅₀₀	00:11:21	00:11:25	00:11:28	00:11:24	00:11:24	00:11:24	
Cantidad de Agua		500 mL	Permeabilidad (mL/seg.)						0.73	

PRUEBA DE PERMEABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Self Healing	Prisma de Concreto Código	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	Promedio T _{58 DÍAS} (hr.mn.seg)	Tiempo Total (seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
58 días	RHMA 11	100.00	T ₁₀₀	00:01:33	00:01:37	00:01:35	00:01:35	00:01:35	00:01:35	425
		200.00	T ₂₀₀	00:03:01	00:02:59	00:02:57	00:02:55	00:02:56	00:02:58	
		300.00	T ₃₀₀	00:04:28	00:04:21	00:04:18	00:04:16	00:04:18	00:04:20	
		400.00	T ₄₀₀	00:05:54	00:05:43	00:05:41	00:05:40	00:05:40	00:05:44	
		500.00	T ₅₀₀	00:07:11	00:07:06	00:07:03	00:07:00	00:07:03	00:07:05	
Cantidad de Agua		500 mL	Permeabilidad (mL/seg.)						1.18	

PRUEBA DE PERMEABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Self Healing	Prisma de Concreto Código	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	Promedio T _{58 DÍAS} (hr.mn.seg)	Tiempo Total (seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
58 días	RHMA 12	100.00	T ₁₀₀	00:00:46	00:00:51	00:00:50	00:00:48	00:00:51	00:00:49	267
		200.00	T ₂₀₀	00:01:36	00:01:44	00:01:41	00:01:41	00:01:43	00:01:41	
		300.00	T ₃₀₀	00:02:29	00:02:39	00:02:31	00:02:36	00:02:39	00:02:35	
		400.00	T ₄₀₀	00:03:21	00:03:35	00:03:24	00:03:32	00:03:34	00:03:29	
		500.00	T ₅₀₀	00:04:17	00:04:33	00:04:21	00:04:30	00:04:33	00:04:27	
Cantidad de Agua		500 mL	Permeabilidad (mL/seg.)						1.87	

FUENTE: Elaboración propia.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE



PRUEBA DE PERMEABILIDAD - BACTERIAS

INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

TESIS: "ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL AGUA EN EL CONCRETO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS (BIOCONCRETO), CUSCO - 2018".

REALIZADO POR	: Renat o Héctor Mendoza Nina
PRUEBA	: Sellado de fisuras de concreto mediante la aplicación de bacterias Bio-precipitadoras de carbonato de calcio (CaCO ₃) - Calcita
LUGAR	: Laboratorio de Investigación de la Facultad de Ciencias de la Salud de la UAC.

Self Healing: autocuración del concreto mediante bacterias

PRUEBA DE PERMEABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Self Healing	Prisma de Concreto Código	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	Promedio T ₈₆ días (hr.mn.seg)	Tiempo Total (seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
86 días	RHMA 13	100.00	T ₁₀₀	00:01:46	00:01:44	00:01:44	00:01:47	00:01:46	00:01:23	365
		200.00	T ₂₀₀	00:02:53	00:02:48	00:02:46	00:02:53	00:02:47	00:02:49	
		300.00	T ₃₀₀	00:03:59	00:03:55	00:03:52	00:03:56	00:03:55	00:03:55	
		400.00	T ₄₀₀	00:05:04	00:05:02	00:05:00	00:05:02	00:05:01	00:05:02	
		500.00	T ₅₀₀	00:06:08	00:06:05	00:06:02	00:06:07	00:06:03	00:06:05	
Cantidad de Agua	500 mL	Permeabilidad (mL/seg.)							1.37	

PRUEBA DE PERMEABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Self Healing	Prisma de Concreto Código	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	Promedio T ₈₆ días (hr.mn.seg)	Tiempo Total (seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
86 días	RHMA 14	100.00	T ₁₀₀	00:00:11	00:00:09	00:00:13	00:00:11	00:00:10	00:00:11	57
		200.00	T ₂₀₀	00:00:20	00:00:19	00:00:22	00:00:19	00:00:21	00:00:20	
		300.00	T ₃₀₀	00:00:31	00:00:29	00:00:33	00:00:28	00:00:31	00:00:30	
		400.00	T ₄₀₀	00:00:42	00:00:40	00:00:42	00:00:39	00:00:40	00:00:41	
		500.00	T ₅₀₀	00:00:56	00:00:59	00:00:57	00:00:56	00:00:58	00:00:57	
Cantidad de Agua	500 mL	Permeabilidad (mL/seg.)							8.77	

PRUEBA DE PERMEABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Self Healing	Prisma de Concreto Código	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	Promedio T ₈₆ días (hr.mn.seg)	Tiempo Total (seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
86 días	RHMA 15	100.00	T ₁₀₀	00:00:56	00:01:02	00:00:59	00:00:57	00:01:00	00:00:59	338
		200.00	T ₂₀₀	00:02:03	00:02:08	00:02:04	00:02:01	00:02:07	00:02:05	
		300.00	T ₃₀₀	00:03:10	00:03:12	00:03:09	00:03:07	00:03:14	00:03:10	
		400.00	T ₄₀₀	00:04:17	00:04:19	00:04:16	00:04:14	00:04:21	00:04:17	
		500.00	T ₅₀₀	00:05:38	00:05:40	00:05:37	00:05:35	00:05:42	00:05:38	
Cantidad de Agua	500 mL	Permeabilidad (mL/seg.)							1.48	

PRUEBA DE PERMEABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Self Healing	Prisma de Concreto Código	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	Promedio T ₈₆ días (hr.mn.seg)	Tiempo Total (seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
86 días	RHMA 16	100.00	T ₁₀₀	00:00:12	00:00:09	00:00:11	00:00:12	00:00:10	00:00:11	58
		200.00	T ₂₀₀	00:00:17	00:00:15	00:00:17	00:00:16	00:00:15	00:00:16	
		300.00	T ₃₀₀	00:00:28	00:00:31	00:00:31	00:00:29	00:00:28	00:00:29	
		400.00	T ₄₀₀	00:00:41	00:00:44	00:00:43	00:00:41	00:00:40	00:00:42	
		500.00	T ₅₀₀	00:00:58	00:00:59	00:00:59	00:00:58	00:00:57	00:00:58	
Cantidad de Agua	500 mL	Permeabilidad (mL/seg.)							8.62	

FUENTE: Elaboración propia.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE



PRUEBA DE PERMEABILIDAD - BACTERIAS

INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

TESIS: "ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL AGUA EN EL CONCRETO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS (BIOCONCRETO), CUSCO - 2018".

REALIZADO POR	: Renat o Héctor Mendoza Nina
PRUEBA	: Sellado de fisuras de concreto mediante la aplicación de bacterias Bio-precipitadoras de carbonato de calcio (CaCO ₃) - Calcita
LUGAR	: Laboratorio de Investigación de la Facultad de Ciencias de la Salud de la UAC.

Self Healing: autocuración del concreto mediante bacterias

PRUEBA DE PERMEABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Self Healing	Prisma de Concreto	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	Promedio T ₈₆ DÍAS (hr.mn.seg)	Tiempo Total (seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
86 días	RHMA 17	100.00	T ₁₀₀	00:04:23	00:04:31	00:04:28	00:04:25	00:04:30	00:04:27	1313
		200.00	T ₂₀₀	00:08:33	00:08:47	00:08:43	00:08:36	00:08:45	00:08:41	
		300.00	T ₃₀₀	00:12:49	00:13:08	00:13:04	00:12:52	00:13:08	00:13:00	
		400.00	T ₄₀₀	00:17:12	00:17:33	00:17:29	00:17:15	00:17:33	00:17:24	
		500.00	T ₅₀₀	00:21:39	00:22:02	00:21:58	00:21:42	00:22:05	00:21:53	
Cantidad de Agua		500 mL	Permeabilidad (mL/seg.)						0.38	

PRUEBA DE PERMEABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Self Healing	Prisma de Concreto	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	Promedio T ₈₆ DÍAS (hr.mn.seg)	Tiempo Total (seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
86 días	RHMA 18	100.00	T ₁₀₀	00:00:42	00:00:48	00:00:45	00:00:43	00:00:46	00:00:45	275
		200.00	T ₂₀₀	00:01:39	00:01:44	00:01:41	00:01:39	00:01:43	00:01:41	
		300.00	T ₃₀₀	00:02:36	00:02:40	00:02:37	00:02:34	00:02:40	00:02:37	
		400.00	T ₄₀₀	00:03:33	00:03:35	00:03:33	00:03:30	00:03:35	00:03:33	
		500.00	T ₅₀₀	00:04:30	00:04:41	00:04:36	00:04:27	00:04:39	00:04:35	
Cantidad de Agua		500 mL	Permeabilidad (mL/seg.)						1.82	

PRUEBA DE PERMEABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Self Healing	Prisma de Concreto	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	Promedio T ₈₆ DÍAS (hr.mn.seg)	Tiempo Total (seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
86 días	RHMA 19	100.00	T ₁₀₀	00:05:25	00:05:35	00:05:23	00:05:31	00:05:21	00:05:27	1626
		200.00	T ₂₀₀	00:10:48	00:10:58	00:10:46	00:10:54	00:10:44	00:10:50	
		300.00	T ₃₀₀	00:16:27	00:16:36	00:16:24	00:16:33	00:16:21	00:16:28	
		400.00	T ₄₀₀	00:21:20	00:22:22	00:22:09	00:22:03	00:21:37	00:21:54	
		500.00	T ₅₀₀	00:26:33	00:27:39	00:27:30	00:26:42	00:27:08	00:27:06	
Cantidad de Agua		500 mL	Permeabilidad (mL/seg.)						0.31	

PRUEBA DE PERMEABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Self Healing	Prisma de Concreto	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	Promedio T ₈₆ DÍAS (hr.mn.seg)	Tiempo Total (seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
86 días	RHMA 20	100.00	T ₁₀₀	00:04:17	00:04:25	00:05:05	00:04:26	00:05:10	00:04:41	1446
		200.00	T ₂₀₀	00:09:10	00:09:16	00:09:47	00:09:33	00:09:36	00:09:28	
		300.00	T ₃₀₀	00:14:22	00:14:07	00:14:38	00:14:24	00:14:27	00:14:24	
		400.00	T ₄₀₀	00:19:21	00:18:58	00:19:29	00:19:15	00:19:40	00:19:21	
		500.00	T ₅₀₀	00:23:31	00:23:49	00:24:20	00:24:06	00:24:45	00:24:06	
Cantidad de Agua		500 mL	Permeabilidad (mL/seg.)						0.35	

FUENTE: Elaboración propia.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL**

RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE



PRUEBA DE PERMEABILIDAD - BACTERIAS

INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

TESIS: "ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL AGUA EN EL CONCRETO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS (BIOCONCRETO), CUSCO - 2018".

REALIZADO POR	: Renat o Héctor Mendoza Nina
PRUEBA	: Sellado de fisuras de concreto mediante la aplicación de bacterias Bio-precipitadoras de carbonato de calcio (CaCO ₃) - Calcita
LUGAR	: Laboratorio de Investigación de la Facultad de Ciencias de la Salud de la UAC.

Self Healing: autocuración del concreto mediante bacterias

PRUEBA DE PERMEABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Self Healing	Prisma de Concreto	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	Promedio T ₈₆ DÍAS (hr.mn.seg)	Tiempo Total (seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
86 días	RHMA 21	100.00	T ₁₀₀	00:03:20	00:03:31	00:03:46	00:03:32	00:03:32	00:03:32	1147
		200.00	T ₂₀₀	00:06:51	00:07:14	00:07:42	00:07:09	00:07:04	00:07:12	
		300.00	T ₃₀₀	00:10:36	00:11:25	00:11:49	00:11:07	00:10:49	00:11:09	
		400.00	T ₄₀₀	00:14:40	00:15:21	00:15:45	00:15:07	00:14:53	00:15:09	
		500.00	T ₅₀₀	00:18:46	00:19:44	00:18:46	00:18:22	00:18:59	00:19:07	
Cantidad de Agua		500 mL	Permeabilidad (mL/seg.)							0.44

PRUEBA DE PERMEABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Self Healing	Prisma de Concreto	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	Promedio T ₈₆ DÍAS (hr.mn.seg)	Tiempo Total (seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
86 días	RHMA 22	100.00	T ₁₀₀	00:04:04	00:04:17	00:03:49	00:04:11	00:04:01	00:04:04	1421
		200.00	T ₂₀₀	00:08:27	00:08:54	00:08:14	00:08:41	00:08:28	00:08:33	
		300.00	T ₃₀₀	00:13:21	00:14:14	00:12:42	00:13:35	00:13:23	00:13:27	
		400.00	T ₄₀₀	00:18:35	00:19:47	00:17:37	00:18:49	00:18:34	00:18:40	
		500.00	T ₅₀₀	00:23:37	00:24:36	00:22:52	00:23:51	00:23:31	00:23:41	
Cantidad de Agua		500 mL	Permeabilidad (mL/seg.)							0.35

PRUEBA DE PERMEABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Self Healing	Prisma de Concreto	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	Promedio T ₈₆ DÍAS (hr.mn.seg)	Tiempo Total (seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
86 días	RHMA 23	100.00	T ₁₀₀	00:03:12	00:03:23	00:03:15	00:03:19	00:03:15	00:03:17	1387
		200.00	T ₂₀₀	00:07:39	00:08:05	00:07:47	00:07:57	00:07:49	00:07:51	
		300.00	T ₃₀₀	00:12:32	00:13:23	00:12:40	00:13:02	00:12:42	00:12:52	
		400.00	T ₄₀₀	00:17:44	00:18:57	00:17:52	00:18:23	00:17:49	00:18:09	
		500.00	T ₅₀₀	00:22:43	00:23:48	00:22:51	00:23:21	00:22:54	00:23:07	
Cantidad de Agua		500 mL	Permeabilidad (mL/seg.)							0.36

PRUEBA DE PERMEABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Self Healing	Prisma de Concreto	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	Promedio T ₈₆ DÍAS (hr.mn.seg)	Tiempo Total (seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
86 días	RHMA 24	100.00	T ₁₀₀	00:03:48	00:03:35	00:03:51	00:04:05	00:03:49	00:03:50	1201
		200.00	T ₂₀₀	00:07:21	00:06:47	00:07:45	00:07:38	00:07:33	00:07:25	
		300.00	T ₃₀₀	00:11:08	00:10:13	00:12:01	00:11:25	00:11:35	00:11:16	
		400.00	T ₄₀₀	00:15:24	00:14:42	00:16:36	00:15:41	00:16:00	00:15:41	
		500.00	T ₅₀₀	00:19:36	00:19:53	00:20:35	00:19:53	00:20:05	00:20:00	
Cantidad de Agua		500 mL	Permeabilidad (mL/seg.)							0.42

FUENTE: Elaboración propia.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE



PRUEBA DE PERMEABILIDAD - BACTERIAS

INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

TESIS: "ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL AGUA EN EL CONCRETO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS (BIOCONCRETO), CUSCO - 2018".

REALIZADO POR	: Renat o Héctor Mendoza Nina
PRUEBA	: Sellado de fisuras de concreto mediante la aplicación de bacterias Bio-precipitadoras de carbonato de calcio (CaCO ₃) - Calcita
LUGAR	: Laboratorio de Investigación de la Facultad de Ciencias de la Salud de la UAC.

Self Healing: autocuración del concreto mediante bacterias

PRUEBA DE PERMEABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Self Healing	Prisma de Concreto	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	Promedio T ₈₆ DÍAS (hr.mn.seg)	Tiempo Total (seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
86 días	RHMA 25	100.00	T ₁₀₀	00:02:04	00:02:15	00:01:47	00:02:02	00:02:13	00:02:04	922
		200.00	T ₂₀₀	00:04:06	00:04:31	00:03:20	00:03:35	00:04:11	00:03:57	
		300.00	T ₃₀₀	00:07:45	00:08:38	00:06:41	00:06:56	00:07:54	00:07:35	
		400.00	T ₄₀₀	00:11:17	00:12:29	00:10:21	00:10:36	00:11:26	00:11:14	
		500.00	T ₅₀₀	00:15:27	00:16:26	00:14:34	00:14:49	00:15:36	00:15:22	
Cantidad de Agua		500 mL	Permeabilidad (mL/seg.)						0.54	

PRUEBA DE PERMEABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Self Healing	Prisma de Concreto	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	Promedio T ₈₆ DÍAS (hr.mn.seg)	Tiempo Total (seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
86 días	RHMA 26	100.00	T ₁₀₀	00:01:14	00:01:17	00:01:20	00:01:14	00:01:15	00:01:16	389
		200.00	T ₂₀₀	00:02:18	00:02:21	00:02:24	00:02:17	00:02:20	00:02:20	
		300.00	T ₃₀₀	00:03:32	00:03:35	00:03:35	00:03:30	00:03:32	00:03:33	
		400.00	T ₄₀₀	00:04:58	00:05:01	00:05:04	00:04:55	00:04:59	00:04:59	
		500.00	T ₅₀₀	00:06:28	00:06:29	00:06:33	00:06:26	00:06:28	00:06:29	
Cantidad de Agua		500 mL	Permeabilidad (mL/seg.)						1.29	

PRUEBA DE PERMEABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Self Healing	Prisma de Concreto	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	Promedio T ₈₆ DÍAS (hr.mn.seg)	Tiempo Total (seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
86 días	RHMA 27	100.00	T ₁₀₀	00:03:49	00:03:54	00:03:57	00:03:47	00:03:44	00:03:50	1167
		200.00	T ₂₀₀	00:07:10	00:07:13	00:07:16	00:07:11	00:07:10	00:07:12	
		300.00	T ₃₀₀	00:11:00	00:10:58	00:11:07	00:11:00	00:10:59	00:11:01	
		400.00	T ₄₀₀	00:15:01	00:15:21	00:15:26	00:15:15	00:15:11	00:15:15	
		500.00	T ₅₀₀	00:19:22	00:19:31	00:19:30	00:19:25	00:19:29	00:19:27	
Cantidad de Agua		500 mL	Permeabilidad (mL/seg.)						0.43	

PRUEBA DE PERMEABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Self Healing	Prisma de Concreto	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	Promedio T ₈₆ DÍAS (hr.mn.seg)	Tiempo Total (seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
86 días	RHMA 28	100.00	T ₁₀₀	00:04:17	00:04:05	00:04:08	00:04:15	00:04:09	00:04:11	1425
		200.00	T ₂₀₀	00:08:44	00:08:31	00:08:35	00:08:52	00:08:46	00:08:42	
		300.00	T ₃₀₀	00:13:37	00:13:22	00:13:28	00:13:45	00:13:39	00:13:34	
		400.00	T ₄₀₀	00:18:49	00:18:35	00:18:40	00:18:40	00:18:47	00:18:47	
		500.00	T ₅₀₀	00:23:48	00:23:40	00:23:39	00:23:53	00:23:47	00:23:45	
Cantidad de Agua		500 mL	Permeabilidad (mL/seg.)						0.35	

FUENTE: Elaboración propia.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL**

RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE



PRUEBA DE PERMEABILIDAD - BACTERIAS

INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

TESIS: "ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL AGUA EN EL CONCRETO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS (BIOCONCRETO), CUSCO - 2018".

REALIZADO POR	: Renat o Héctor Mendoza Nina
PRUEBA	: Sellado de fisuras de concreto mediante la aplicación de bacterias Bio-precipitadoras de carbonato de calcio (CaCO ₃) - Calcita
LUGAR	: Laboratorio de Investigación de la Facultad de Ciencias de la Salud de la UAC.

Self Healing: aut ocuración del concret o mediante bacterias

PRUEBA DE PERMEABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Self Healing	Prisma de Concreto	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	Promedio T _{86 DÍAS} (hr.mn.seg)	Tiempo Total (seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
86 días	RHMA 29	100.00	T ₁₀₀	00:14:36	00:14:30	00:14:25	00:14:41	00:14:32	00:14:33	4445
		200.00	T ₂₀₀	00:29:09	00:28:56	00:28:44	00:29:15	00:29:01	00:29:01	
		300.00	T ₃₀₀	00:44:06	00:43:47	00:43:27	00:44:12	00:43:52	00:43:53	
		400.00	T ₄₀₀	00:59:11	00:59:00	00:58:39	00:59:16	00:59:05	00:59:02	
		500.00	T ₅₀₀	01:14:14	01:14:05	01:13:36	01:14:19	01:14:10	01:14:05	
Cantidad de Agua	500 mL	Permeabilidad (mL/seg.)							0.11	

PRUEBA DE PERMEABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Self Healing	Prisma de Concreto	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	Promedio T _{86 DÍAS} (hr.mn.seg)	Tiempo Total (seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
86 días	RHMA 30	100.00	T ₁₀₀	00:04:12	00:04:17	00:04:23	00:04:22	00:04:15	00:04:18	1427
		200.00	T ₂₀₀	00:08:38	00:08:44	00:09:00	00:08:49	00:08:39	00:08:46	
		300.00	T ₃₀₀	00:13:29	00:13:37	00:13:53	00:13:42	00:13:29	00:13:38	
		400.00	T ₄₀₀	00:18:42	00:18:49	00:18:55	00:18:54	00:18:39	00:18:48	
		500.00	T ₅₀₀	00:23:40	00:23:48	00:24:01	00:23:53	00:23:34	00:23:47	
Cantidad de Agua	500 mL	Permeabilidad (mL/seg.)							0.35	

PRUEBA DE PERMEABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Self Healing	Prisma de Concreto	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	Promedio T _{86 DÍAS} (hr.mn.seg)	Tiempo Total (seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
86 días	RHMA 31	100.00	T ₁₀₀	00:06:20	00:06:10	00:06:15	00:06:12	00:06:17	00:06:15	2011
		200.00	T ₂₀₀	00:12:45	00:12:31	00:12:37	00:12:33	00:12:38	00:12:37	
		300.00	T ₃₀₀	00:19:25	00:19:18	00:19:25	00:19:20	00:19:25	00:19:23	
		400.00	T ₄₀₀	00:26:27	00:26:21	00:26:32	00:26:28	00:26:33	00:26:28	
		500.00	T ₅₀₀	00:33:34	00:33:30	00:33:26	00:33:29	00:33:34	00:33:31	
Cantidad de Agua	500 mL	Permeabilidad (mL/seg.)							0.25	

PRUEBA DE PERMEABILIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS PRECIPITADORAS DE CaCO ₃										
Self Healing	Prisma de Concreto	Peso de H ₂ O (gramos)	Tiempo (hr.mn.seg)	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	V ^o =750 mL	Promedio T _{86 DÍAS} (hr.mn.seg)	Tiempo Total (seg)
				Prueba 1 P ₁	Prueba 2 P ₂	Prueba 3 P ₃	Prueba 4 P ₄	Prueba 5 P ₅		
86 días	RHMA 32	100.00	T ₁₀₀	00:15:27	00:14:43	00:16:03	00:15:35	00:15:41	00:15:30	4739
		200.00	T ₂₀₀	00:30:43	00:30:06	00:31:49	00:31:15	00:30:52	00:30:57	
		300.00	T ₃₀₀	00:46:26	00:45:51	00:48:00	00:47:11	00:46:29	00:46:47	
		400.00	T ₄₀₀	01:02:28	01:02:00	01:04:33	01:03:16	01:02:26	01:02:57	
		500.00	T ₅₀₀	01:18:29	01:17:54	01:20:58	01:19:25	01:18:08	01:18:59	
Cantidad de Agua	500 mL	Permeabilidad (mL/seg.)							0.11	

FUENTE: Elaboración propia.

TESIS
UNSAAC
MAYO 2022



TESIS:
" ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL AGUA EN EL CONCRETO MEDIANTE LA
APLICACIÓN DE BACTERIAS (BIOCONCRETO, CUSCO - 2018".

GRÁFICO DE PRUEBA
DE PERMEABILIDAD

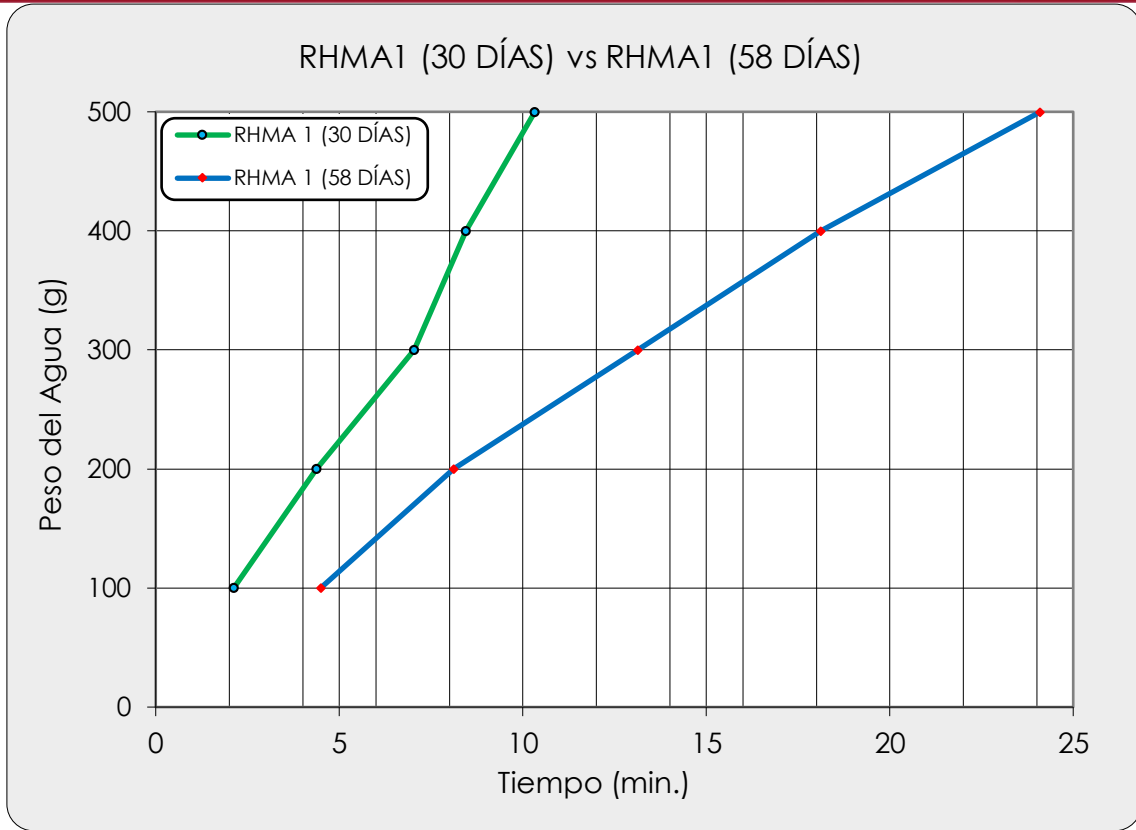


Figura 127. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 1. A los 30 días (sin aplicación de bacteria) vs 58 días (curado mediante la aplicación de solución bacteriana).

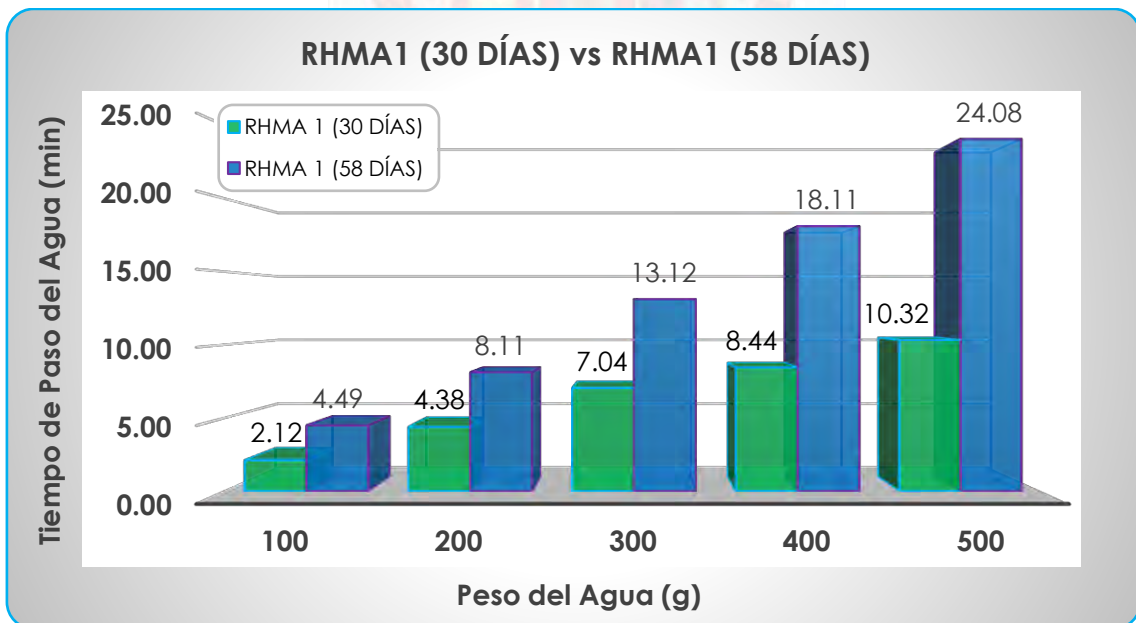


Figura 128. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 1. A los 30 días (sin solución A y B) vs 58 días (con solución A y B).

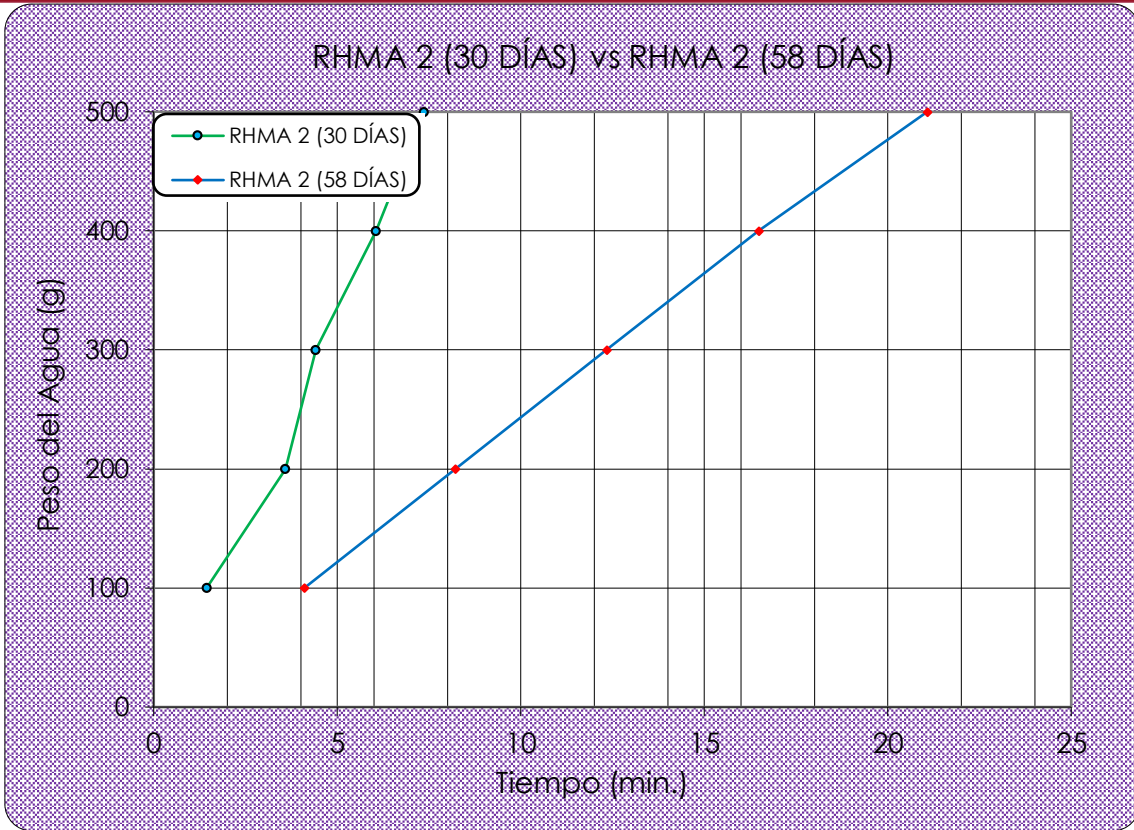


Figura 129. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 2. A los 30 días (sin aplicación de bacteria) vs 58 días (curado mediante la aplicación de solución bacteriana).

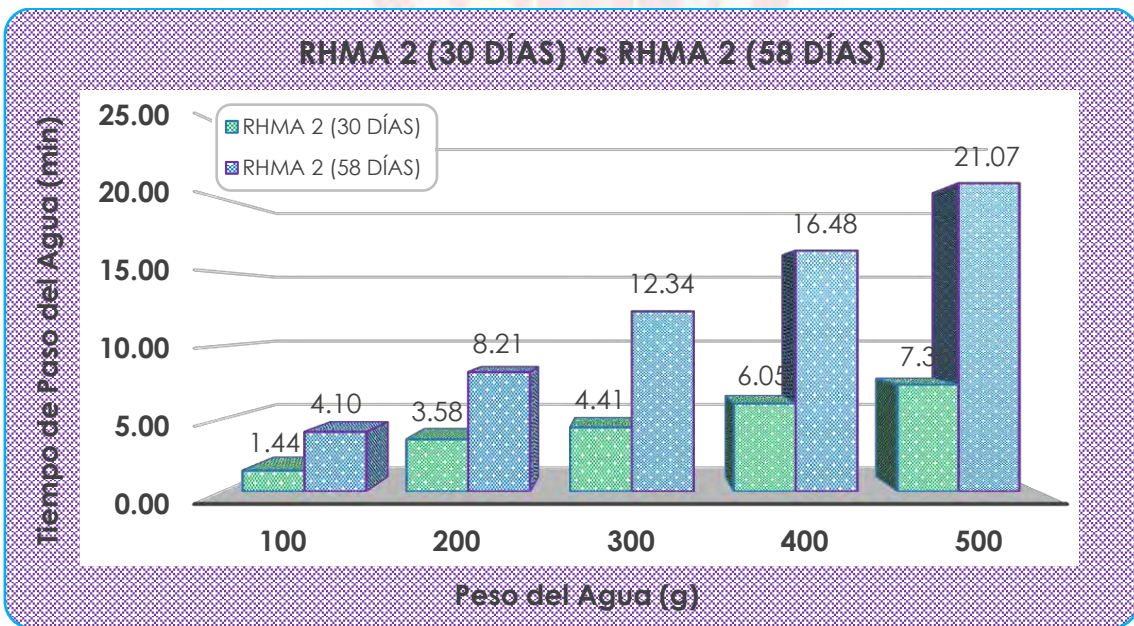


Figura 130. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 2. A los 30 días (sin solución A y B) vs 58 días (con solución A y B).

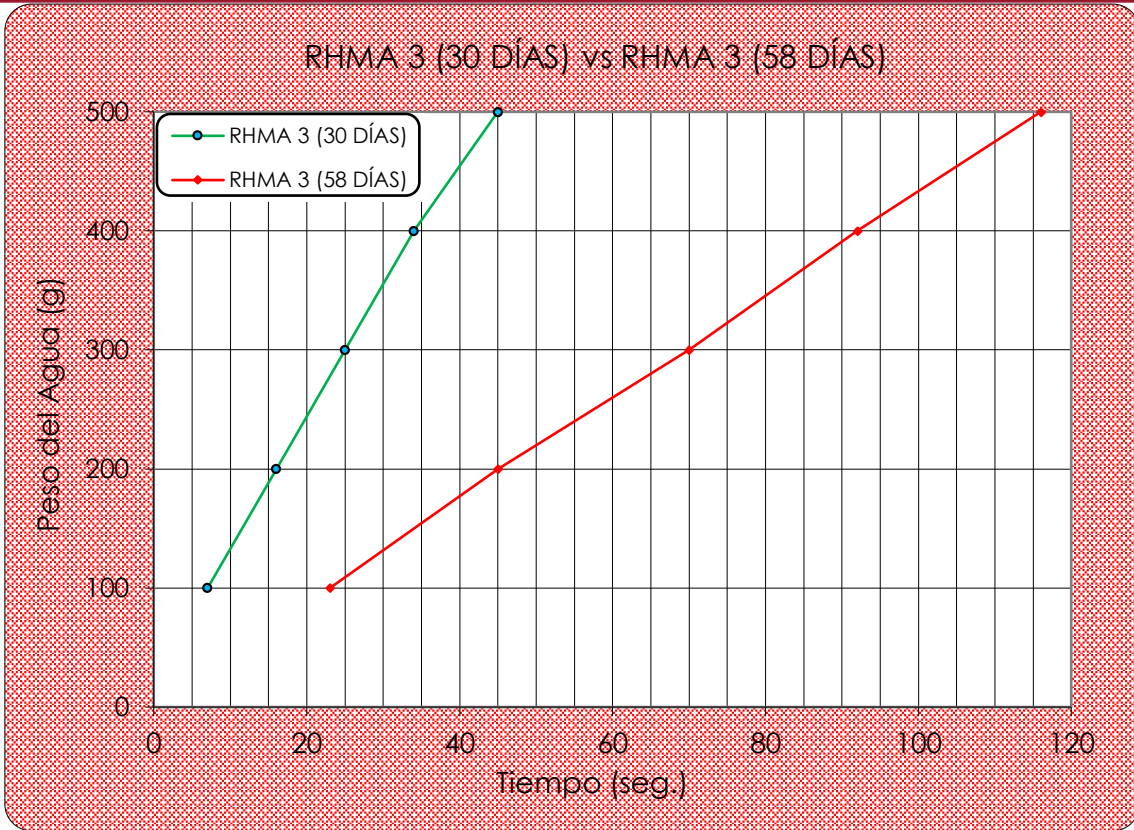


Figura 131. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 3. A los 30 días (sin aplicación de bacteria) vs 58 días (curado mediante la aplicación de solución bacteriana).

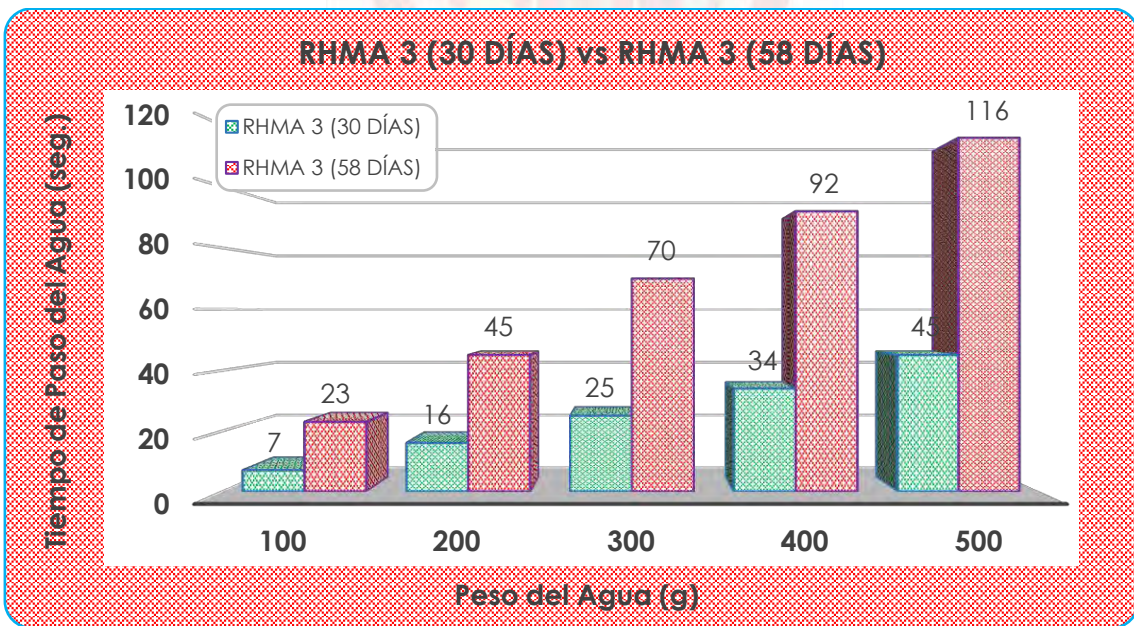


Figura 132. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 3. A los 30 días (sin solución A y B) vs 58 días (con solución A y B).

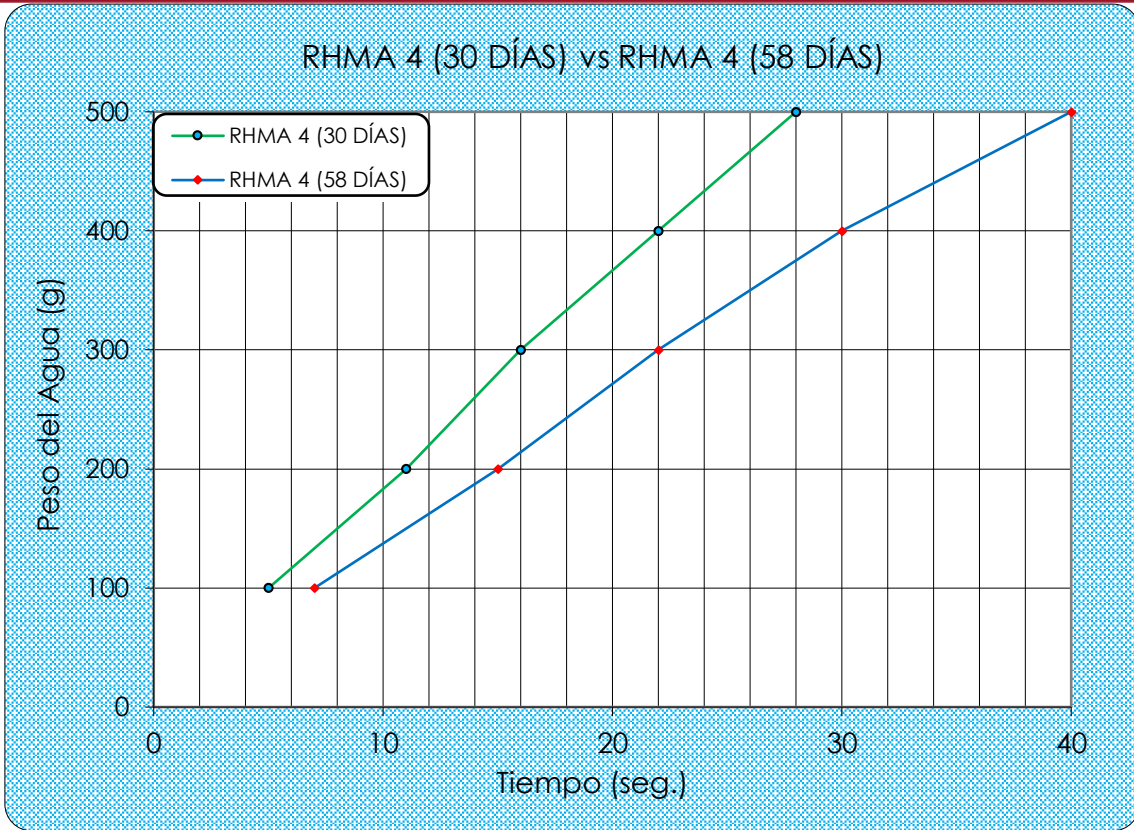


Figura 133. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 4. A los 30 días (sin aplicación de bacteria) vs 58 días (curado mediante la aplicación de solución bacteriana).

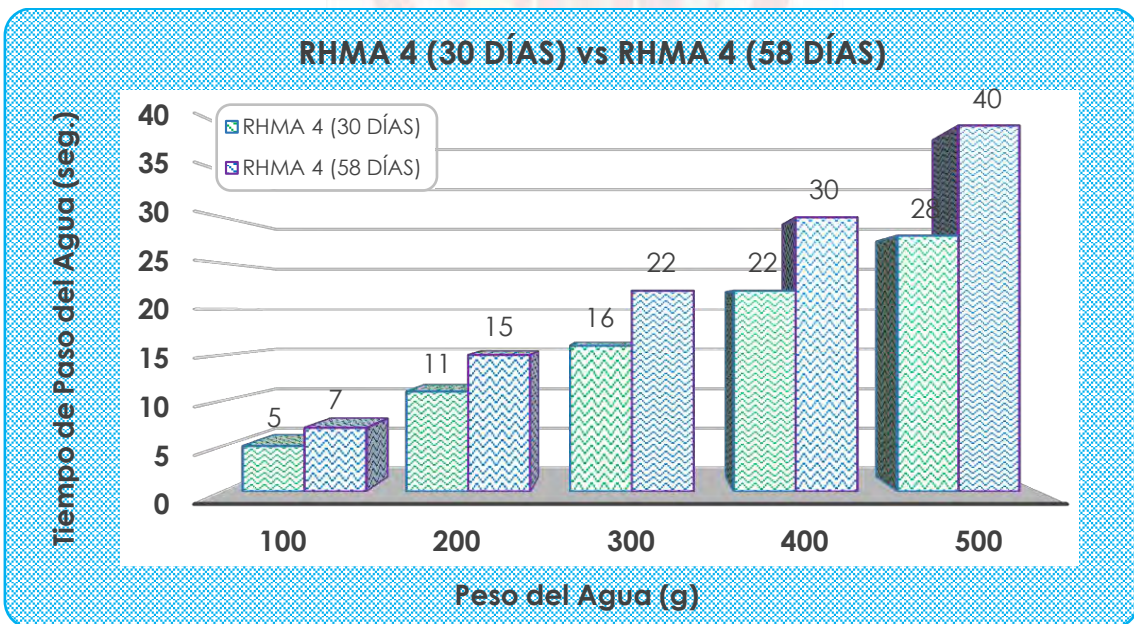


Figura 134. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 4. A los 30 días (sin solución A y B) vs 58 días (con solución A y B).

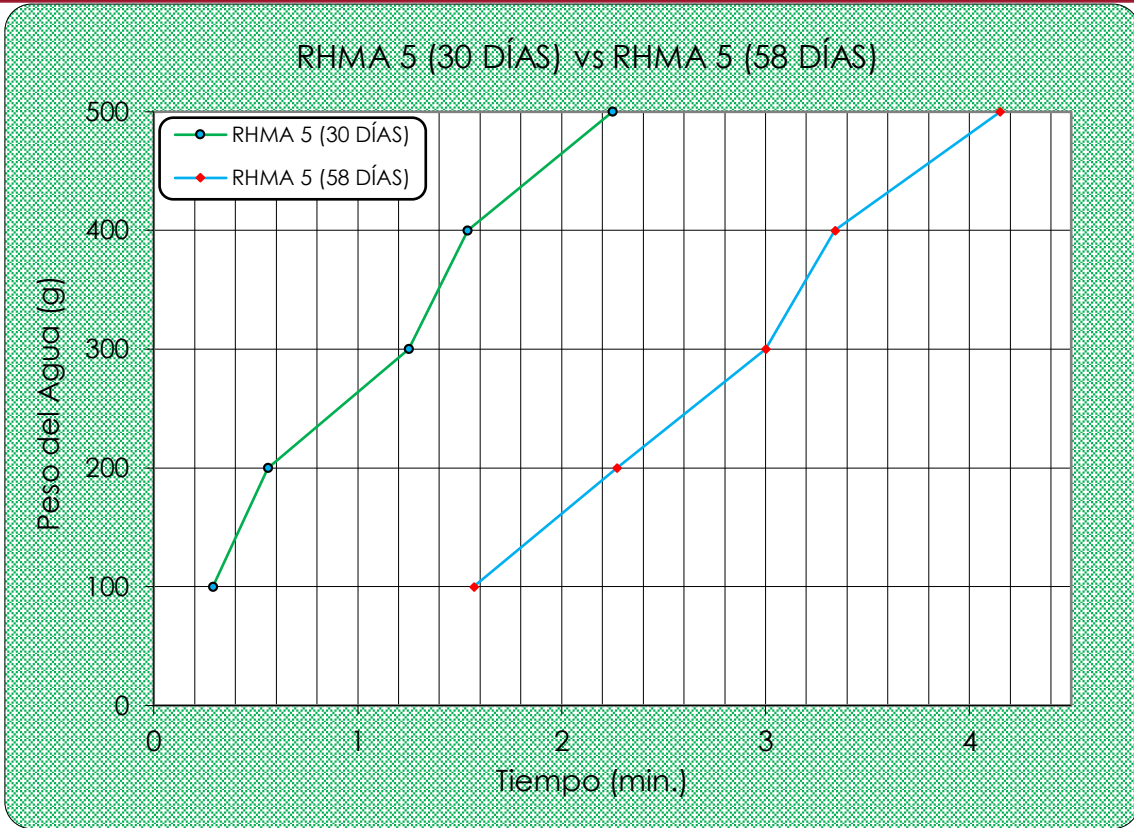


Figura 135. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 5. A los 30 días (sin aplicación de bacteria) vs 58 días (curado mediante la aplicación de solución bacteriana).

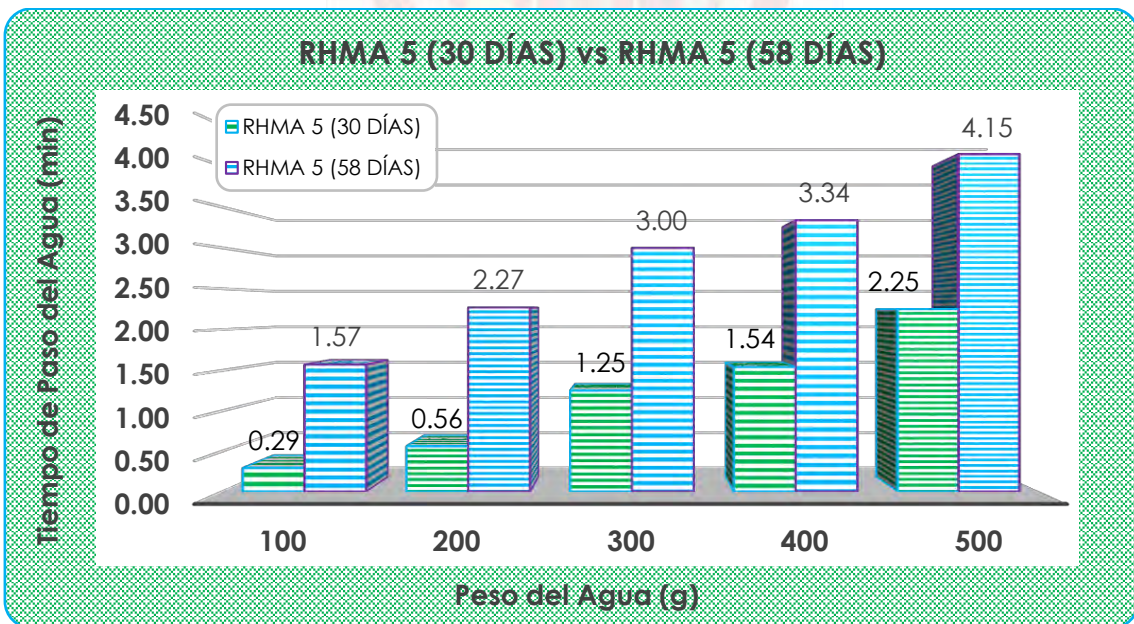


Figura 136. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 5. A los 30 días (sin solución A y B) vs 58 días (con solución A y B).

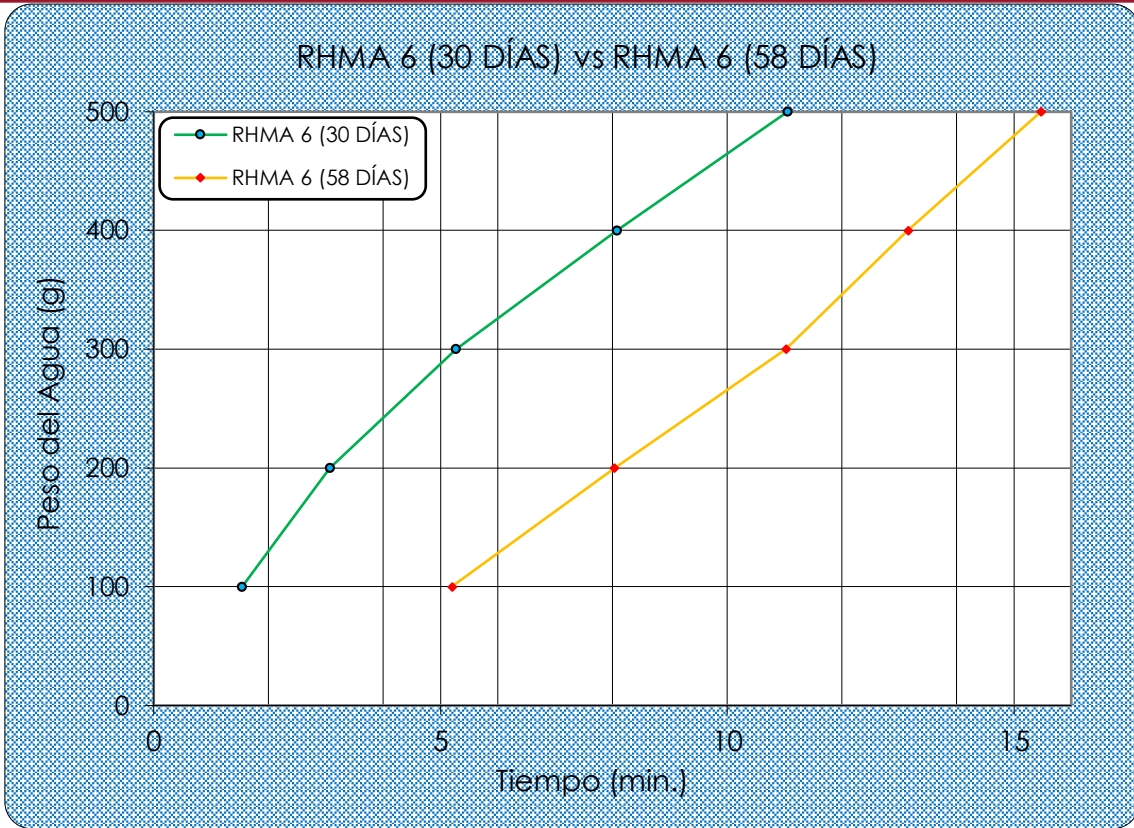


Figura 137. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 6. A los 30 días (sin aplicación de bacteria) vs 58 días (curado mediante la aplicación de solución bacteriana).

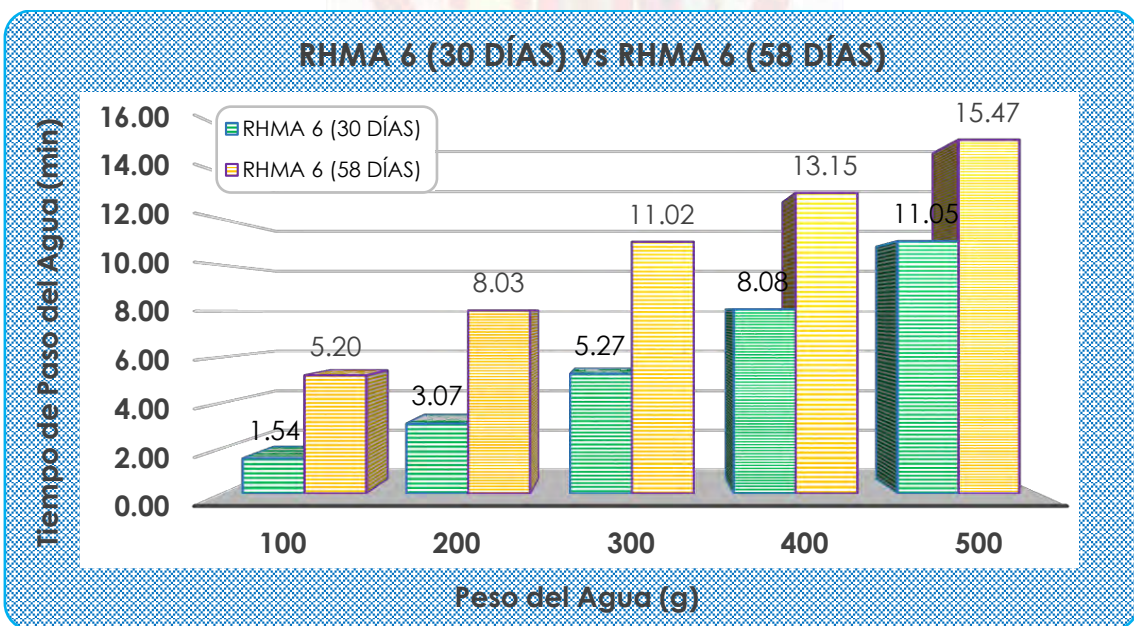


Figura 138. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 6. A los 30 días (sin solución A y B) vs 58 días (con solución A y B).

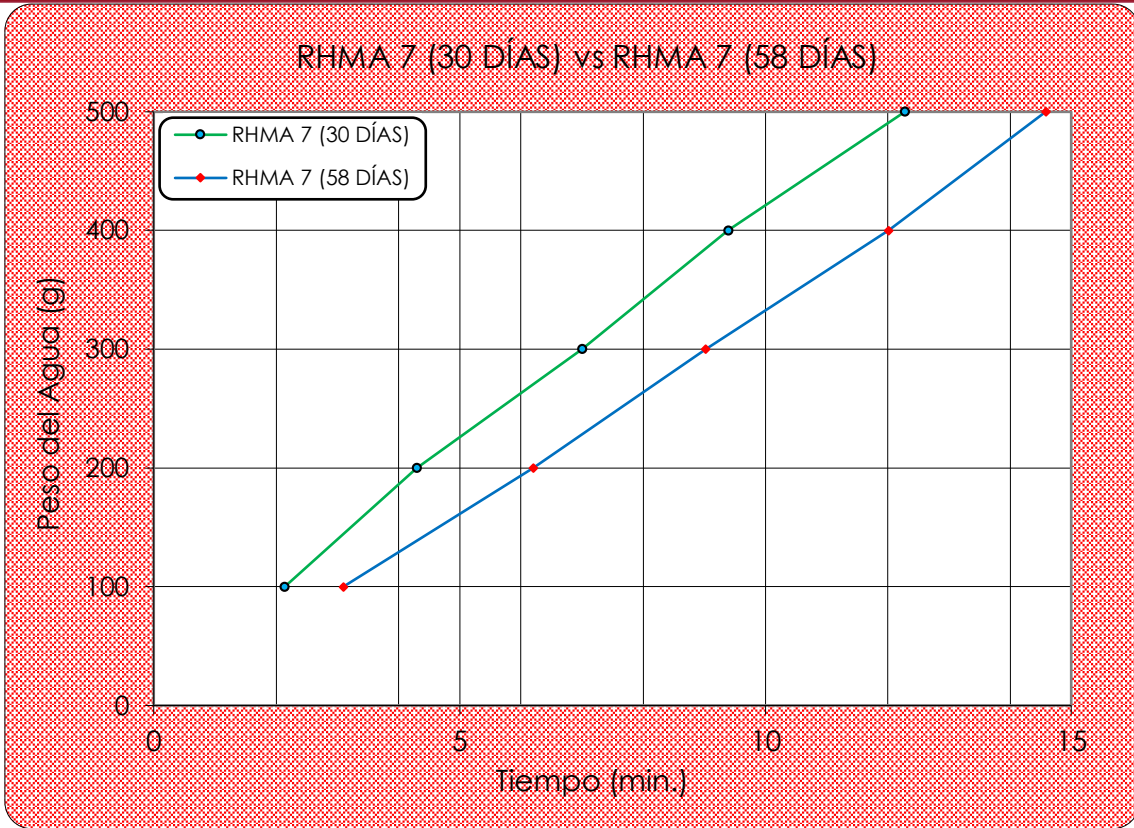


Figura 139. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 7. A los 30 días (sin aplicación de bacteria) vs 58 días (curado mediante la aplicación de solución bacteriana).

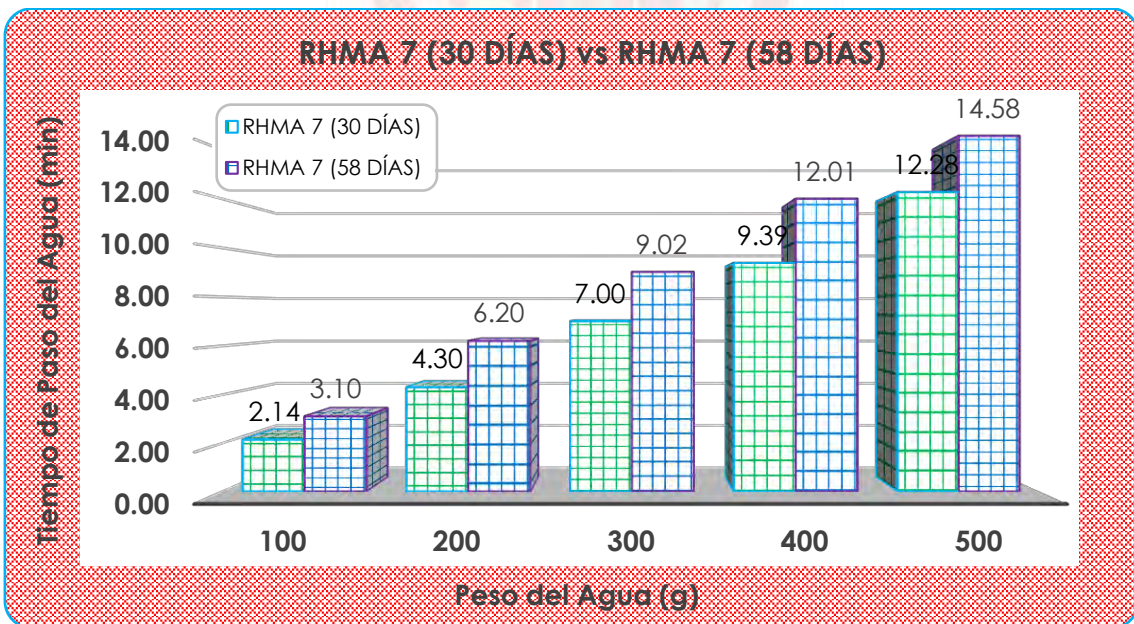


Figura 140. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 7. A los 30 días (sin solución A y B) vs 58 días (con solución A y B).

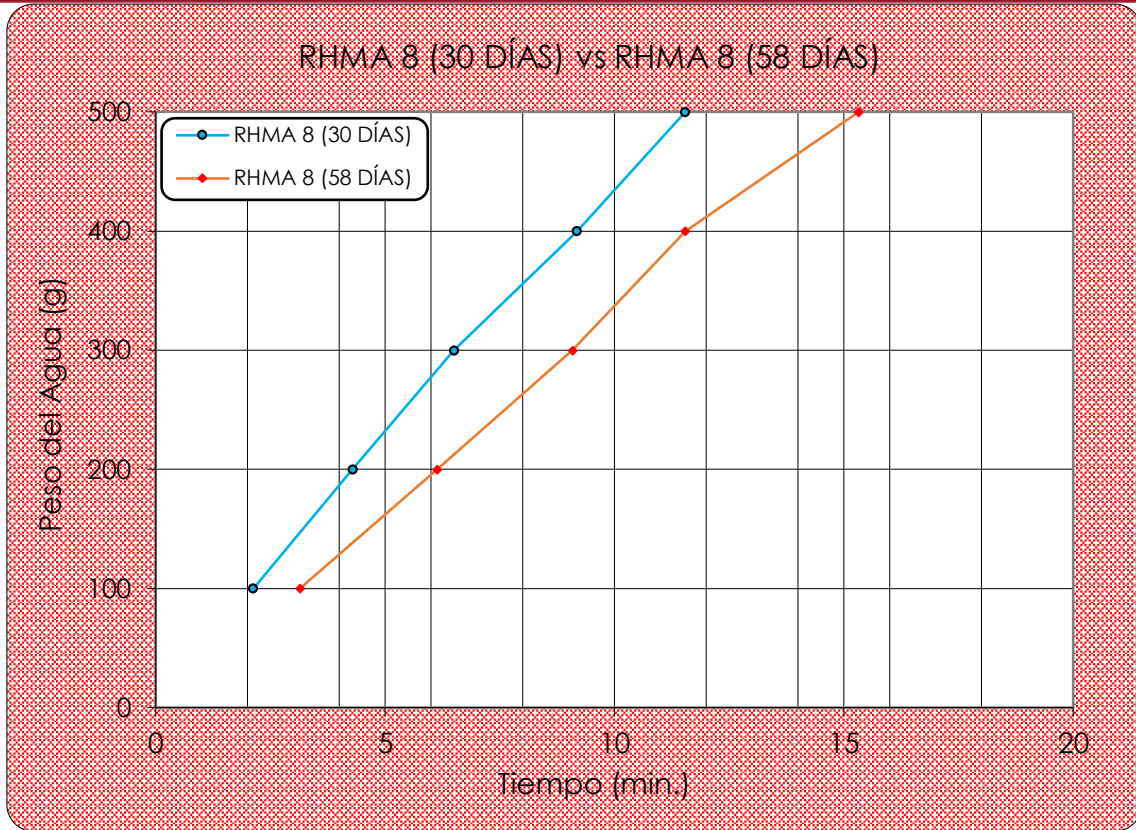


Figura 141. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 8. A los 30 días (sin aplicación de bacteria) vs 58 días (curado mediante la aplicación de solución bacteriana).

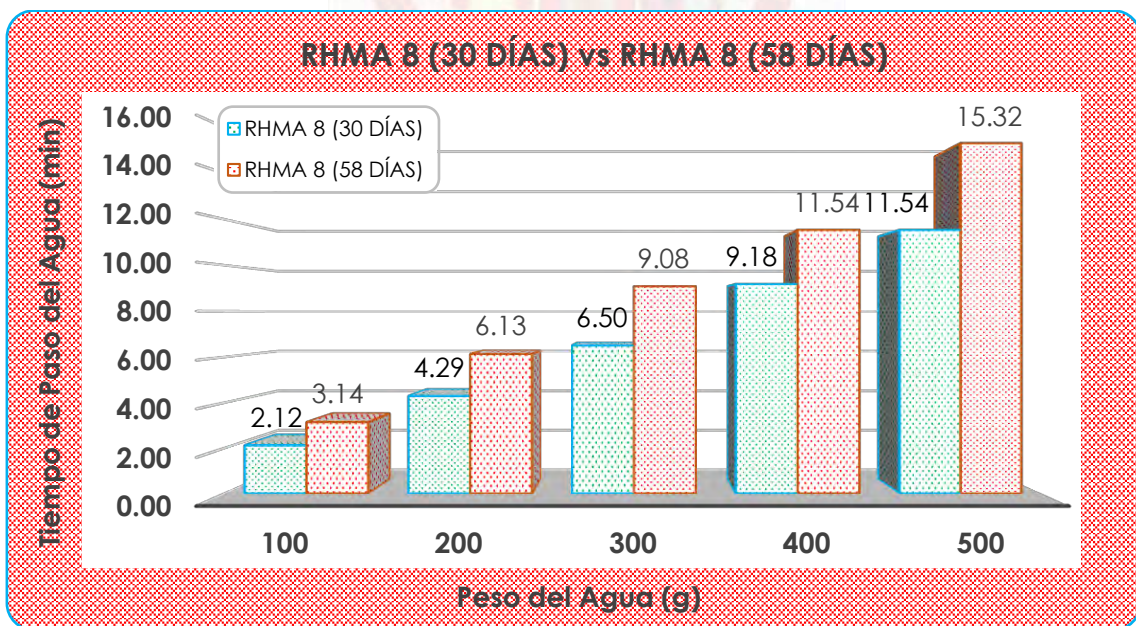


Figura 142. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 8. A los 30 días (sin solución A y B) vs 58 días (con solución A y B).

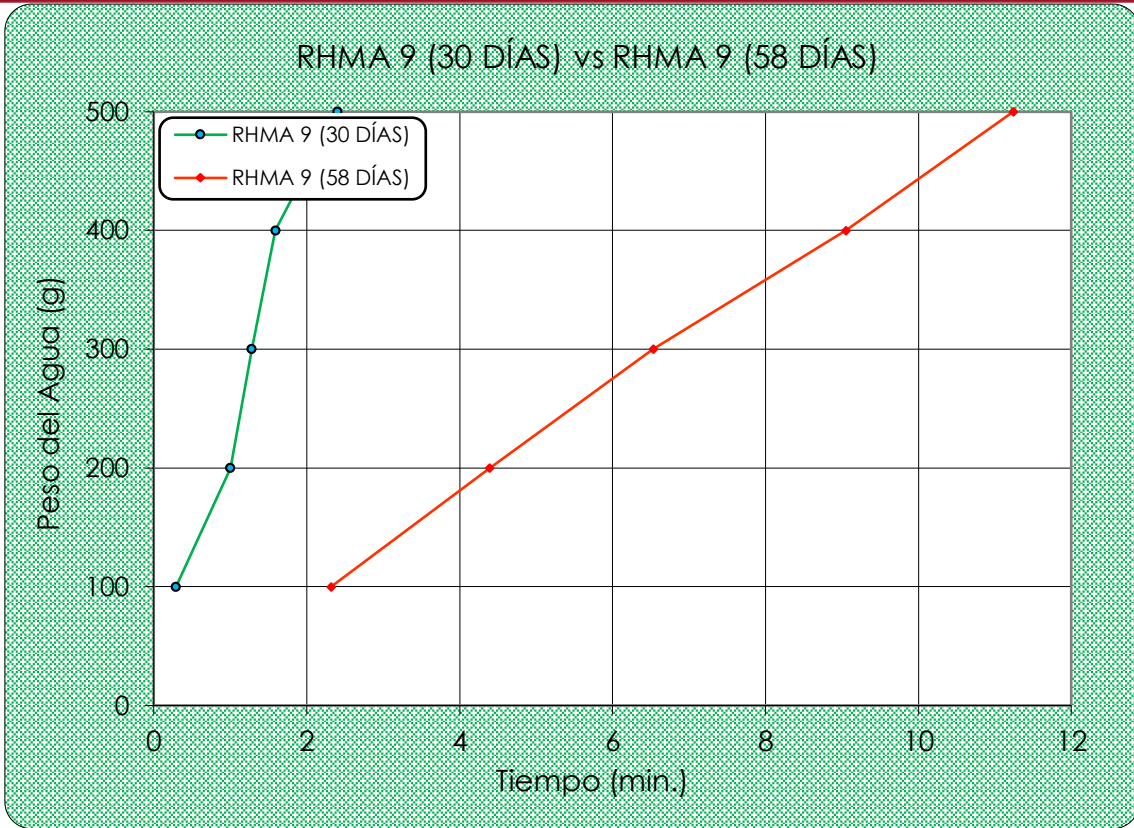


Figura 143. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 9. A los 30 días (sin aplicación de bacteria) vs 58 días (curado mediante la aplicación de solución bacteriana).

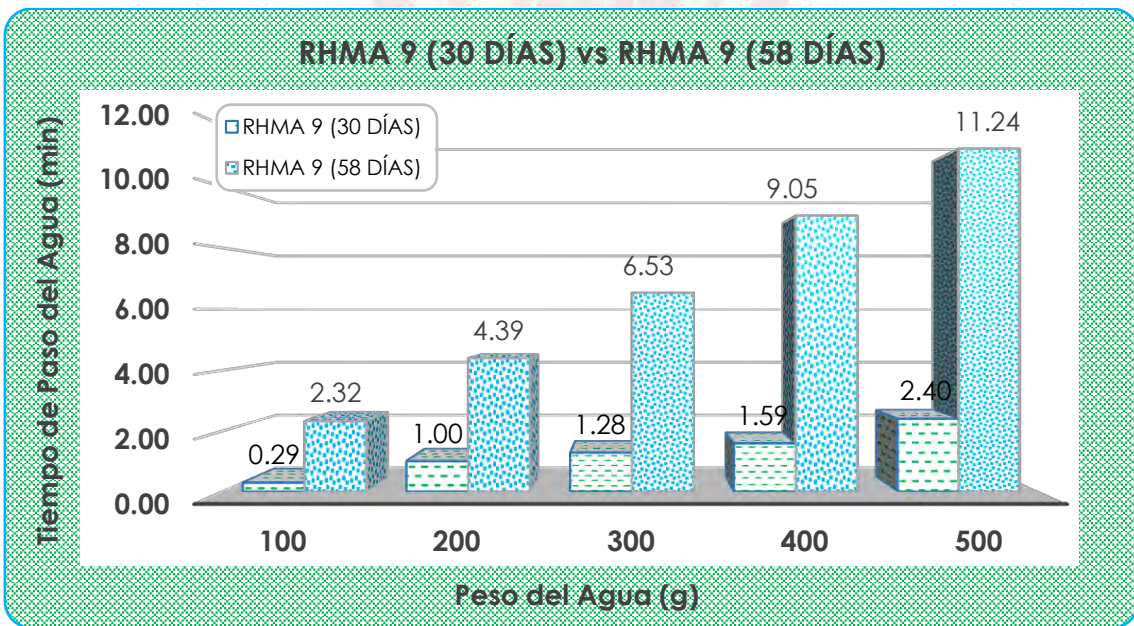


Figura 144. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 9. A los 30 días (sin solución A y B) vs 58 días (con solución A y B).

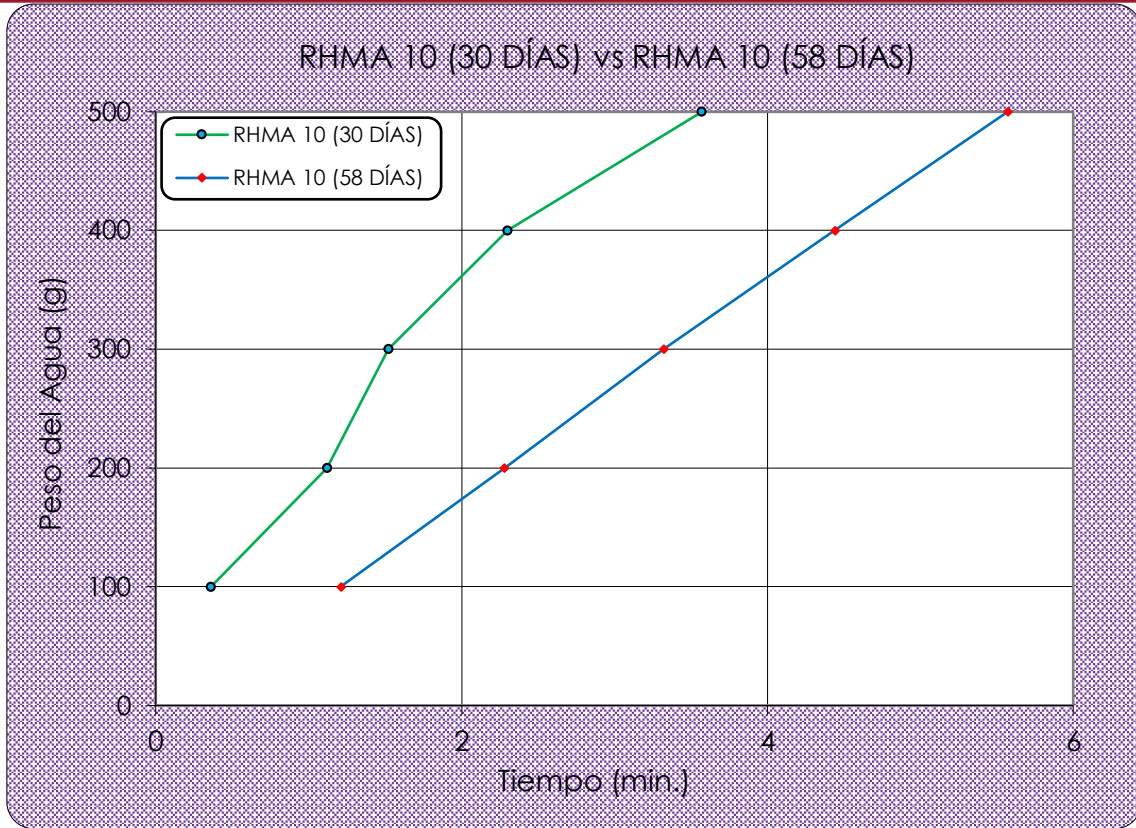


Figura 145. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 10. A los 30 días (sin aplicación de bacteria) vs 58 días (curado mediante la aplicación de solución bacteriana).

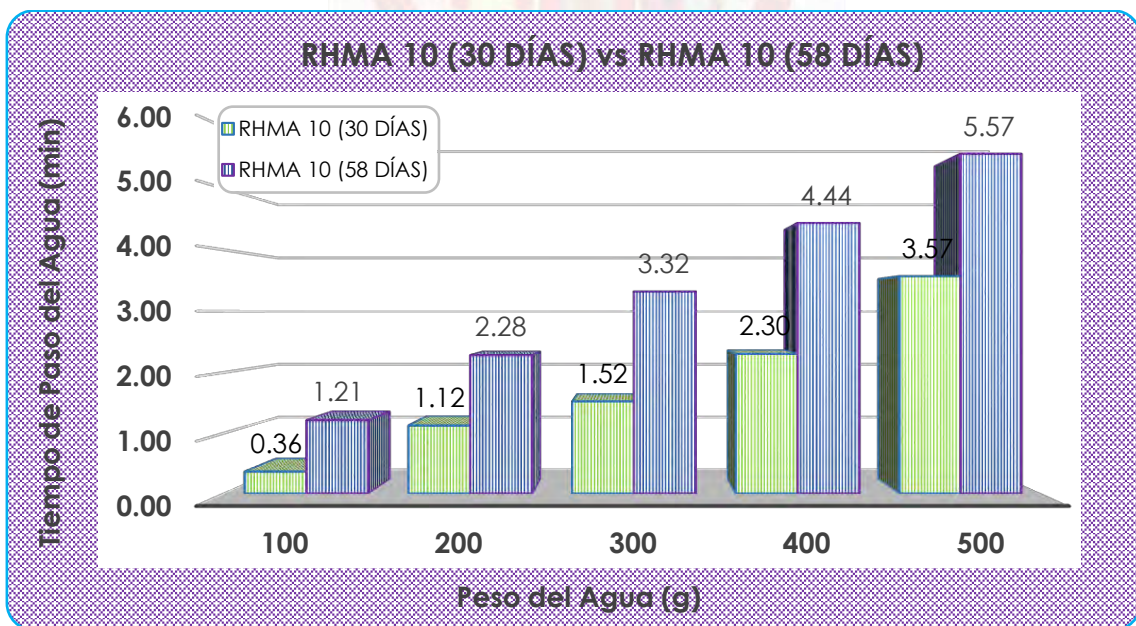


Figura 146. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 10. A los 30 días (sin solución A y B) vs 58 días (con solución A y B).

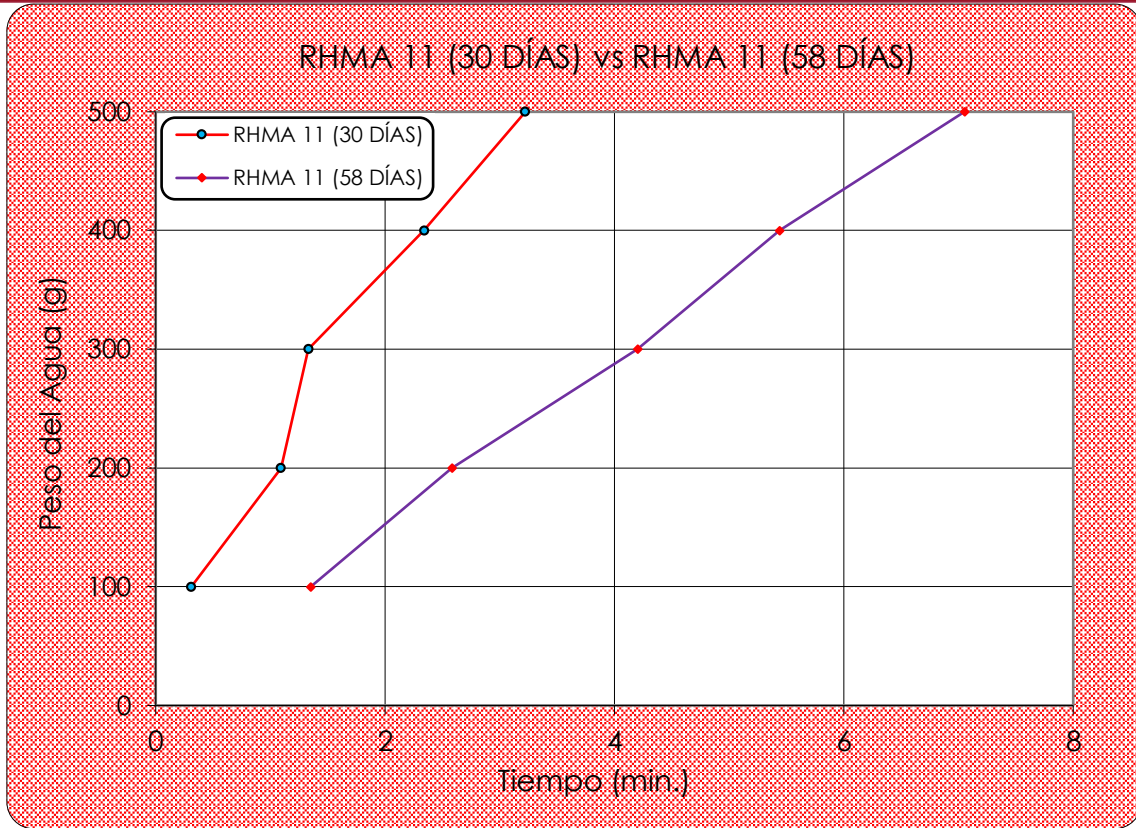


Figura 147. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 11. A los 30 días (sin aplicación de bacteria) vs 58 días (curado mediante la aplicación de solución bacteriana).

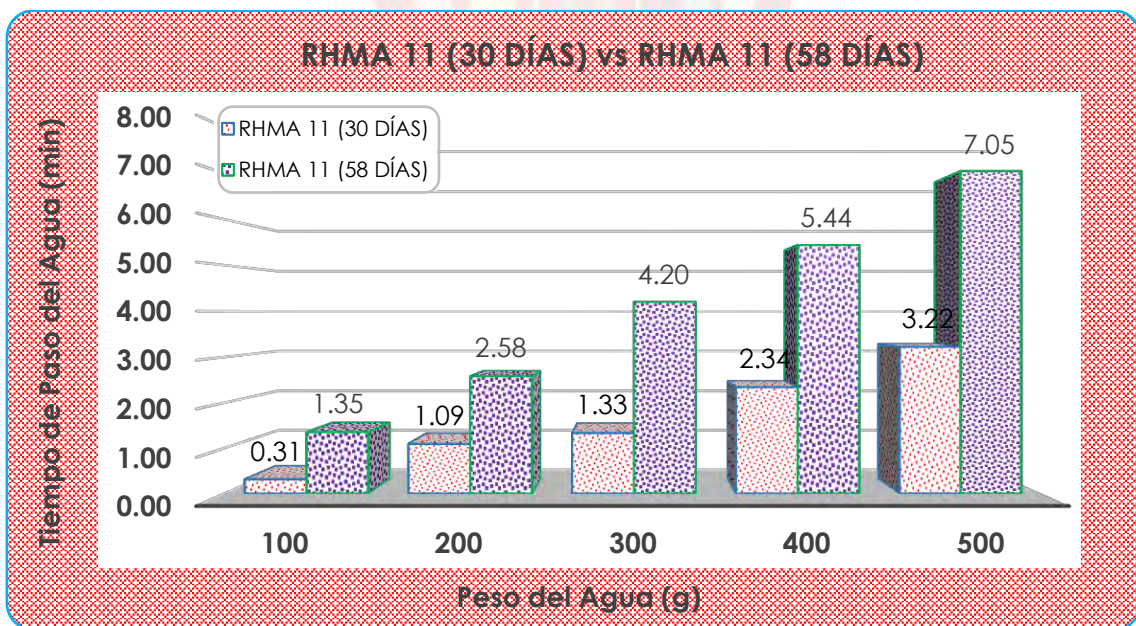


Figura 148. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 11. A los 30 días (sin solución A y B) vs 58 días (con solución A y B).

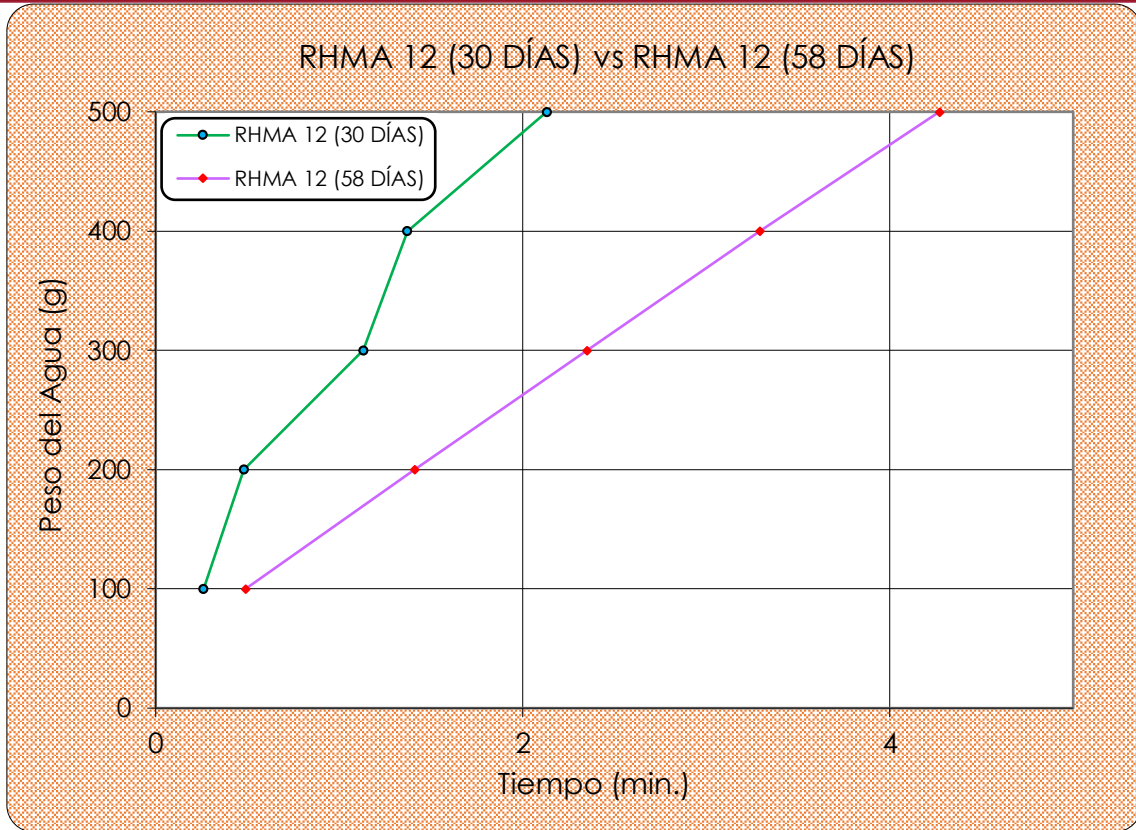


Figura 149. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 12. A los 30 días (sin aplicación de bacteria) vs 58 días (curado mediante la aplicación de solución bacteriana).

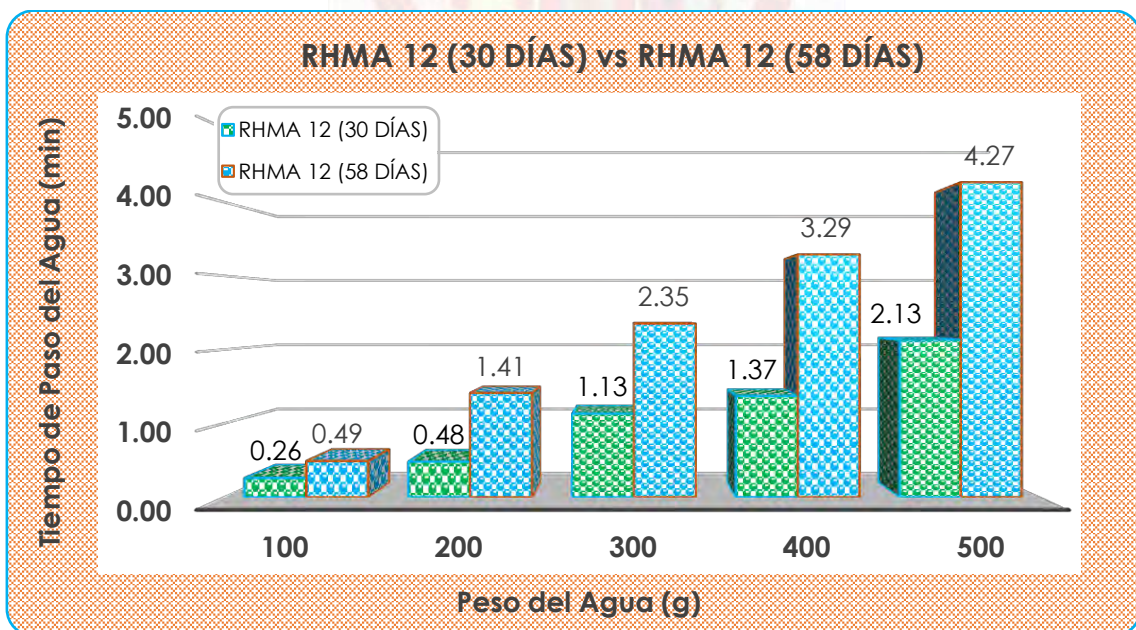


Figura 150. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 12. A los 30 días (sin solución A y B) vs 58 días (con solución A y B).

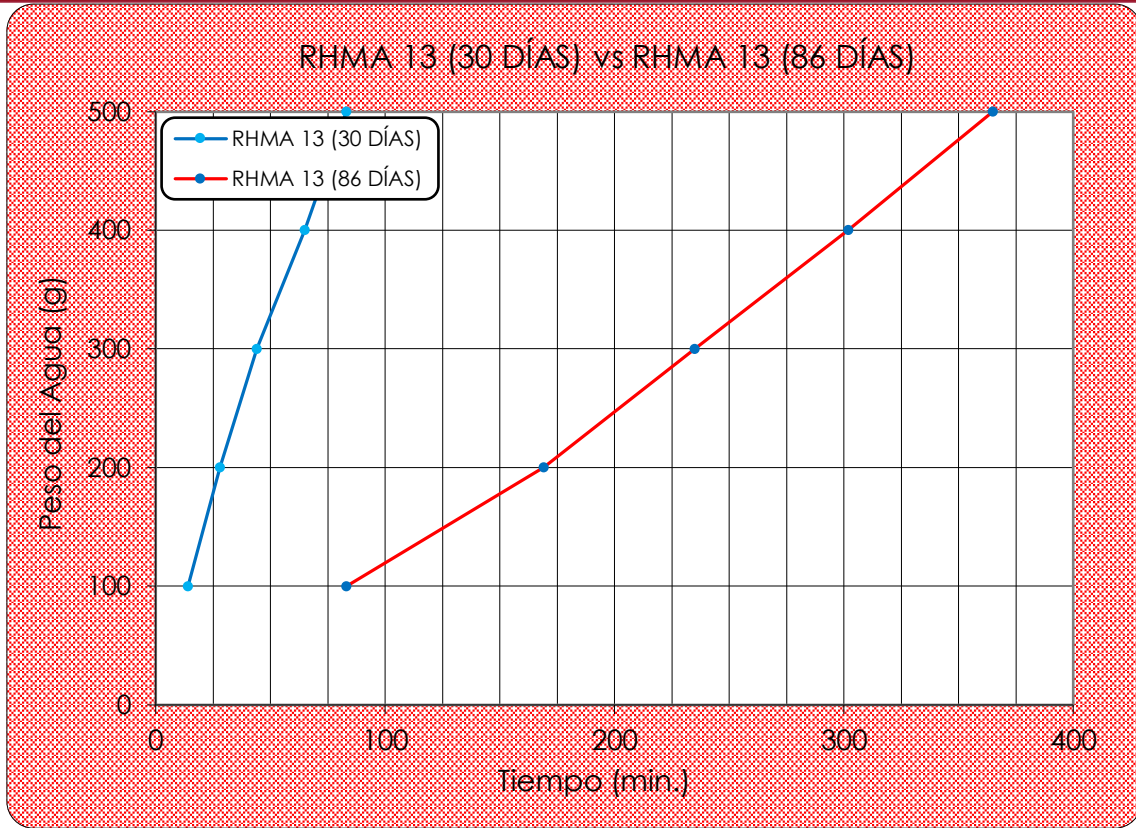


Figura 151. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 13. A los 30 días (sin aplicación de bacteria) vs 58 días (curado mediante la aplicación de solución bacteriana).

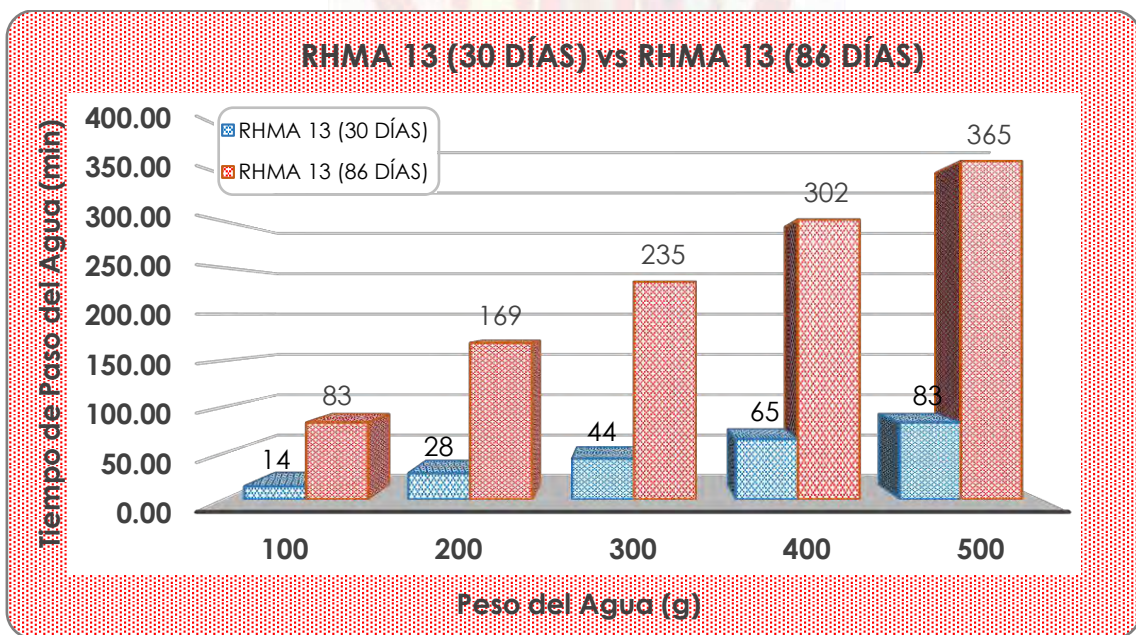


Figura 152. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 13. A los 30 días (sin solución A y B) vs 58 días (con solución A y B).

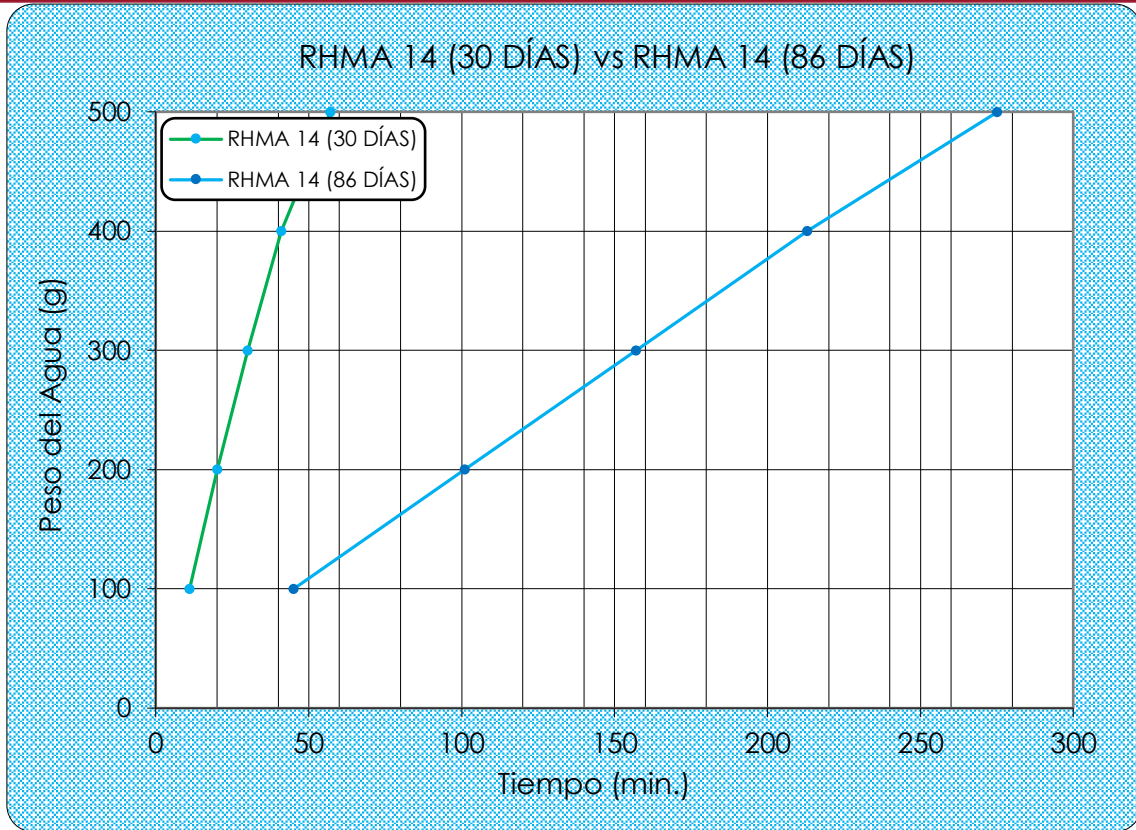


Figura 153. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 14. A los 30 días (sin aplicación de bacteria) vs 58 días (curado mediante la aplicación de solución bacteriana).

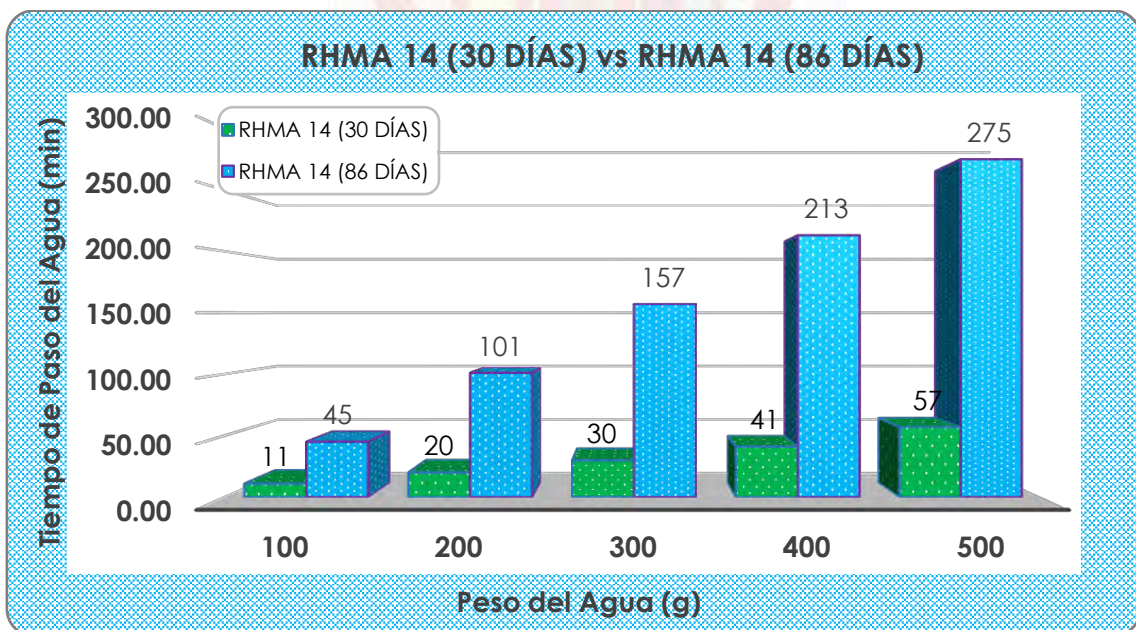


Figura 154. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 14. A los 30 días (sin solución A y B) vs 58 días (con solución A y B).

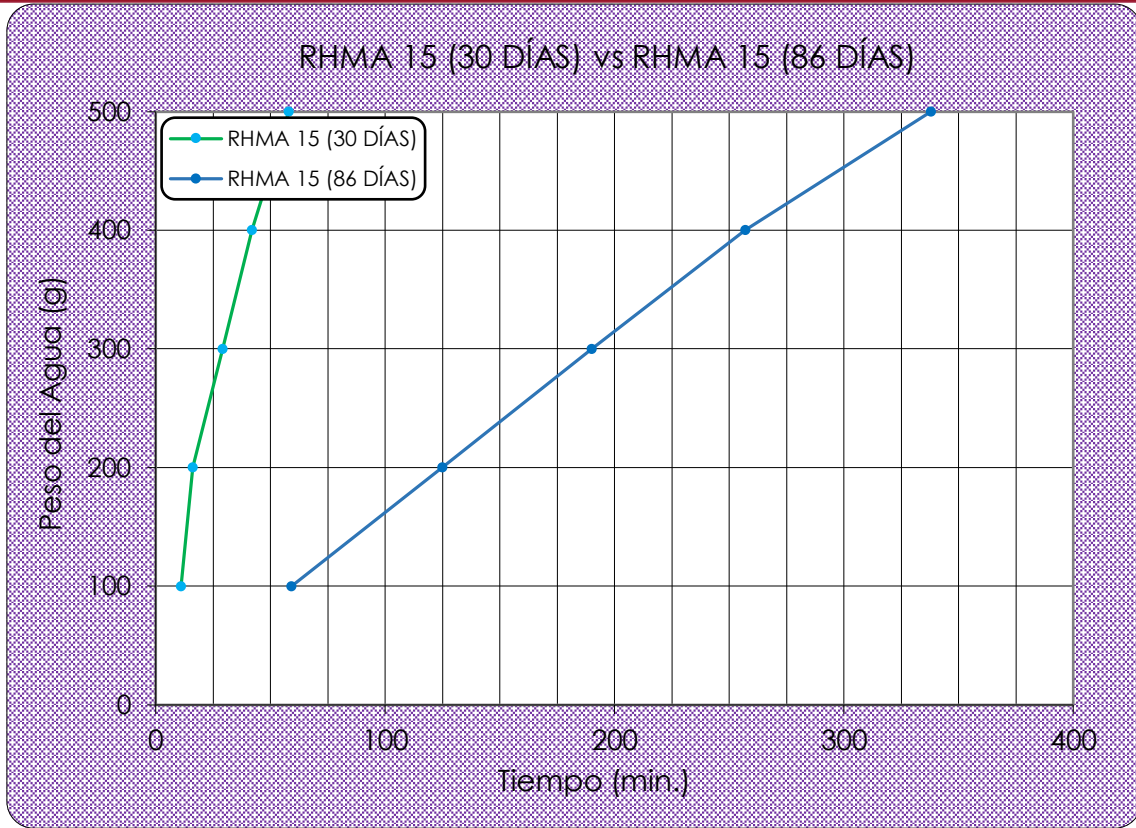


Figura 155. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 15. A los 30 días (sin aplicación de bacteria) vs 58 días (curado mediante la aplicación de solución bacteriana).

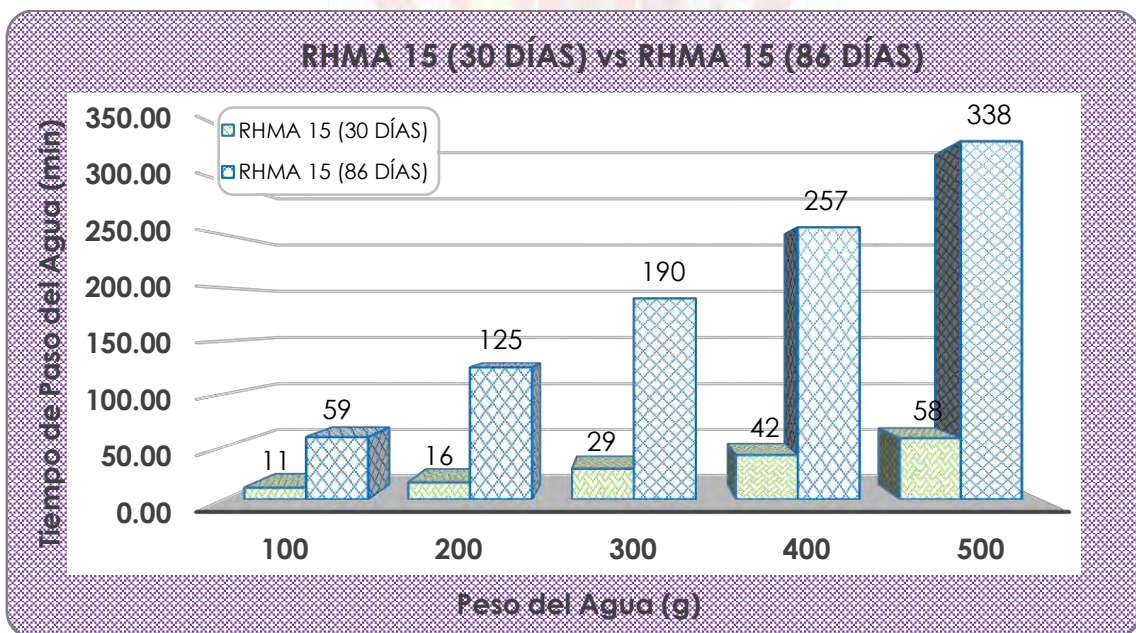


Figura 156. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 15. A los 30 días (sin solución A y B) vs 58 días (con solución A y B).

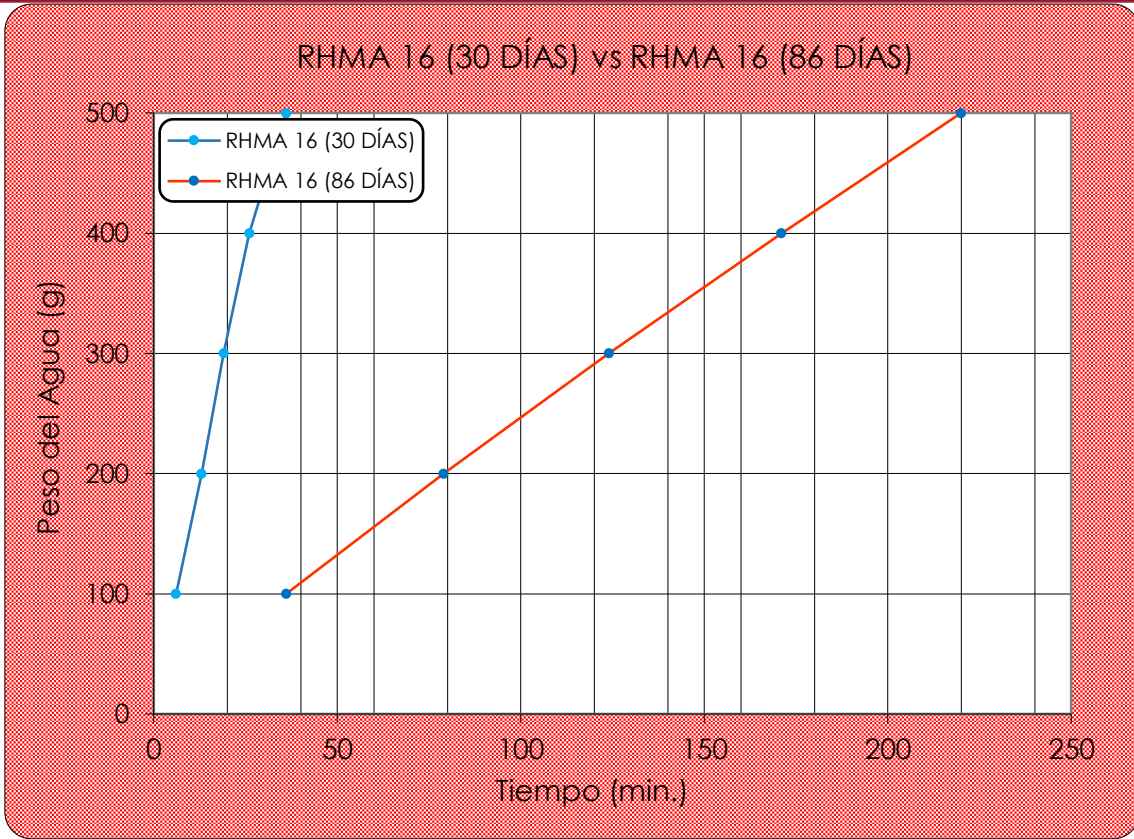


Figura 157. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 16. A los 30 días (sin aplicación de bacteria) vs 58 días (curado mediante la aplicación de solución bacteriana).

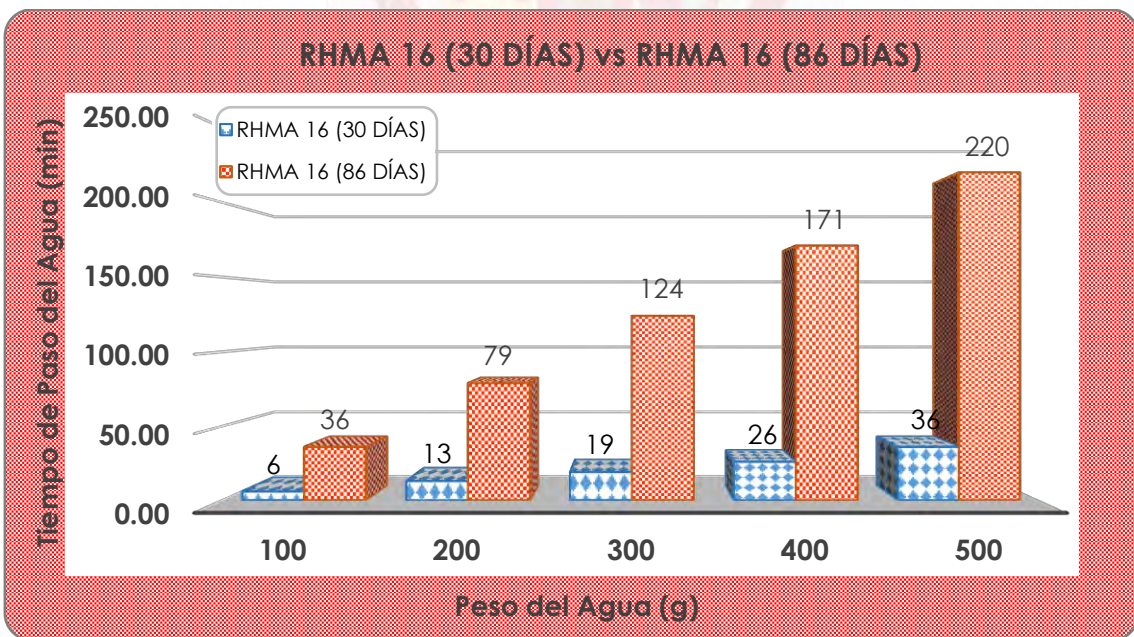


Figura 158. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 16. A los 30 días (sin solución A y B) vs 58 días (con solución A y B).

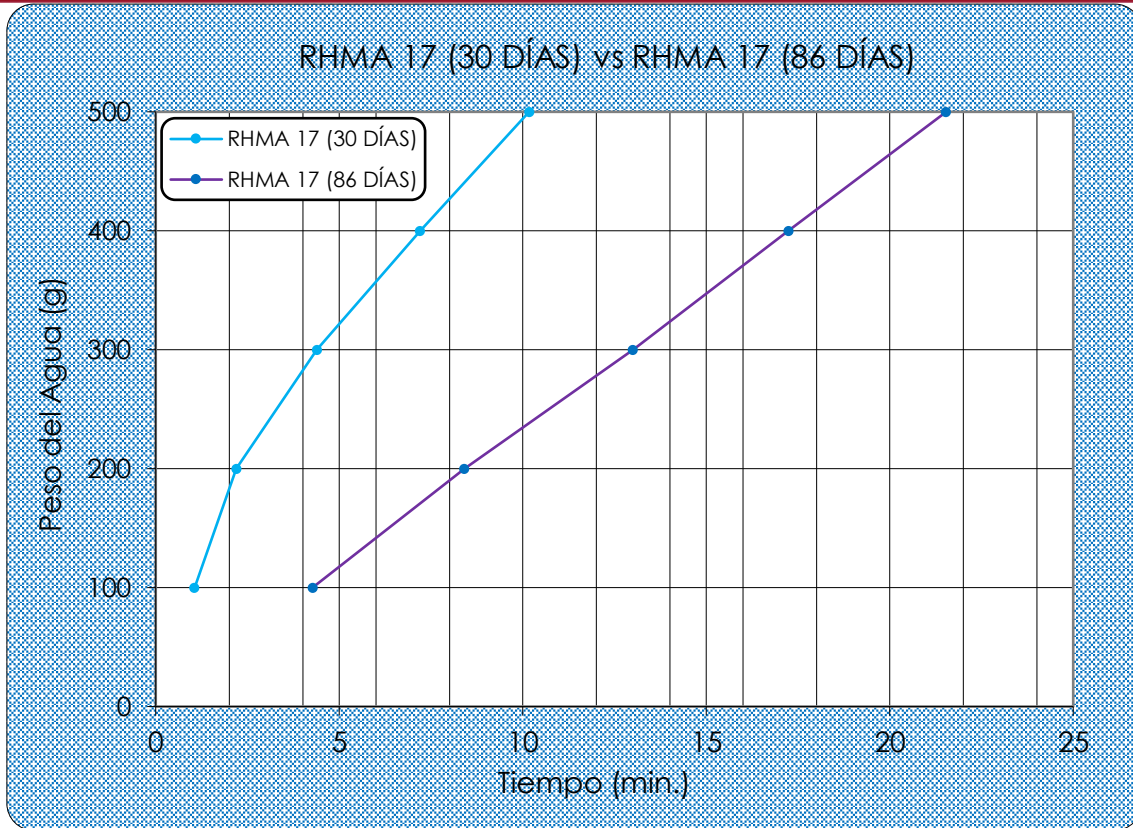


Figura 159. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 17. A los 30 días (sin aplicación de bacteria) vs 58 días (curado mediante la aplicación de solución bacteriana).

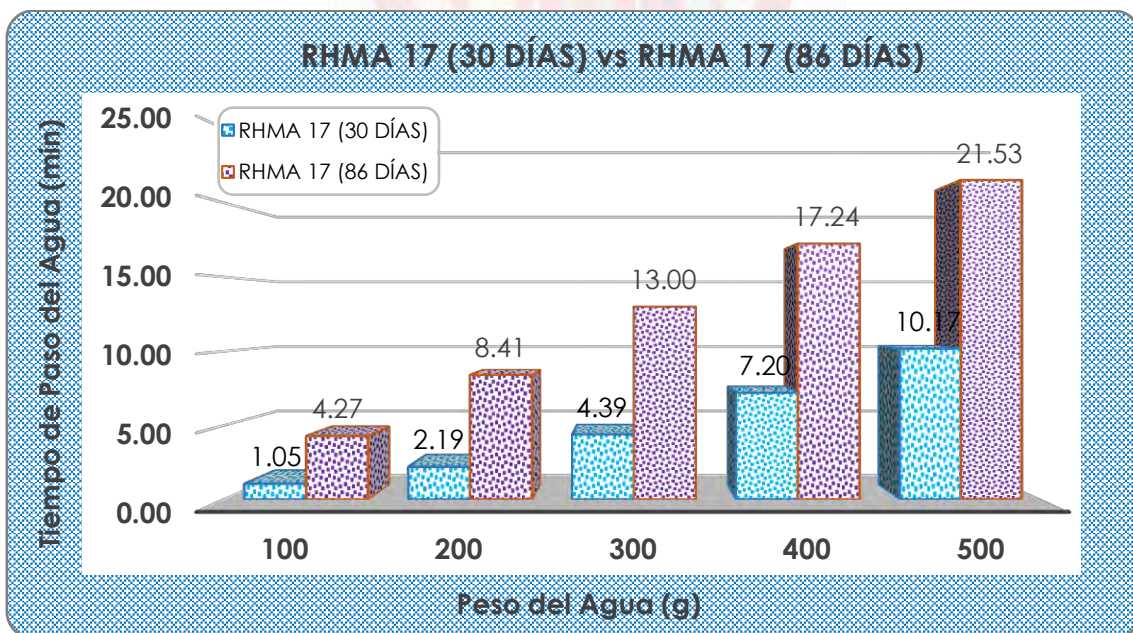


Figura 160. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 17. A los 30 días (sin solución A y B) vs 58 días (con solución A y B).

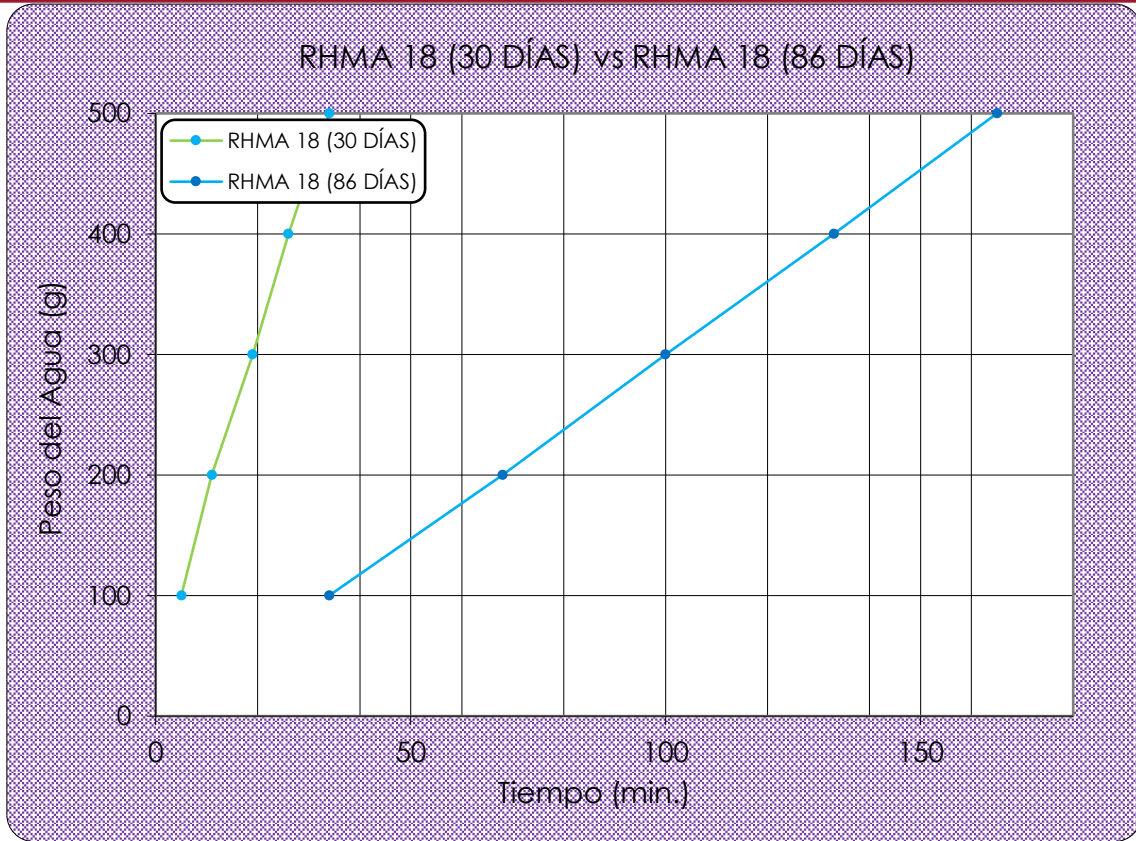


Figura 161. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 18. A los 30 días (sin aplicación de bacteria) vs 58 días (curado mediante la aplicación de solución bacteriana).

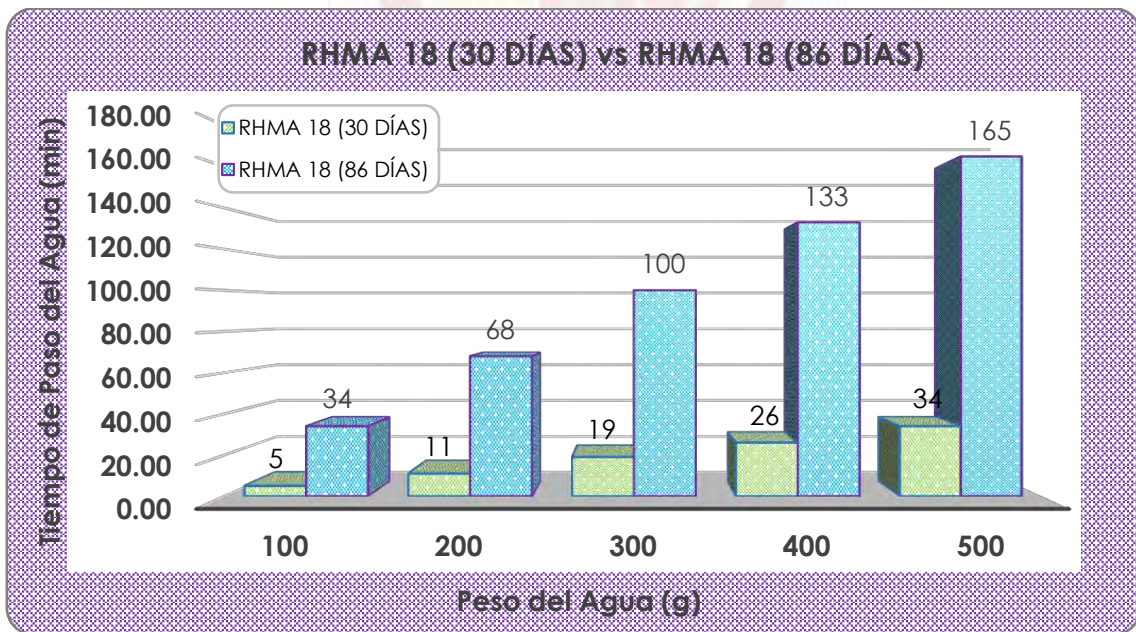


Figura 162. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 18. A los 30 días (sin solución A y B) vs 58 días (con solución A y B).

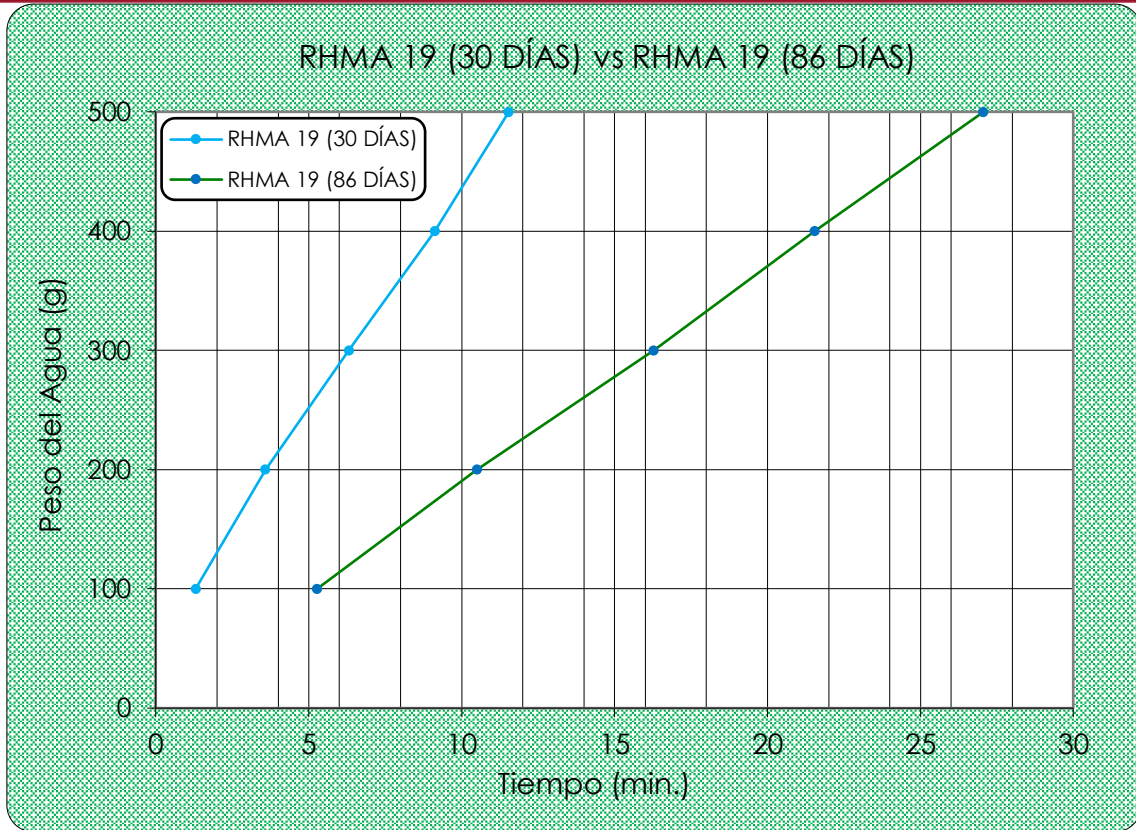


Figura 163. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 19. A los 30 días (sin aplicación de bacteria) vs 58 días (curado mediante la aplicación de solución bacteriana).

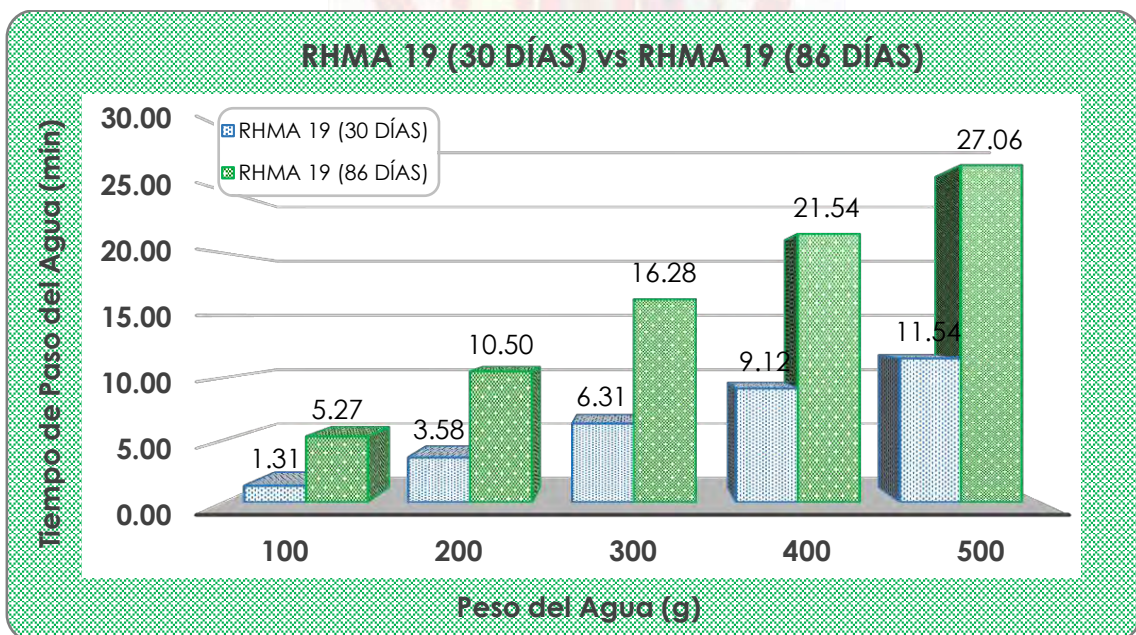


Figura 164. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 19. A los 30 días (sin solución A y B) vs 58 días (con solución A y B).

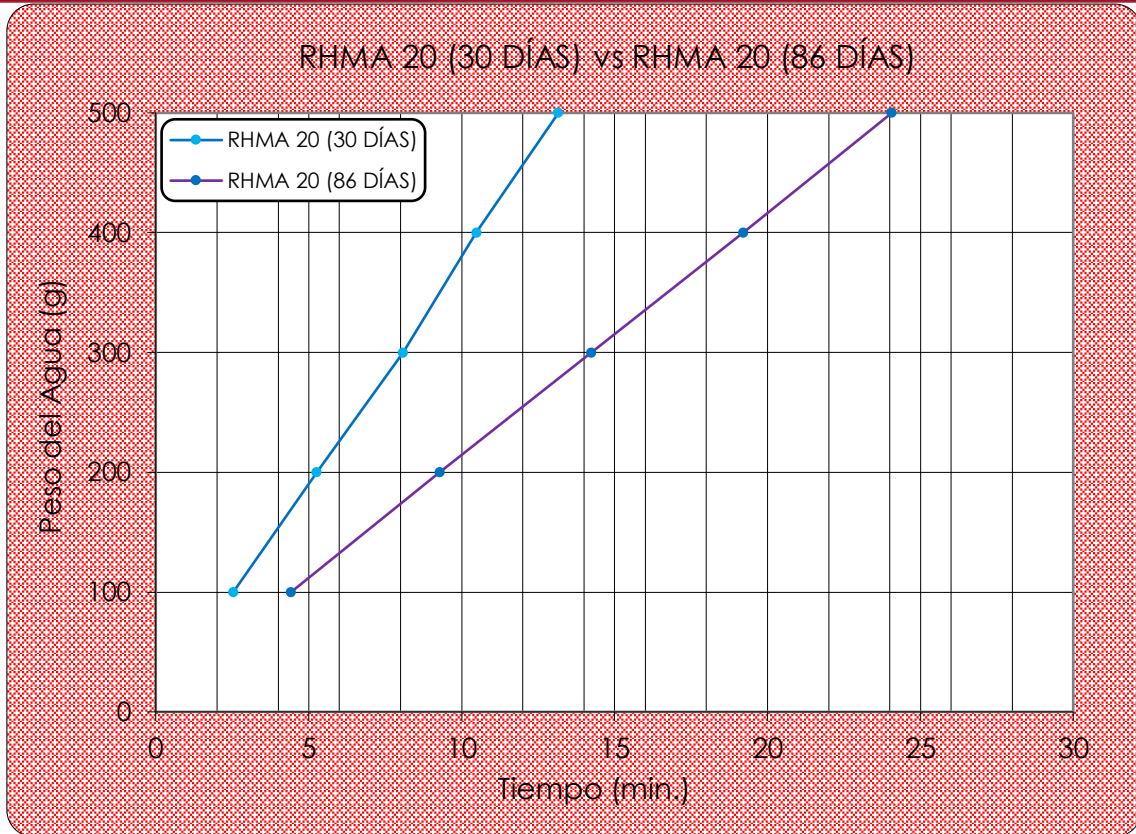


Figura 165. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 20. A los 30 días (sin aplicación de bacteria) vs 58 días (curado mediante la aplicación de solución bacteriana).

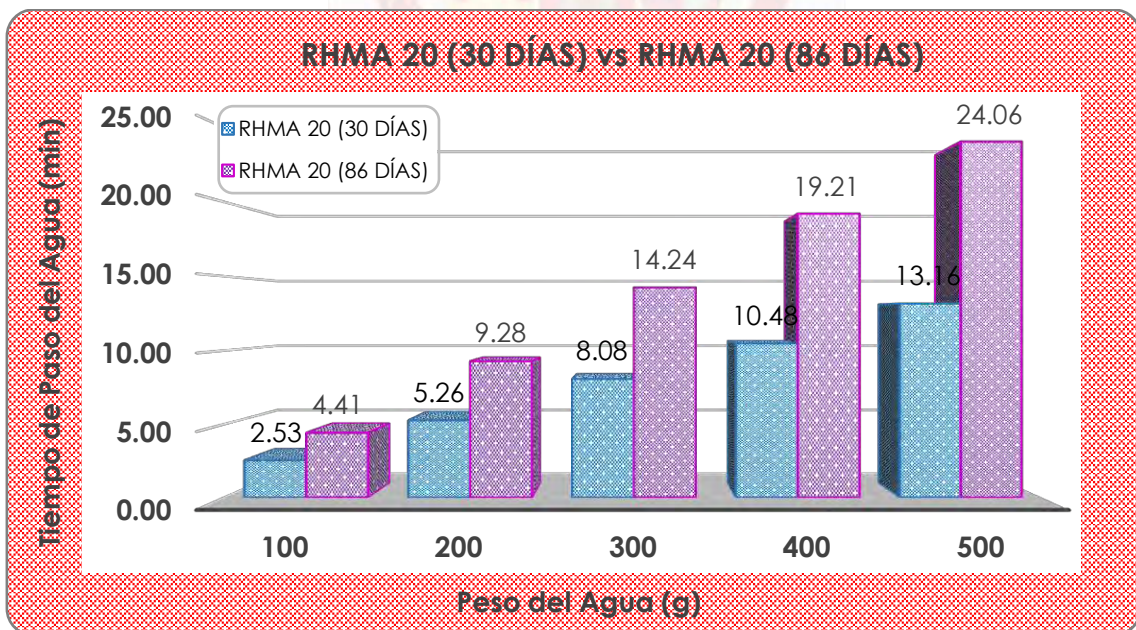


Figura 166. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 20. A los 30 días (sin solución A y B) vs 58 días (con solución A y B).

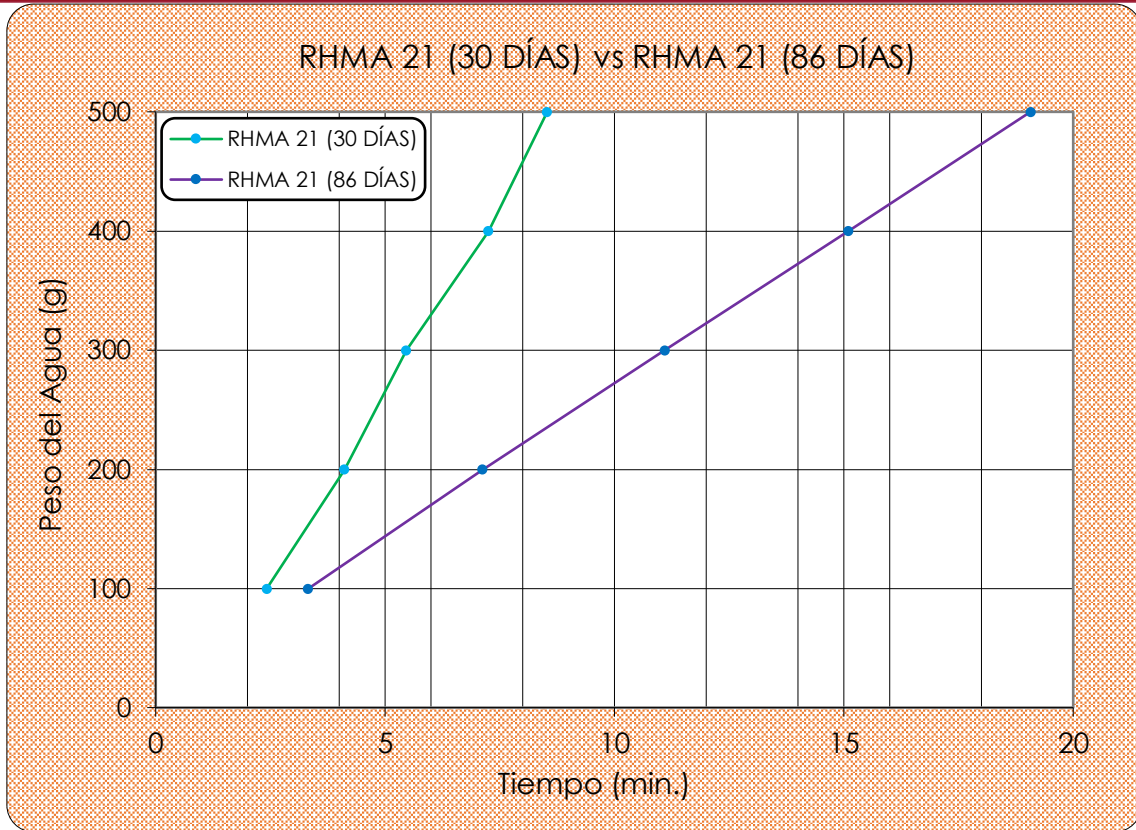


Figura 167. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 21. A los 30 días (sin aplicación de bacteria) vs 58 días (curado mediante la aplicación de solución bacteriana).

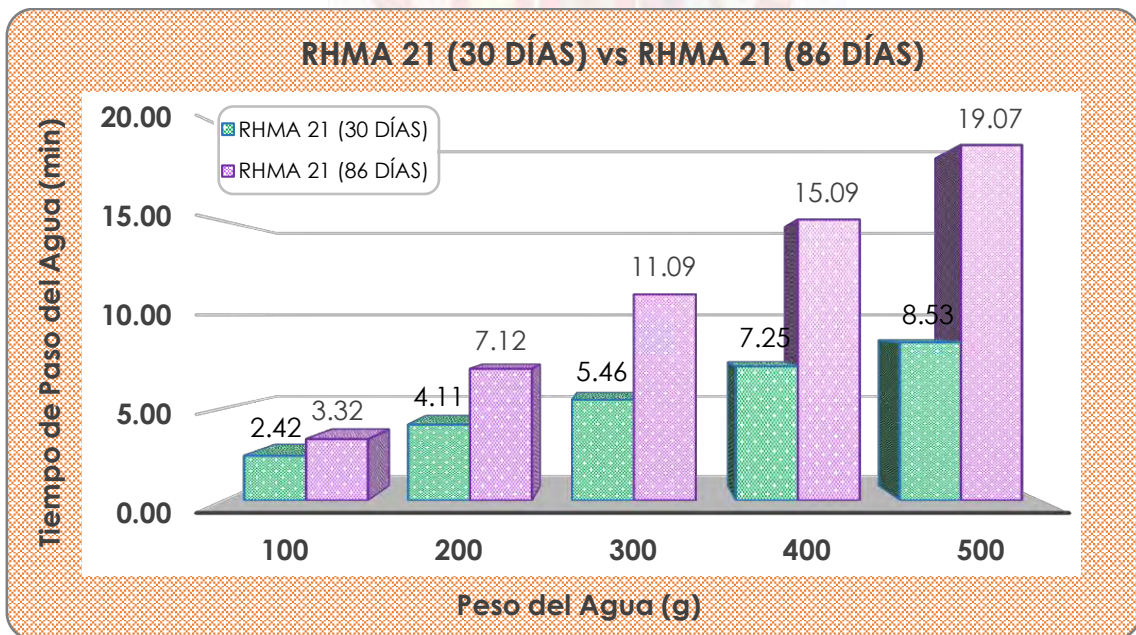


Figura 168. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 21. A los 30 días (sin solución A y B) vs 58 días (con solución A y B).

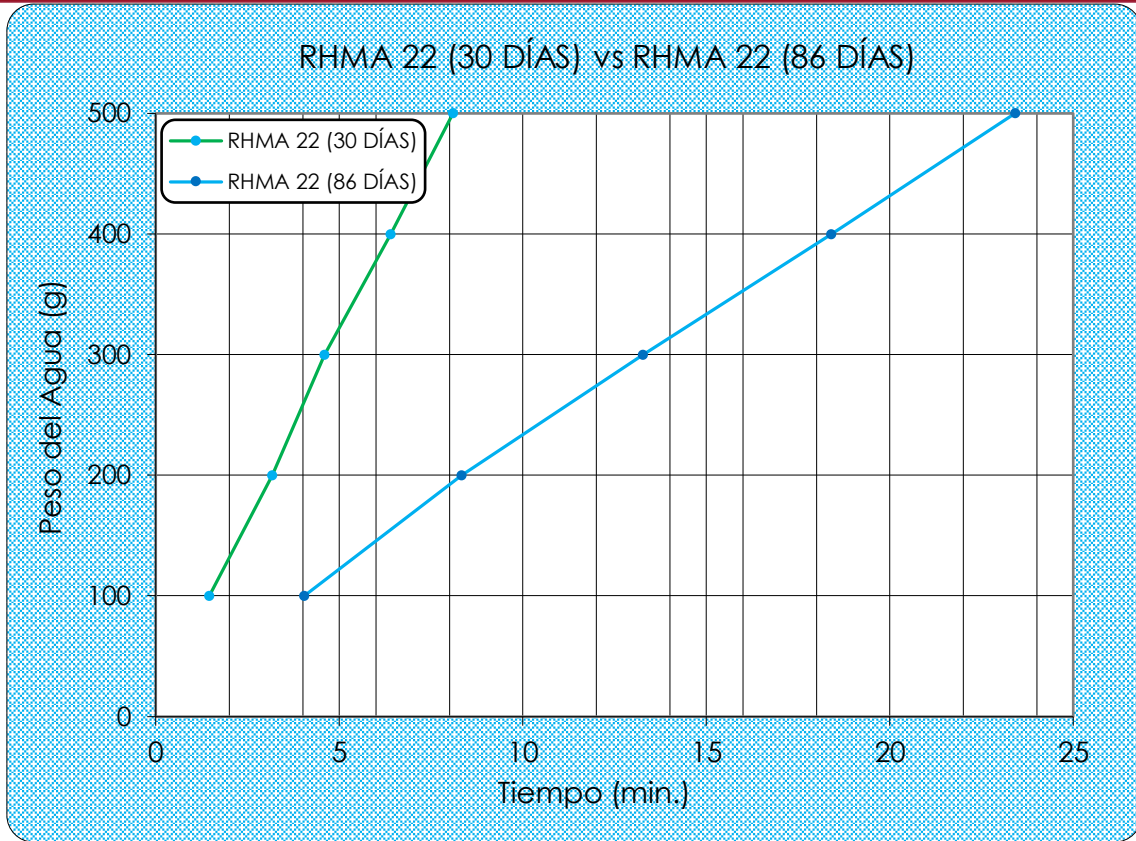


Figura 169. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 22. A los 30 días (sin aplicación de bacteria) vs 58 días (curado mediante la aplicación de solución bacteriana).

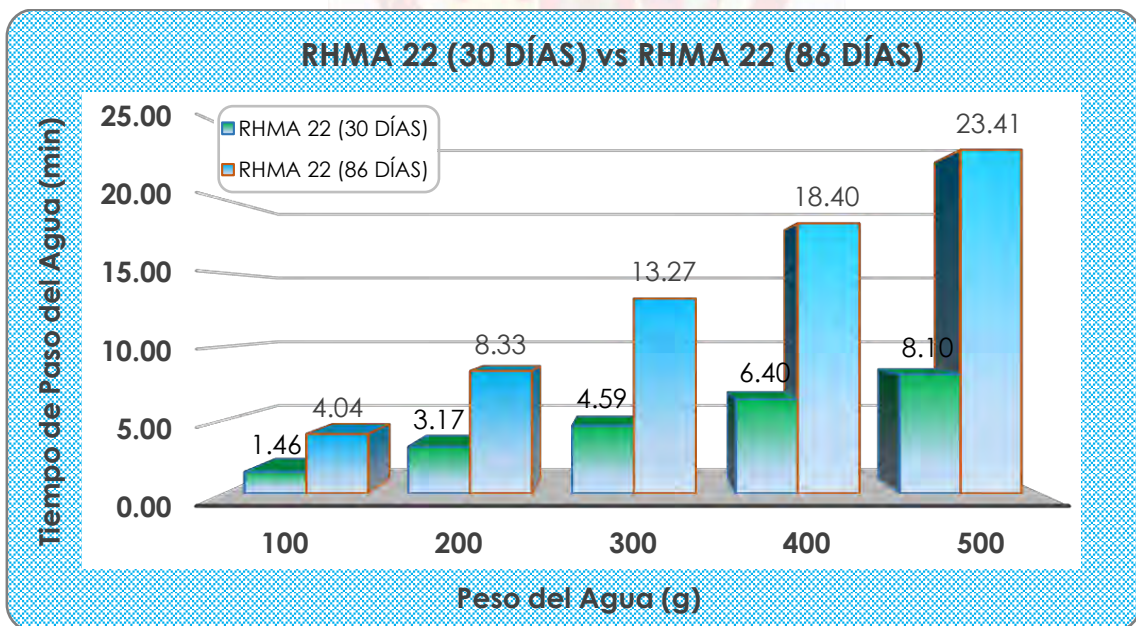


Figura 170. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 22. A los 30 días (sin solución A y B) vs 58 días (con solución A y B).

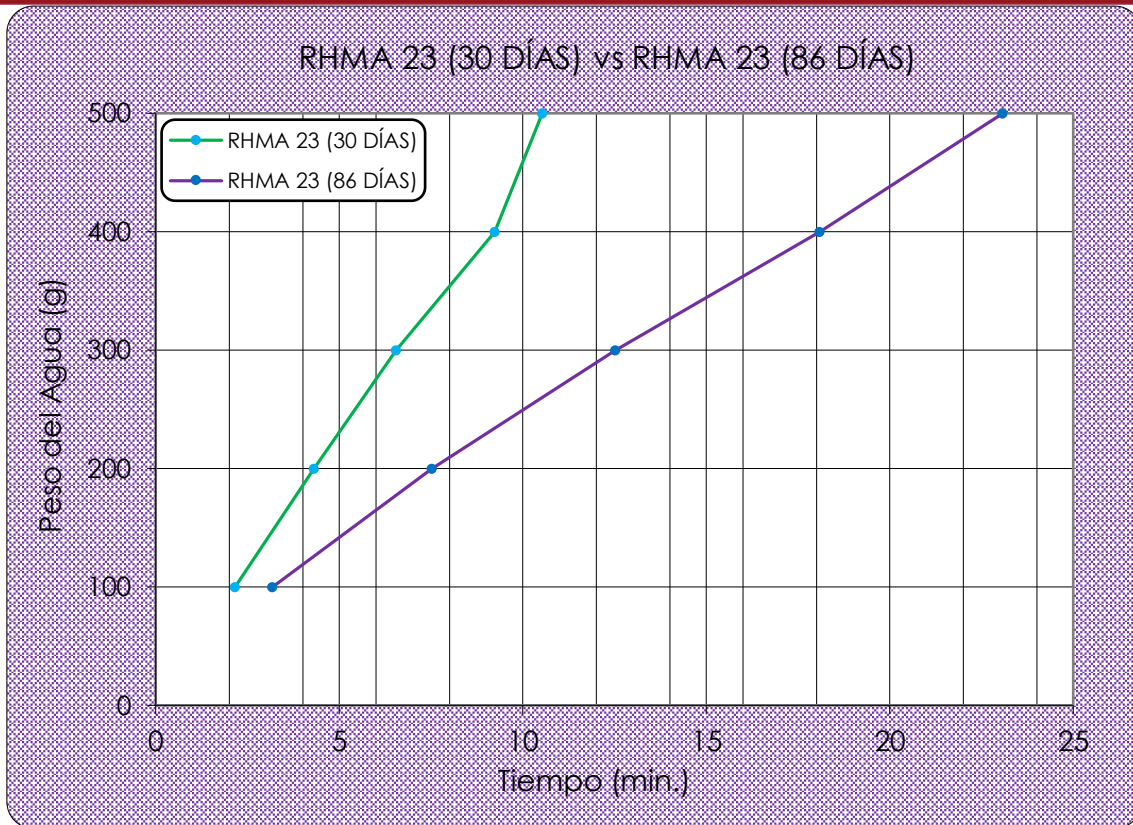


Figura 171. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 23. A los 30 días (sin aplicación de bacteria) vs 58 días (curado mediante la aplicación de solución bacteriana).

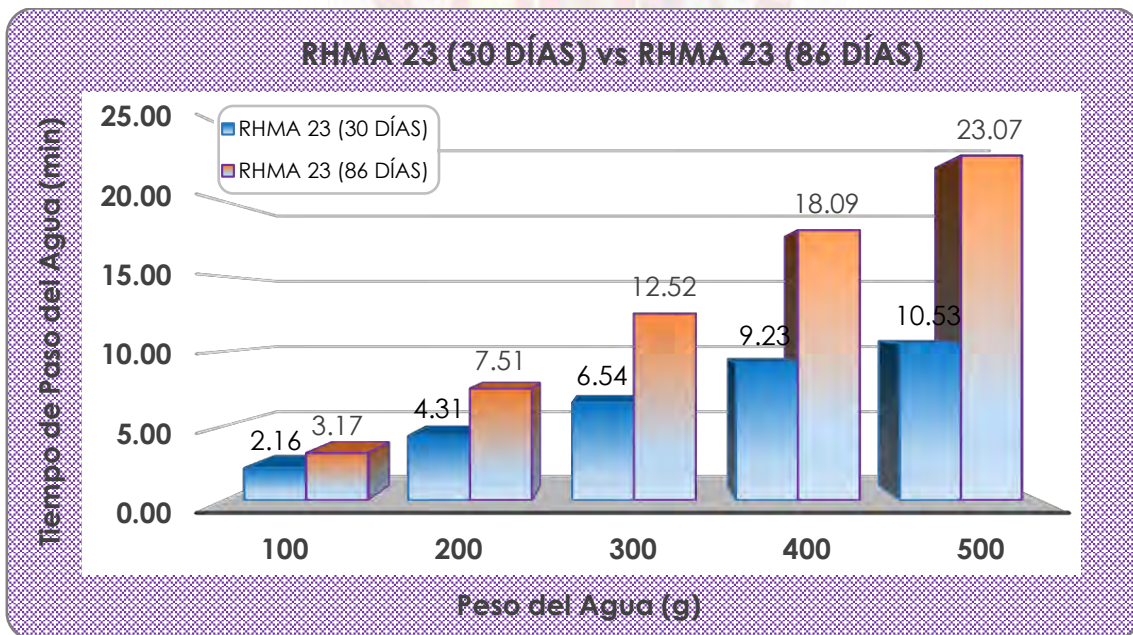


Figura 172. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 23. A los 30 días (sin solución A y B) vs 58 días (con solución A y B).

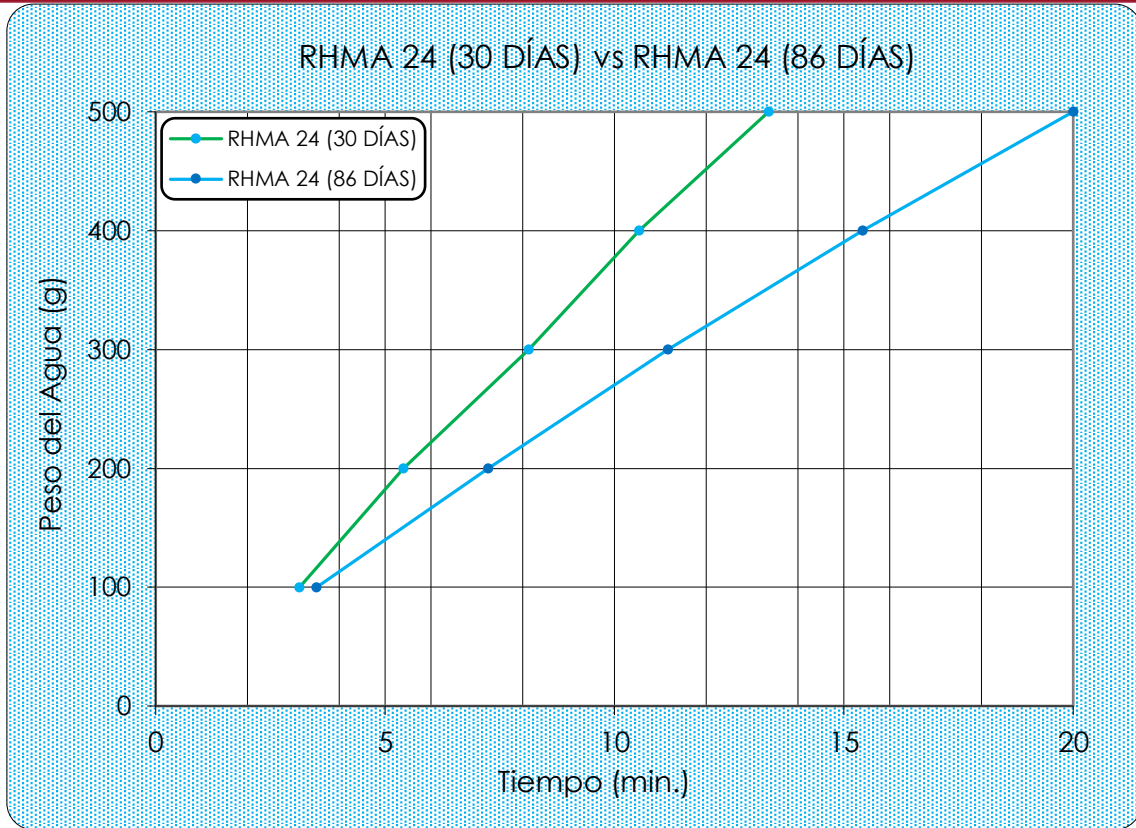


Figura 173. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 24. A los 30 días (sin aplicación de bacteria) vs 58 días (curado mediante la aplicación de solución bacteriana).

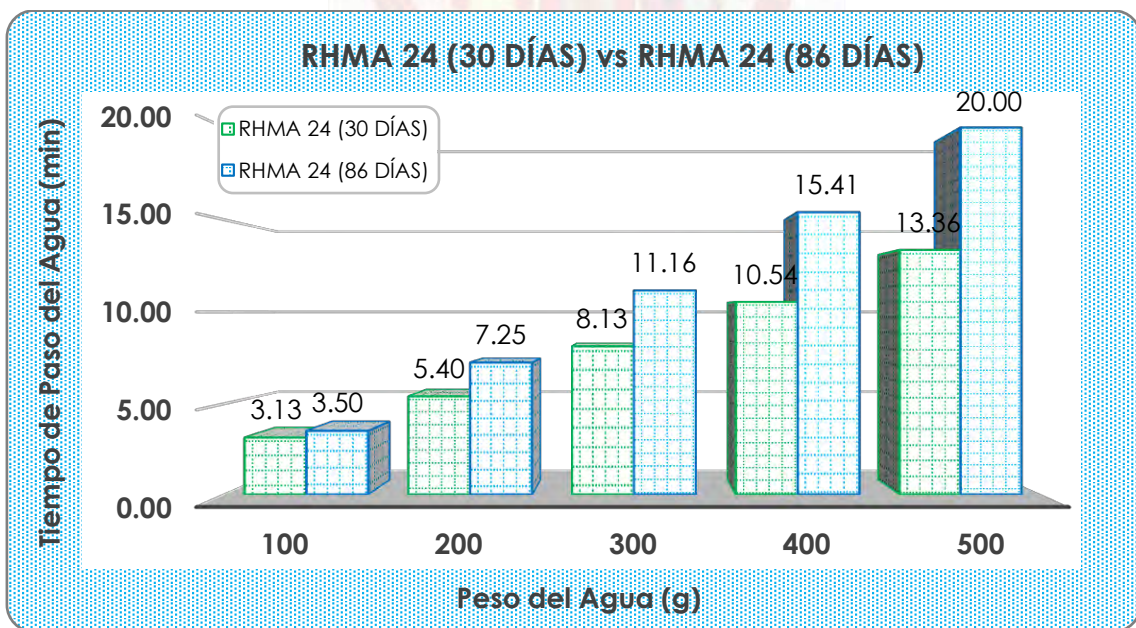


Figura 174. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 24. A los 30 días (sin solución A y B) vs 58 días (con solución A y B).

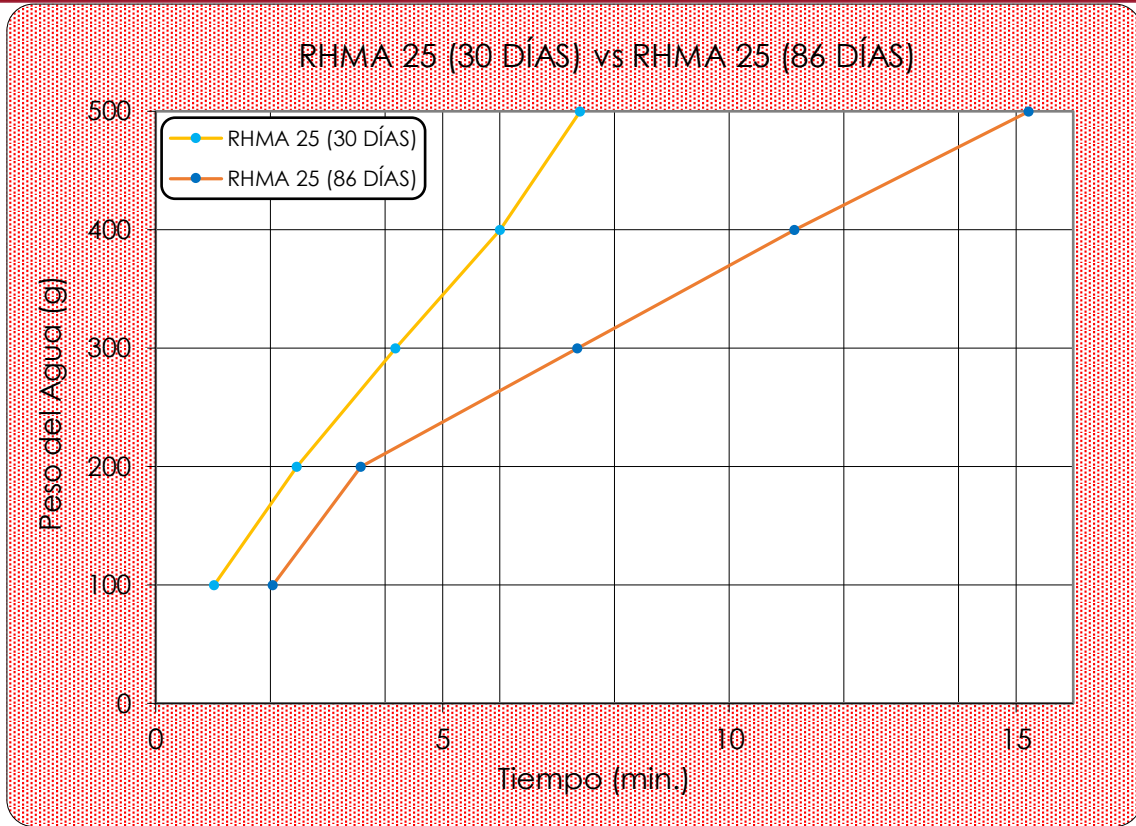


Figura 175. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 25. A los 30 días (sin aplicación de bacteria) vs 58 días (curado mediante la aplicación de solución bacteriana).

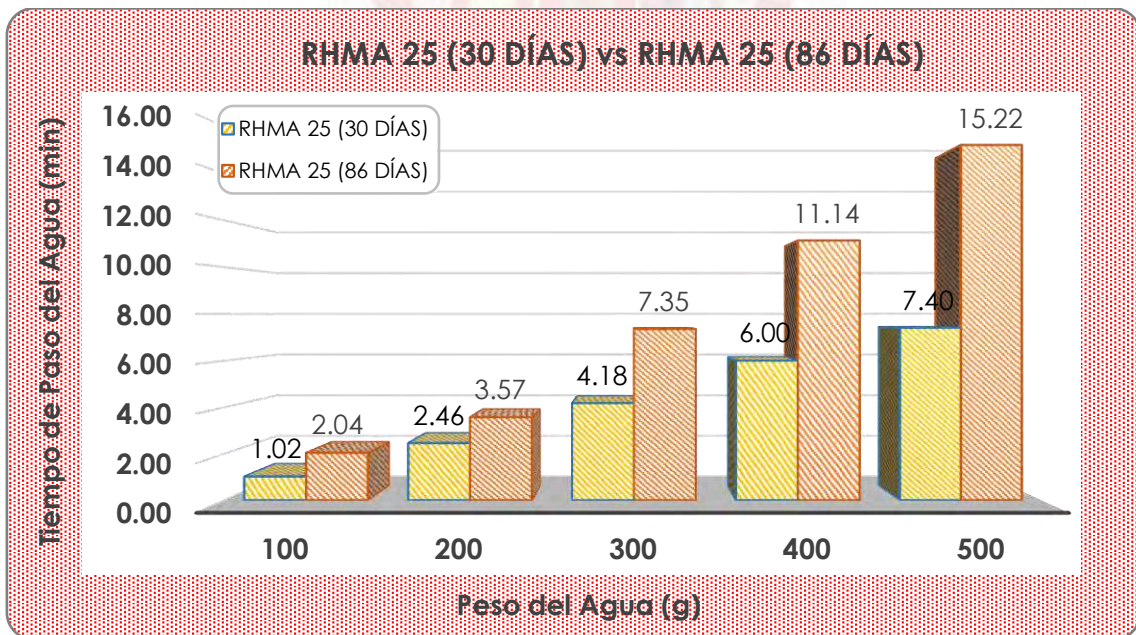


Figura 176. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 25. A los 30 días (sin solución A y B) vs 58 días (con solución A y B).

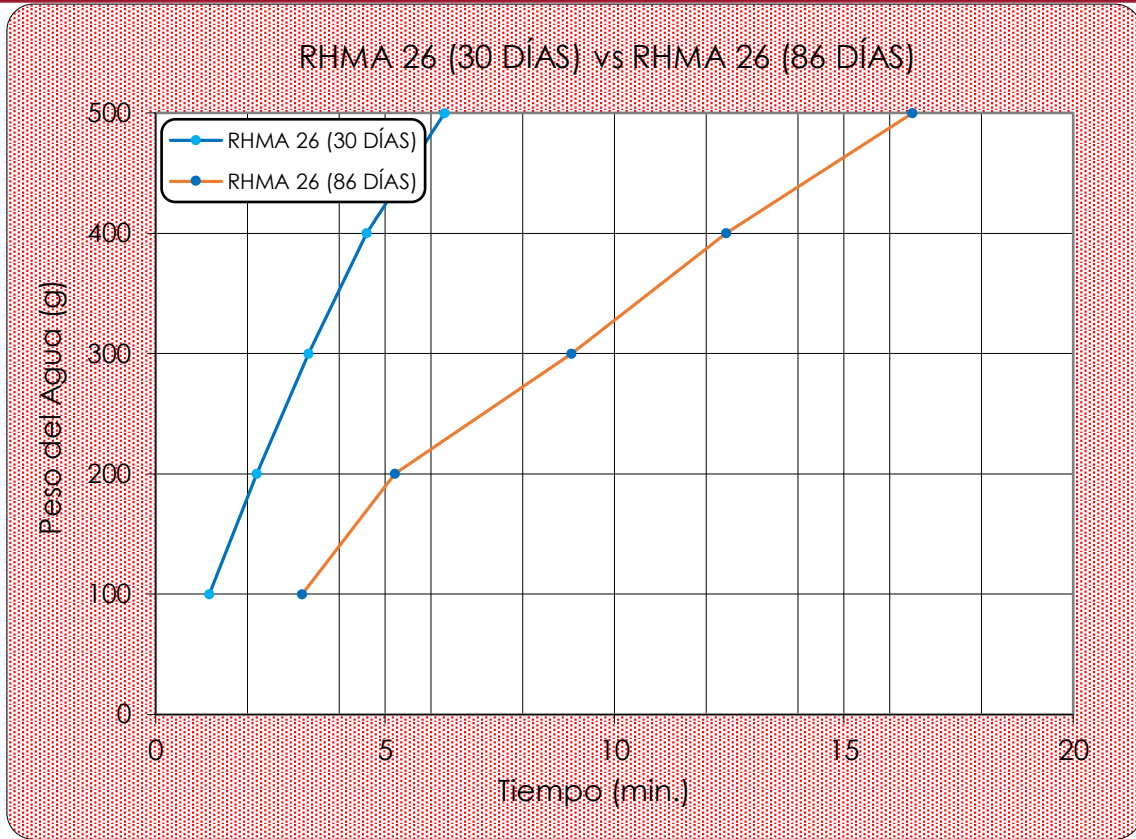


Figura 177. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 26. A los 30 días (sin aplicación de bacteria) vs 58 días (curado mediante la aplicación de solución bacteriana).

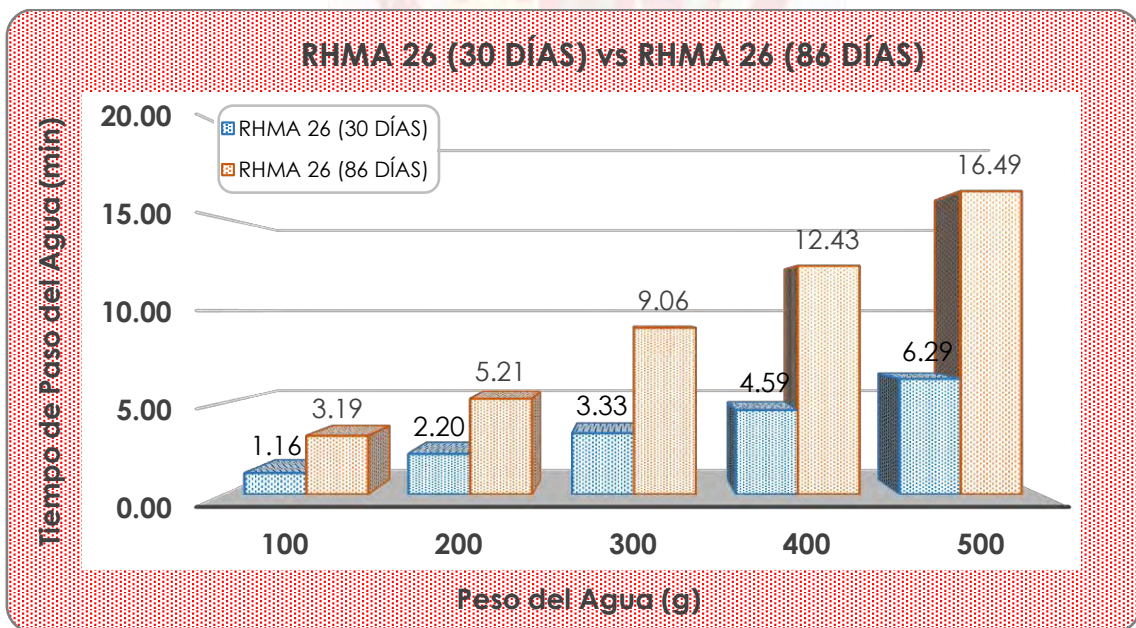


Figura 178. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 26. A los 30 días (sin solución A y B) vs 58 días (con solución A y B).

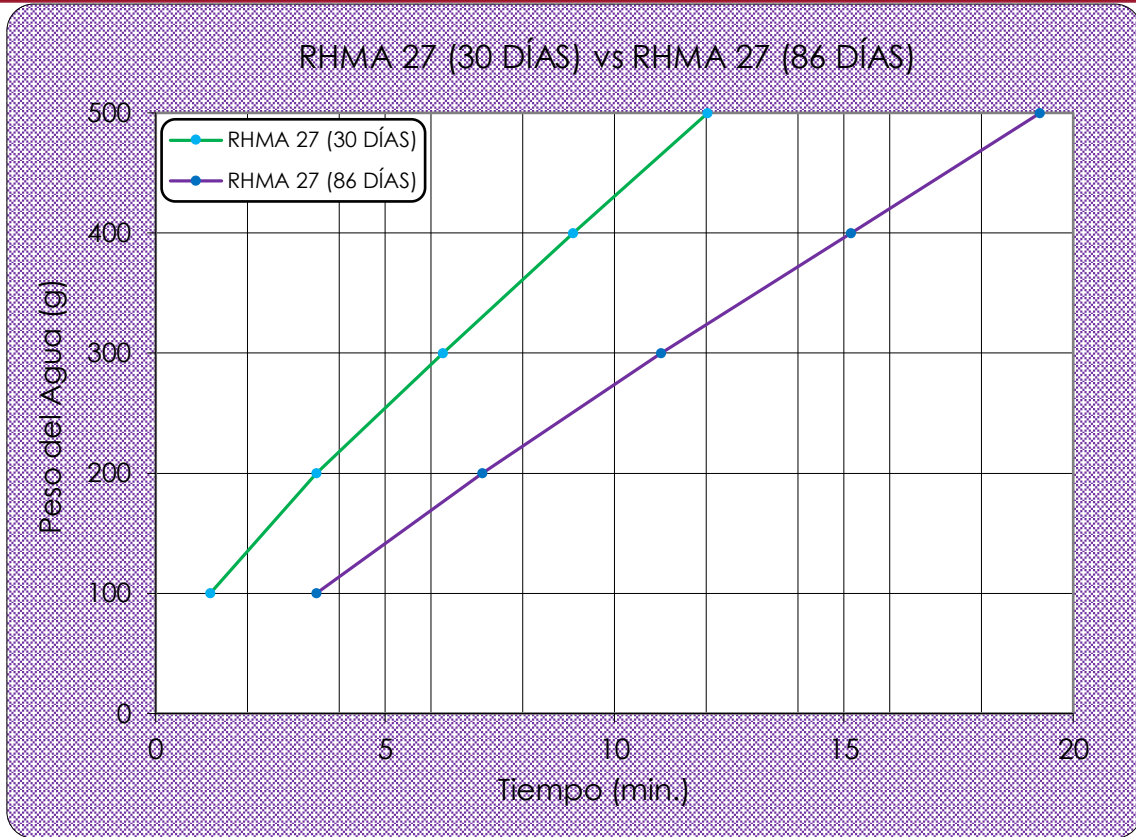


Figura 179. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 27. A los 30 días (sin aplicación de bacteria) vs 58 días (curado mediante la aplicación de solución bacteriana).

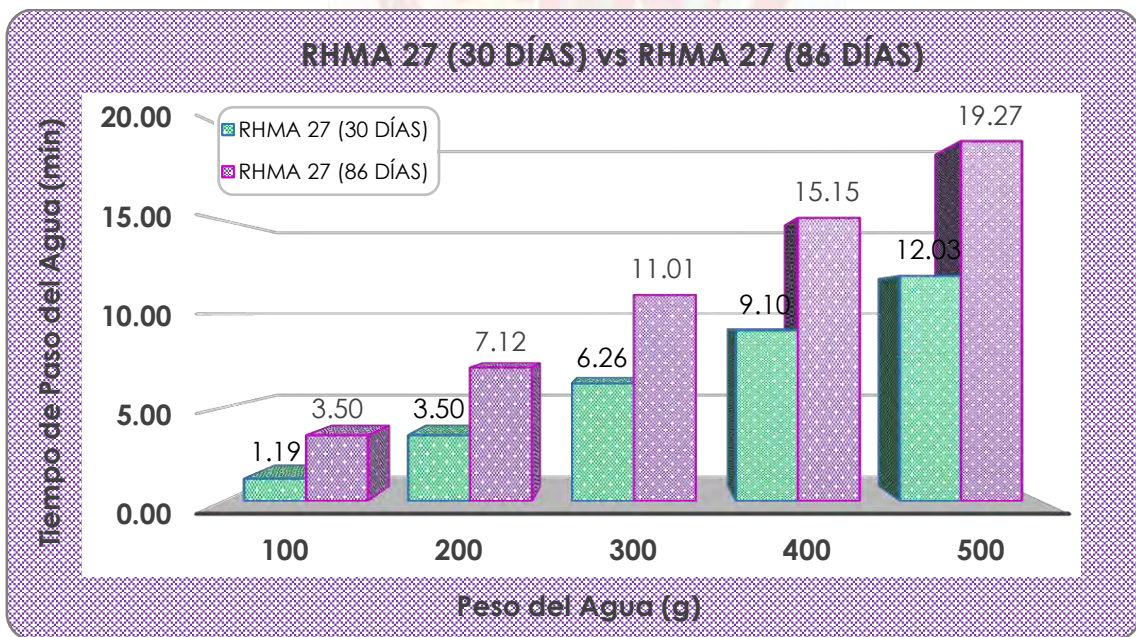


Figura 180. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 27. A los 30 días (sin solución A y B) vs 58 días (con solución A y B).

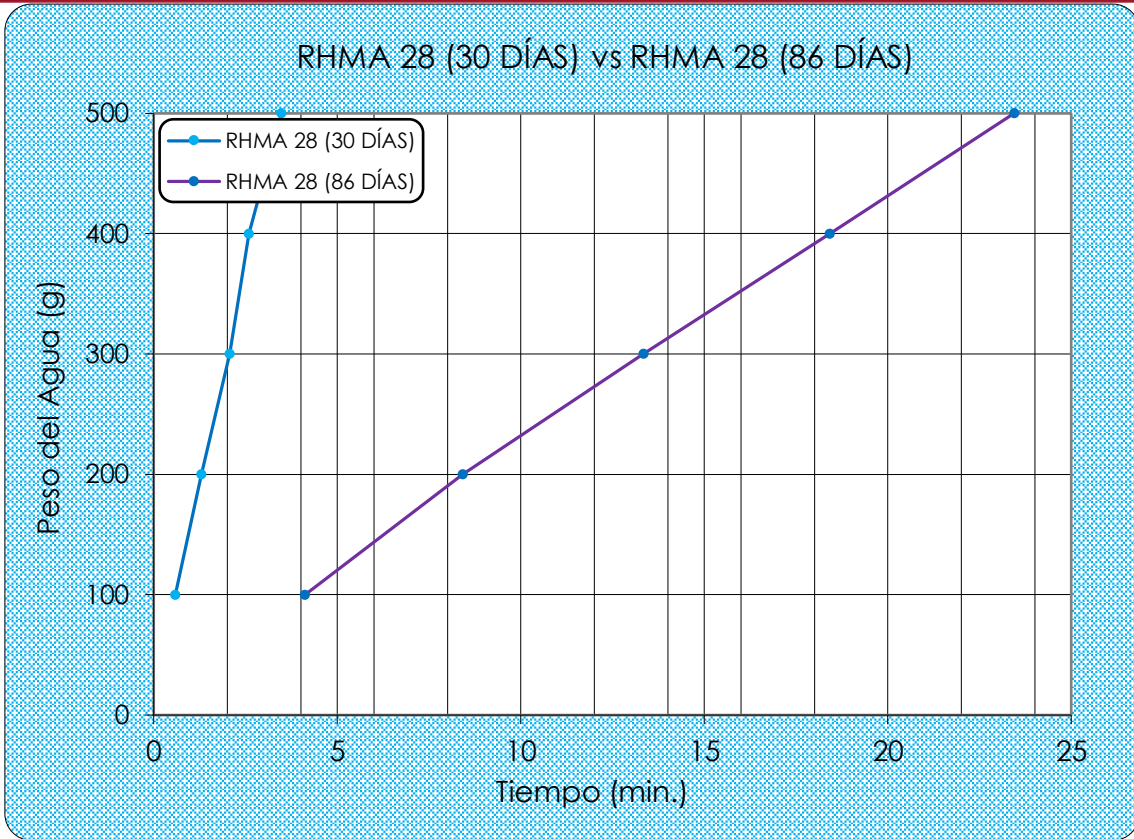


Figura 181. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 28. A los 30 días (sin aplicación de bacteria) vs 58 días (curado mediante la aplicación de solución bacteriana).

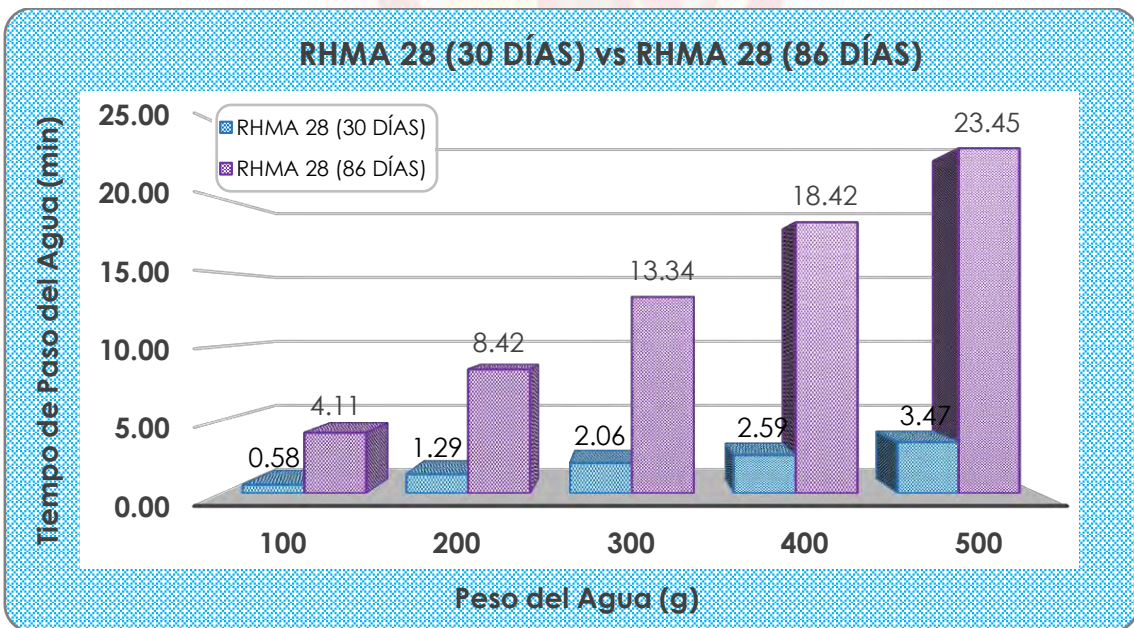


Figura 182. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 28. A los 30 días (sin solución A y B) vs 58 días (con solución A y B).

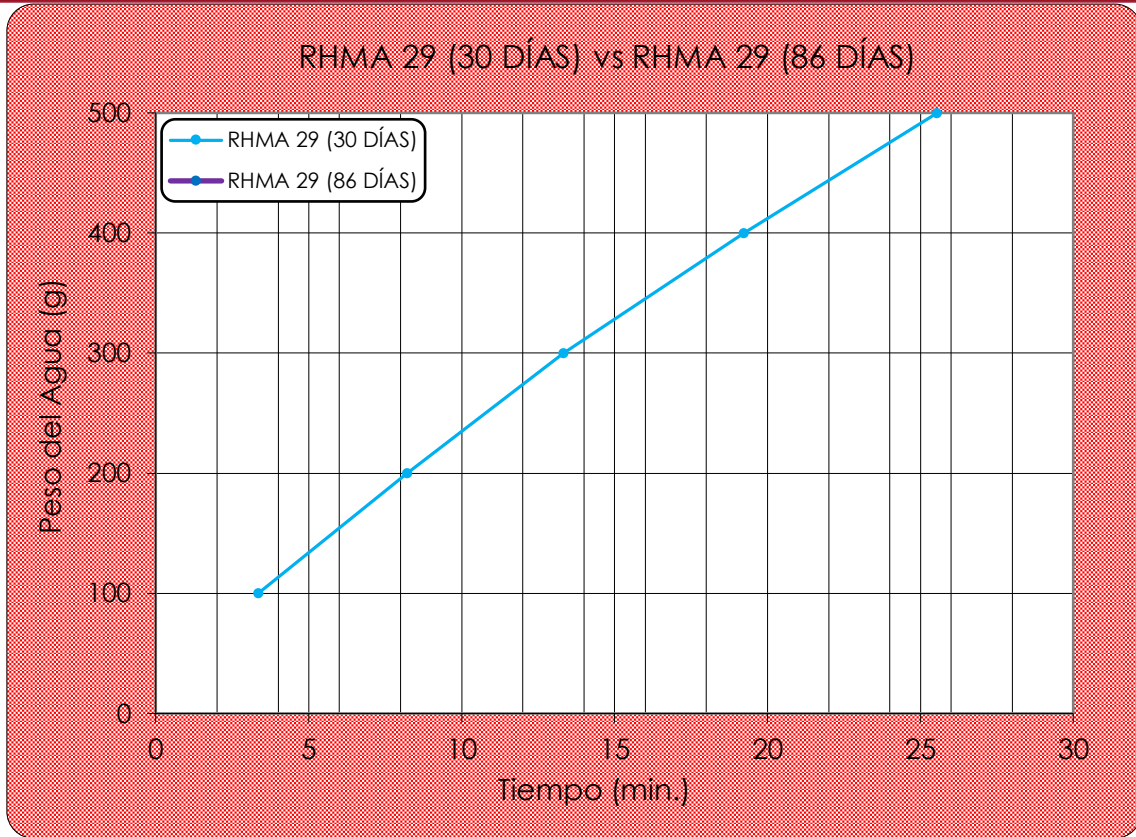


Figura 183. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 29. A los 30 días (sin aplicación de bacteria) vs 58 días (curado mediante la aplicación de solución bacteriana).

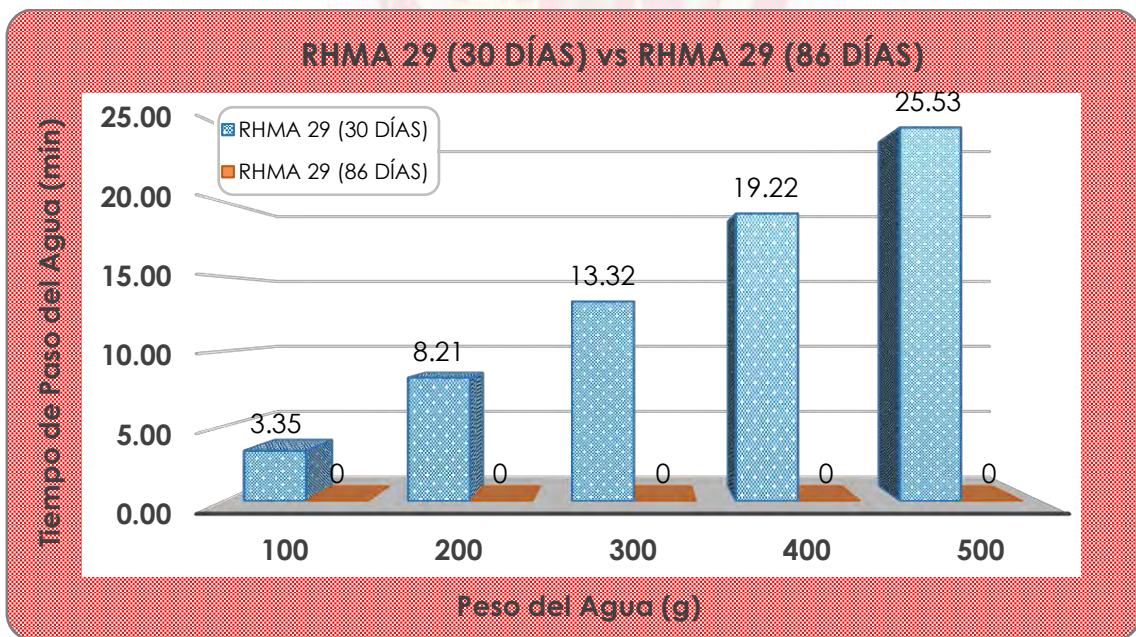


Figura 184. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 29. A los 30 días (sin solución A y B) vs 58 días (con solución A y B).

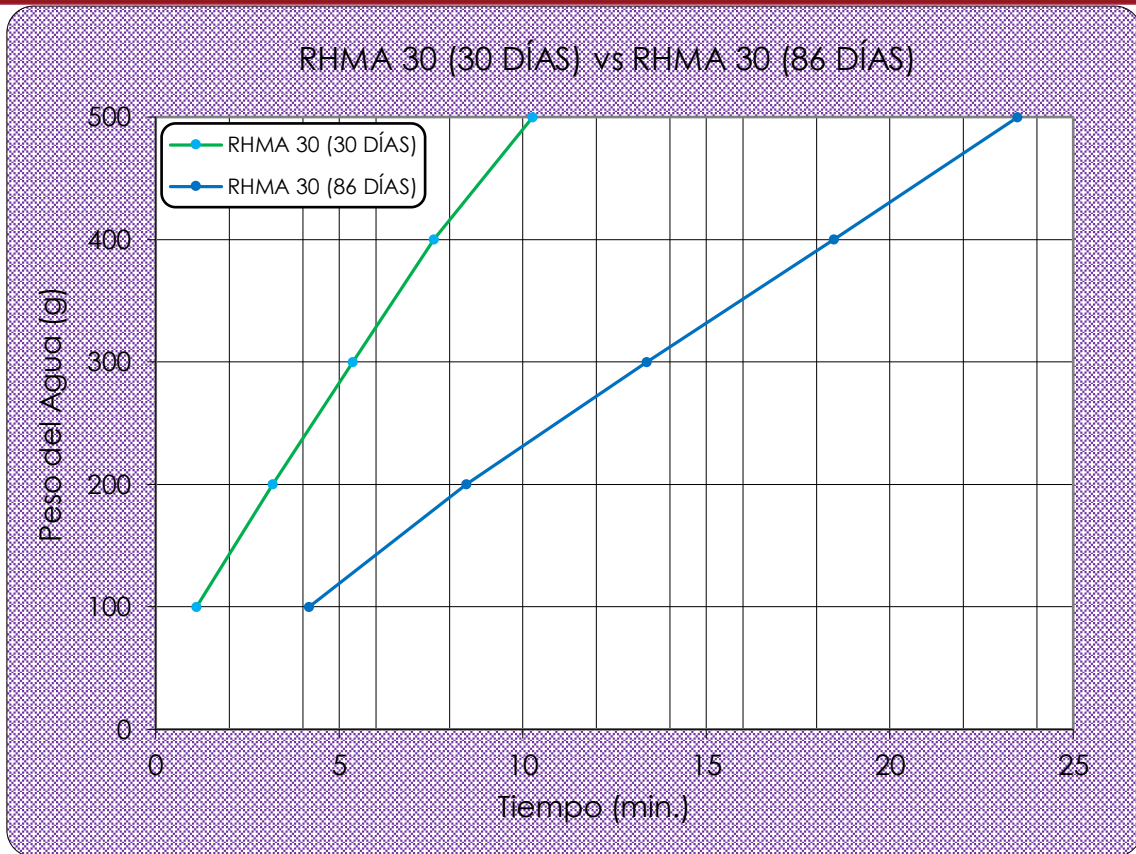


Figura 185. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 30. A los 30 días (sin aplicación de bacteria) vs 58 días (curado mediante la aplicación de solución bacteriana).

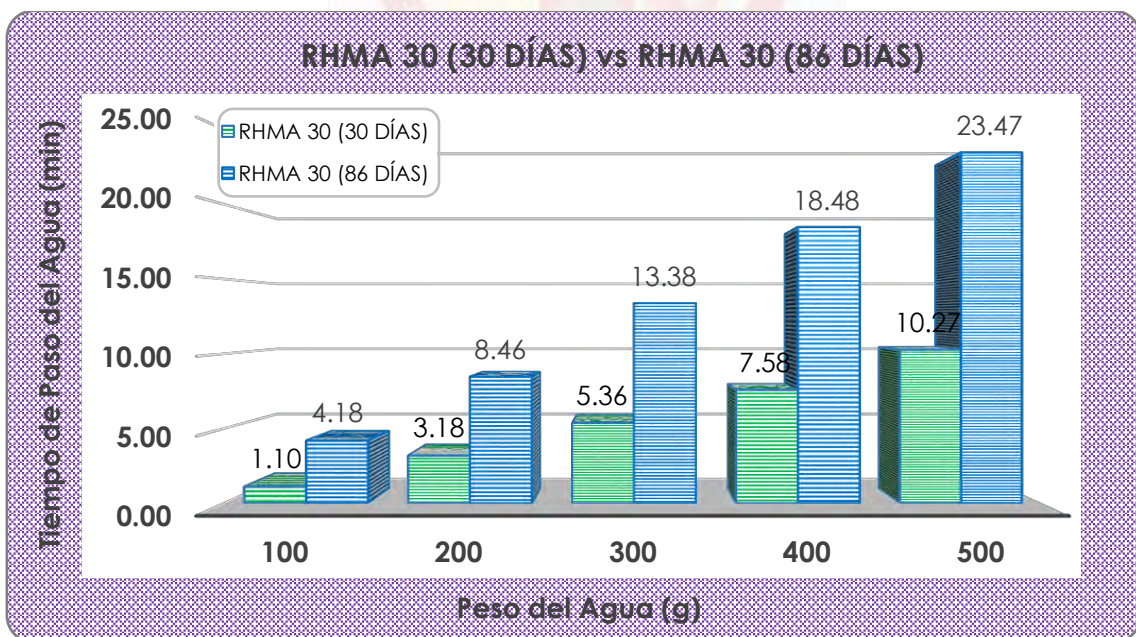


Figura 186. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 30. A los 30 días (sin solución A y B) vs 58 días (con solución A y B).

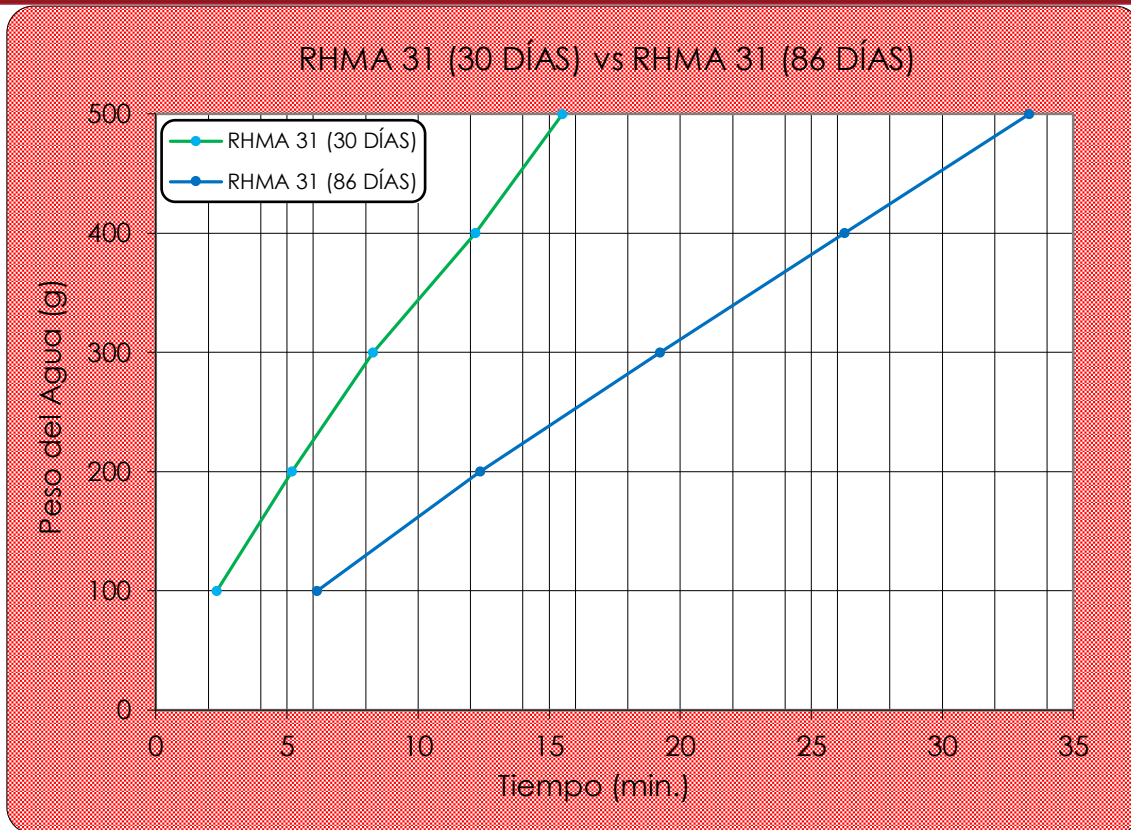


Figura 187. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 31. A los 30 días (sin aplicación de bacteria) vs 58 días (curado mediante la aplicación de solución bacteriana).

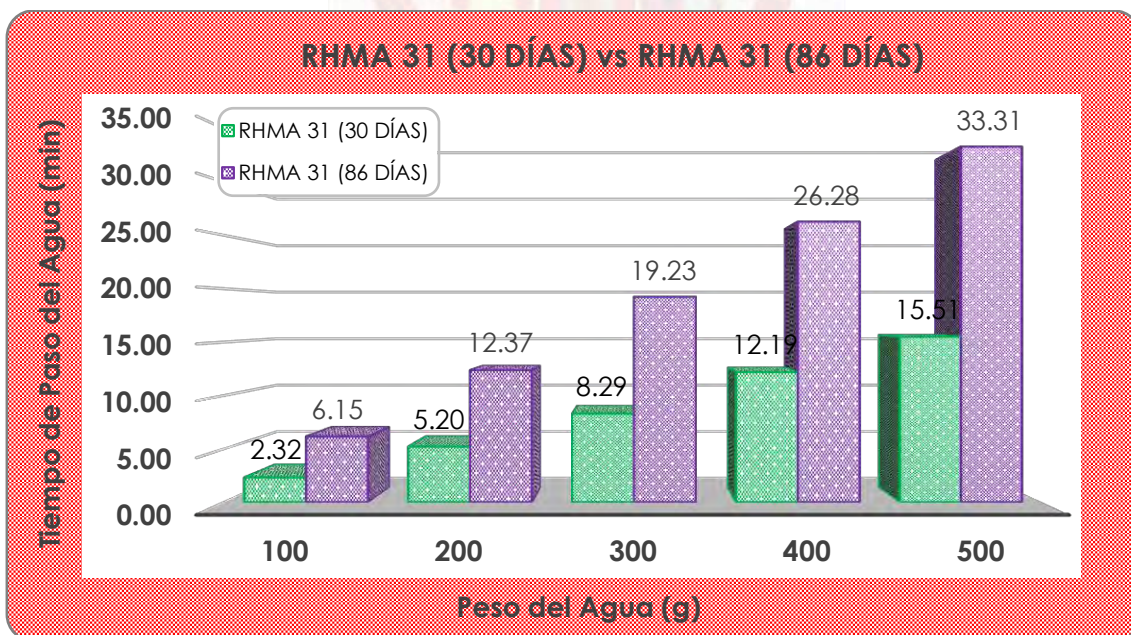


Figura 188. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 31. A los 30 días (sin solución A y B) vs 58 días (con solución A y B).

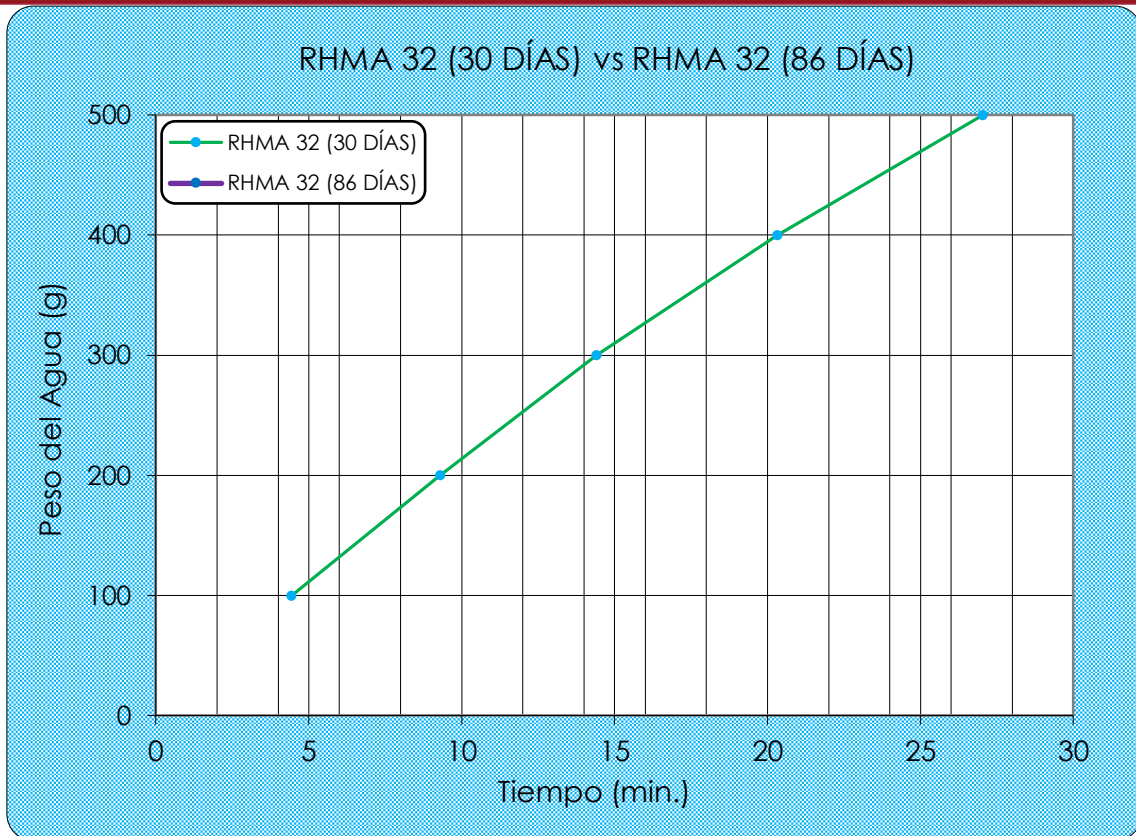


Figura 189. Prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 32. A los 30 días (sin aplicación de bacteria) vs 58 días (curado mediante la aplicación de solución bacteriana).

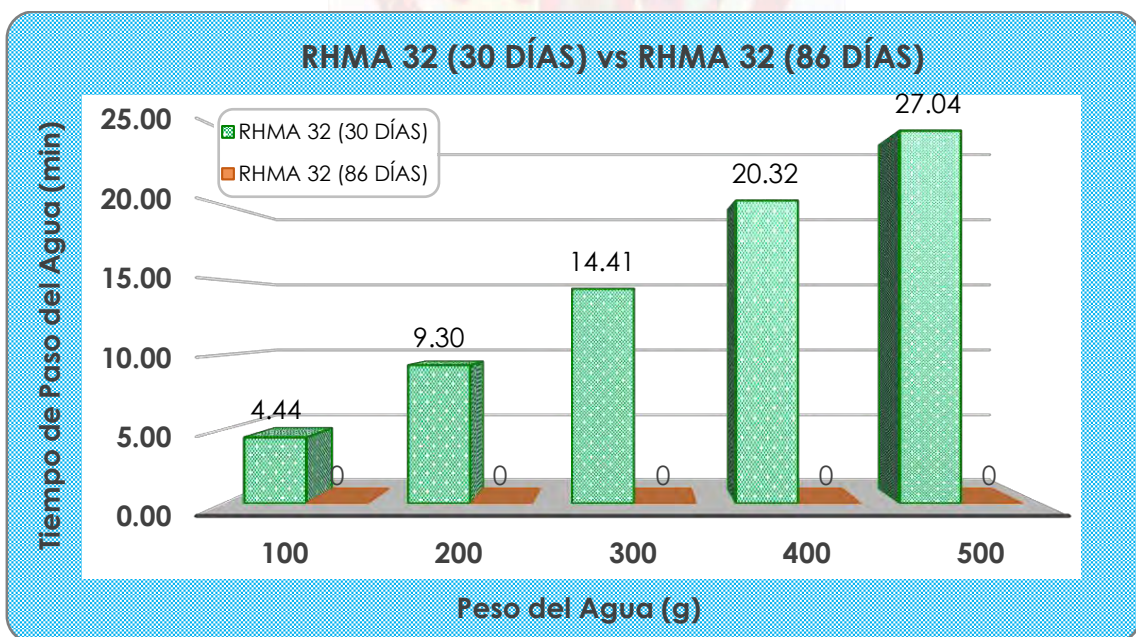


Figura 190. Gráfico de prueba de permeabilidad de muestra fisurada de concreto RHMA 32. A los 30 días (sin solución A y B) vs 58 días (con solución A y B).

**TESIS
UNSAAC
MAYO 2022**



TESIS:
**" ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL AGUA EN EL CONCRETO MEDIANTE LA
APLICACIÓN DE BACTERIAS (BIOCONCRETO), CUSCO - 2018".**

PANEL FOTOGRÁFICO

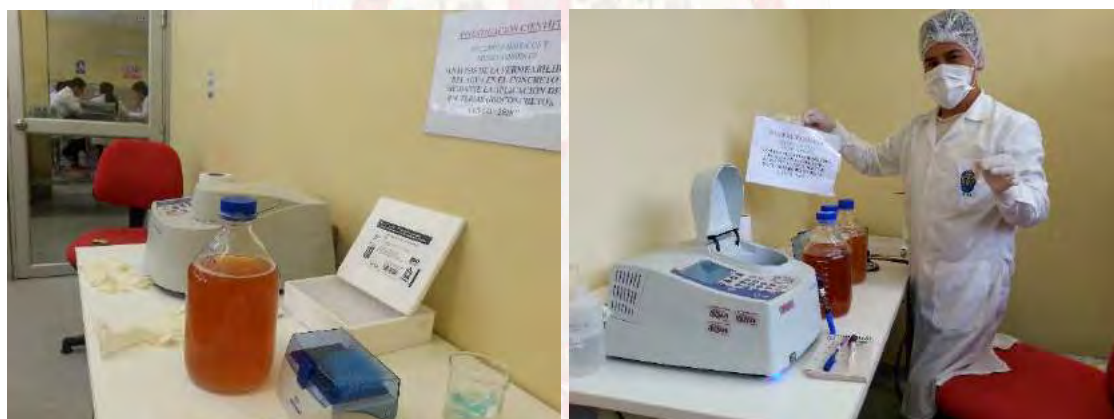
Fotografía 1

Muestras de concreto (izquierda) y proceso de cálculo de la concentración bacteriana.



Fotografía 2

Cultivo bacteriano (izquierda) y medición de la concentración bacteriana (derecha).



Fotografía 3

Metodología en el componente biológico.



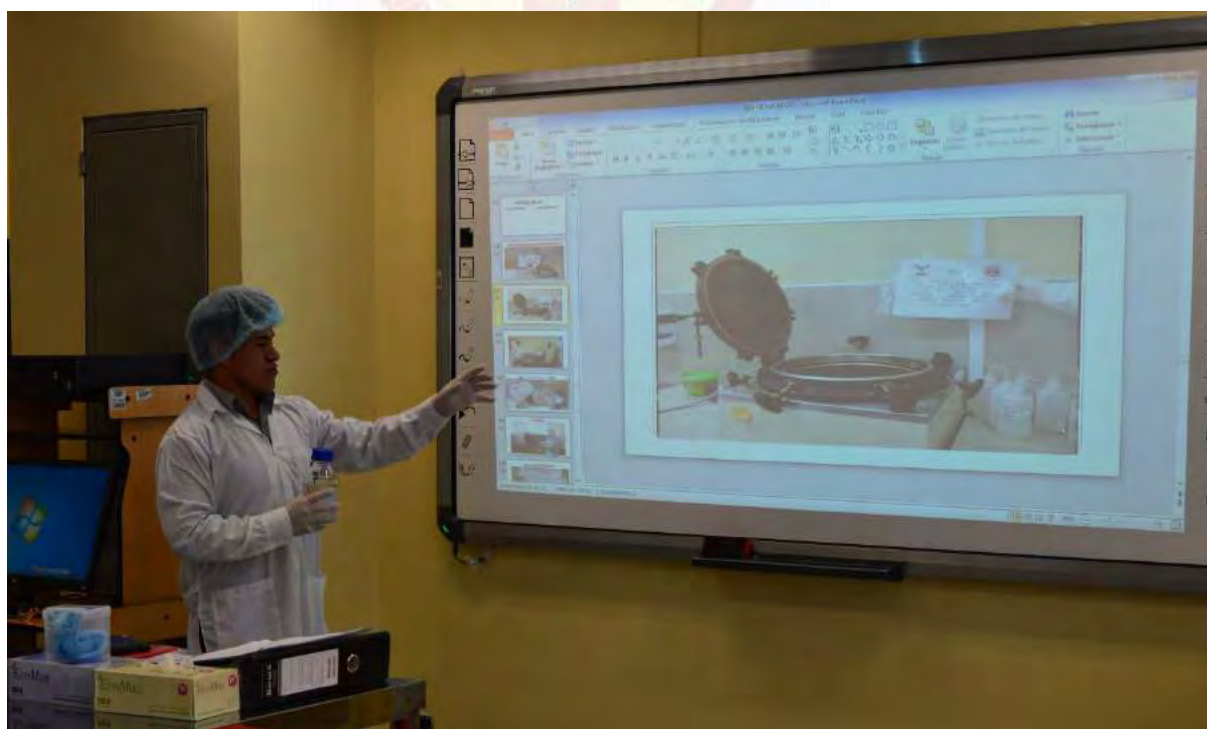
Fotografía 4

Exposición del trabajo de investigación del bioconcreto a las Autoridades Universitarias de la Universidad Andina del Cusco, en la Facultad de Ciencias de la Salud, Laboratorio de Investigación I.



Fotografía 5

Exposición del avance de trabajo de investigación en bioconcreto.



Fotografía 6

Trabajo de Investigación del bioconcreto en briquetas de concreto, Mendoza y Sánchez (2017).

<https://hdl.handle.net/20.500.12557/1163>



Fotografía 7

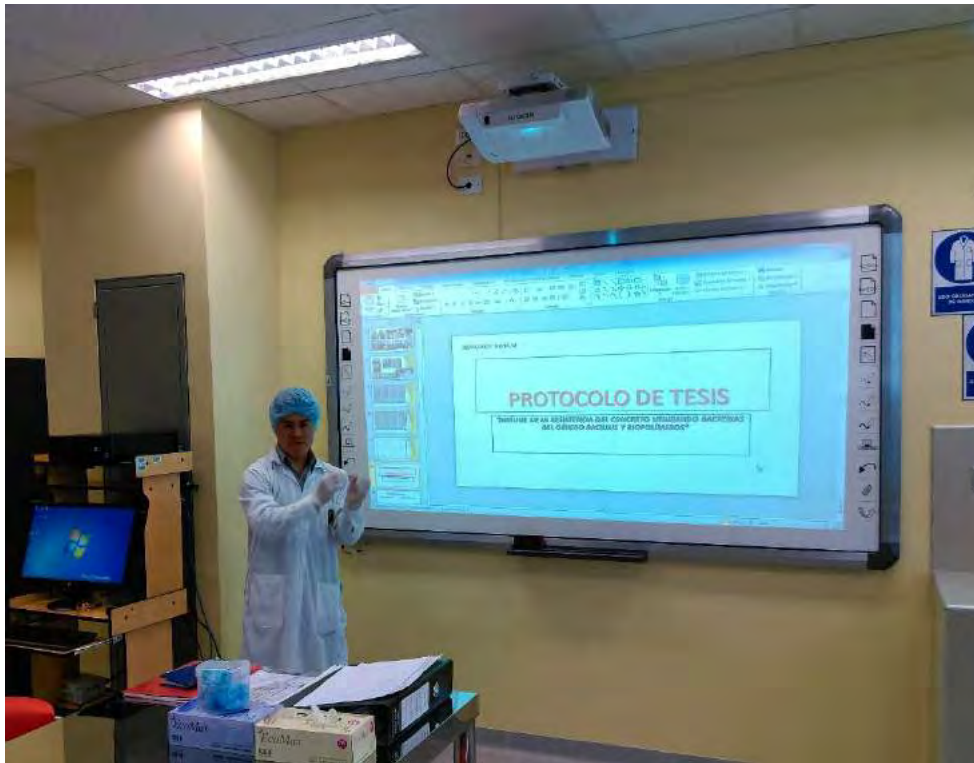
Prueba piloto del bioconcreto, Mendoza y Sánchez (2017).



*Se observa de izquierda a derecha: Mgt. Lugó Miranda Barriga; Dr. Ing. Luis Amadeo Mendoza Quispe; Dr. Abraham Edgard Canahuire; Dr. Ing. Víctor Chacón Sánchez; Dra. Herminia Naveda Cahuana; Dra. Di-yanira Bravo Gonzales; Dra. Ing. Jannette Delgado Obando

Fotografía 8

Presentación del proceso metodológico del concreto bacteriano.



*Laboratorio de Investigación I – Facultad de Ciencias de la Salud – Universidad Andina del Cusco.

Fotografía 9

Exposición de las pruebas piloto.



Fotografía 10

Sociabilización del trabajo de Investigación multidisciplinar, Cusco – Perú.



Fotografía 11

Primer trabajo de investigación científica en bioconcreto en el Perú, Mendoza y Sánchez (2017).



*En la fotografía se observa de izquierda: Lugó Miranda B; Renato Mendoza N; Jhon Sánchez Q.

