

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL



**Mejoramiento de la capacidad autorreparable del concreto $f'c$ 210 kg/cm²
con la incorporación de bacterias *Bacillus megaterium***

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL AMBIENTAL**

AUTOR

Jose Efreem Oblitas Benavides

ASESOR

Cesar Eduardo Cachay Lazo

<https://orcid.org/0000-0002-0547-522X>

Chiclayo, 2023

**Mejoramiento de la capacidad autorreparable del concreto f'c 210
kg/cm² con la incorporación de bacterias *Bacillus megaterium***

PRESENTADA POR
Jose Efreen Oblitas Benavides

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO CIVIL AMBIENTAL

APROBADA POR

Jose Alberto Acero Martinez
PRESIDENTE

Ronald Esteban Villanueva Maguiña
SECRETARIO

Cesar Eduardo Cachay Lazo
VOCAL

Dedicatoria

A la luz de mi vida, mi madre (Lili), quien con su amor incondicional y sabiduría infinita ha sido mi guía constante, y en memoria de mi querido abuelito (Concepción), cuyas enseñanzas y recuerdos me impulsan a seguir adelante en cada paso que doy. A ellos, les dedico esta tesis llena de respeto y gratitud sincera, reconociendo que, sin su presencia y apoyo, este logro no habría sido posible.

Agradecimientos

El autor agradece sinceramente al Ing. César Eduardo Cachay Lazo, docente asesor, por su invaluable seguimiento, motivación y recomendaciones. Asimismo, agradece al Biólogo Julio César Silva Estela por su apoyo y contribución en este proyecto. Además, se agradece a los laboratorios de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo y Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, así como a mi amigo Giancarlo Salvador, por su apoyo constante.

INFORME DE ORIGINALIDAD

24%

INDICE DE SIMILITUD

23%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

8%TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	10%
2	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
4	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	www.umv.gov.co Fuente de Internet	<1%
9	repositorio.uan.edu.co Fuente de Internet	<1%

Índice

Resumen	20
Abstract	21
Introducción.....	22
Revisión de la literatura.....	24
Antecedentes del problema.....	24
Bases teóricas.....	36
Materiales y métodos	51
Tipo y nivel de investigación	51
Diseño de investigación	51
Población, muestra, muestreo	53
Operacionalización de variables	58
Técnicas e instrumentos de recolección de datos	59
Métodos	60
Resultados y discusión	80
Resultados	80
Evaluación económica.....	104
Hoja Técnica	111
Discusión	113
Conclusiones	117
Recomendaciones	119
Referencias.....	120
Anexos	123

Lista de tablas

Tabla 1: A1. Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso o global.....	38
Tabla 2: A2. Tamaño de la muestra de agregado.....	39
Tabla 3: Masa mínima requerida.....	42
Tabla 4:Requisitos de la barra compactadora.	45
Tabla 5: Edades de ensayo y tolerancias permisibles.	46
Tabla 6: Elementos para el diseño de la investigación.....	52
Tabla 7: Designación de cada grupo	52
Tabla 8: Muestreo del ensayo de asentamiento.....	53
Tabla 9: Muestreo del ensayo de tiempo de fraguado.....	54
Tabla 10: Muestreo del ensayo de resistencia a la flexión.....	54
Tabla 11: Muestreo del ensayo a compresión	55
Tabla 12: Muestreo de ensayo de módulo de elasticidad el concreto.	55
Tabla 13: Muestreo del ensayo de permeabilidad.....	56
Tabla 14: Muestreo de exposición de sulfatos.	56
Tabla 15: Muestreo de exposición de sulfatos.	57
Tabla 16: Operacionalización de las variables.....	58
Tabla 17: Métodos, técnicas e instrumentos	59
Tabla 18: Resultado del análisis granulométrico para el agregado fino de la cantera La Victoria - Pátapo.....	80
Tabla 19: Resultado del ensayo de contenido de humedad para el agregado fino de la cantera La Victoria - Pátapo	81
Tabla 20: Resultado del ensayo de peso unitario suelto para el agregado fino de la cantera La Victoria – Pátapo.....	81
Tabla 21: Resultado del ensayo de peso unitario compactado para el agregado fino de la cantera La Victoria – Pátapo	81
Tabla 22: Resultado del ensayo de peso específico y absorción para el agregado fino de la cantera La Victoria – Pátapo	82

Tabla 23: Tabla 1: Resultado del análisis granulométrico para el agregado grueso de la cantera Tres Tomas – Ferreñafe.....	83
Tabla 24: Resultado del ensayo de contenido de humedad para el agregado grueso de la cantera Tres Tomas – Ferreñafe	84
Tabla 25: Resultado del ensayo de peso unitario suelto para el agregado grueso de la cantera Tres Tomas – Ferreñafe.....	84
Tabla 26: Resultado del ensayo de peso unitario compactado para el agregado grueso de la cantera Tres Tomas – Ferreñafe	84
Tabla 27: Resultado del ensayo de peso específico y absorción para el agregado grueso de la cantera Tres Tomas – Ferreñafe	85
Tabla 28: Resultados de Ensayo de asentamiento.....	86
Tabla 29: Ensayo de temperatura del concreto.	87
Tabla 30: Resultados de Ensayo de compresión del concreto.	88
Tabla 31: Ensayo de elasticidad del concreto.	90
Tabla 32: Resistencia a la flexión del concreto patrón.....	91
Tabla 33: Resistencia a la flexión del bioconcreto con concentración de 1×10^5 cel/ml.....	91
Tabla 34: Resistencia a la flexión del bioconcreto con concentración de 1×10^6 cel/ml.....	91
Tabla 35: Resultados de Tiempo de fraguado del concreto patrón.....	92
Tabla 36: Resultados de Tiempo de fraguado del Bioconcreto – 1×10^5 cel/ml.....	93
Tabla 37: Resultados de Tiempo de fraguado del Bioconcreto – 1×10^6 cel/ml.....	94
Tabla 38: Mediciones de Longitud barras de mortero patrón. Referencial.....	95
Tabla 39: Mediciones de Longitud barras de mortero patrón Calibrado.	95
Tabla 40: Mediciones de cambios de longitud barras patrón.....	95
Tabla 41: Mediciones de Longitud barras de mortero cc 10^5 BM. Referencial.....	96
Tabla 42: Mediciones de Longitud barras de mortero cc 10^5 BM. Calibrado.....	96
Tabla 43: Mediciones de cambios de longitud barras 10^5 BM.....	97
Tabla 44: Mediciones de Longitud barras de mortero cc 10^6 BM. Referencial.....	97
Tabla 45: Mediciones de Longitud barras de mortero cc 10^6 BM. Calibrado.....	98
Tabla 46: Mediciones de cambios de longitud barras cc 10^6 BM.....	98

Tabla 47:Resultaodos de Permeabilidad - Concreto patrón.	99
Tabla 48: Resultados de Permeabilidad - cc 10^5 BM.	99
Tabla 49: Resultados de Permeabilidad - cc 10^6 BM.	99
Tabla 50: Control de fisuras concreto patrón.	102
Tabla 51:Control de fisuras - cc 10^5 BM.....	103
Tabla 52:Control de fisuras - cc 10^6 BM.....	103
Tabla 53:Precios para reactivación de bacteria.	104
Tabla 54: Costo unitario para la elaboración de concreto sin bacterias.	105
Tabla 55: Costo unitario para la elaboración de concreto bacteriano.	106
Tabla 56: Costo unitario al aplicar el método de curado convencional al concreto patrón. ..	107
Tabla 57: Costo unitario de curado del bioconcreto con inclusión de urea y cal.....	107
Tabla 58: Picado de fisuras.	108
Tabla 59: Limpieza de fisuras.	109
Tabla 60: Aplicación de mortero estructural en fisura.	109
Tabla 61: Resumen de los costos unitarios por m^2 de concreto.	110
Tabla 62: Costo total por metro cúbico (m^3) de concreto, incluyendo los gastos de curado y reparación, expresados en moneda local (soles).	110

Lista de gráficos

Gráfico 1: Resistencia a la flexión	25
Gráfico 2: Resistencia a la compresión de las mezclas de concreto.	26
Gráfico 3: Módulo de elasticidad de las mezclas de concreto.	27
Gráfico 4: Resistencia a la flexión.	27
Gráfico 5: Pérdida de masa del concreto sumergido en 5% en H ₂ SO ₄ (Ácido sulfúrico).....	28
Gráfico 6: Concentración celular Vs Resistencia a la compresión.	29
Gráfico 7: Concentración celular frente a resistencia a la flexión.	29
Gráfico 8: Resistencia a la compresión del concreto estándar y bacteriano.	30
Gráfico 9: Resistencia a la flexión del concreto estándar y bacteriano.....	31
Gráfico 10: Absorción de agua del concreto estándar y bacteriano.	31
Gráfico 11: Resultado del análisis granulométrico para el agregado fino de la cantera La Victoria – Pátapo	80
Gráfico 12: Gráfico 1: Resultado del análisis granulométrico para el agregado grueso de la cantera Tres Tomas – Ferreñafe	83
Gráfico 13: Comparación resultados de del ensayo de asentamiento del concreto.	86
Gráfico 14: Comparación de resultados de temperatura del concreto.	87
Gráfico 15: Comparación de resistencia a compresión, según edad.	89
Gráfico 16: Evolución de la resistencia del concreto con respecto al tiempo.....	89
Gráfico 17: Comparación de módulo de elasticidad del concreto.	90
Gráfico 18: Comparación de resistencia a la flexión.	91
Gráfico 19: Curva de Resistencia a la Penetración vs Tiempo Transcurrido – Concreto Patrón	92
Gráfico 20: Curva de Resistencia a la Penetración vs Tiempo Transcurrido – 1x10 ⁵ cel/ml. .	93
Gráfico 21: Curva de Resistencia a la Penetración vs Tiempo Transcurrido – 1x10 ⁶ cel/ml. .	94
Gráfico 22: Expansión de longitud por sulfatos de mortero patrón.	96
Gráfico 23: Expansión de longitud por sulfatos de mortero cc 10 ⁵ BM.....	97
Gráfico 24: Expansión de longitud por sulfatos de mortero cc 10 ⁶ BM.....	98

Gráfico 25: Comparación de resultados del ensayo de permeabilidad del concreto.....	100
Gráfico 26: Control de fisuras concreto patrón.....	101
Gráfico 27: Control de fisuras - cc 10^5 BM.....	101
Gráfico 28:Control de fisuras- cc 10^6 BM.....	102
Gráfico 29: Comparación de costos unitarios por elaboración del concreto.....	106
Gráfico 30: Comparación de costos unitarios para curado del concreto.....	108
Gráfico 31: Comparación de costos unitarios para mantenimiento del concreto.....	110

Lista de figuras

Figura 1: se observa grietas de 1,5 mm creadas manualmente en un elemento de 28 días de endurecimiento.	25
Figura 2: La misma grieta después de 3 semanas.	25
Figura 3: Imágenes SEM que muestran la precipitación de calcita de (a) B0 (b) B4 (c) B5 (d) B6. Fuente: [2].....	28
Figura 4: Espécimen prismático fisurado.....	34
Figura 5: Identificación de fisuras.....	34
Figura 6: El proceso de autoreparación de la fisura de 0.4 mm en el concreto de referencia. Fuente:[7]	35
Figura 7: El mecanismo de autorreparación de la fisura de 0.3 mm en el concreto con una concentración de 1×10^9 cel/ml.	35
Figura 8: Molde para el ensayo de asentamiento.	43
Figura 9: Diagrama de un dispositivo adecuado para ensayar a flexión vigas con cargas a los tercios. Fuente: [20].....	47
Figura 10: Ejemplo de dispositivo de ensayo. Fuente:[22].....	49
Figura 11: Trayecto desde Chiclayo hasta cantera elegida. Fuente: Google Maps.....	60
Figura 12: Trayecto desde Chiclayo hasta cantera elegida. Fuente: Google Maps.....	60
Figura 13: Empaque de cemento a usar.	60
Figura 14: Cal viva.....	61
Figura 15: Urea.....	61
Figura 16: Cuarteo del material.....	62
Figura 17: Tesista con agregado grueso y tamices.....	62
Figura 18: Tesista con la muestra y tamices para el ensayo.....	62
Figura 19: Agitación de tamices para la distribución de los agregados.	62
Figura 20: Tesista colocando muestra de agregado fino al horno.	63
Figura 21: Tesista colocando muestra de agregado grueso al horno.....	63
Figura 22: Apisanado por capa para peso unitario compactado.....	64
Figura 23: Llenado de molde con muestra de agregado fino.	64

Figura 24:Llenado de molde con agregado grueso.	64
Figura 25:Enrazamiento al final de llenado de muestra.	64
Figura 26: saturación de muestra, sumergida totalmente en agua.....	65
Figura 27: Secado superficialmente del agregado grueso.	65
Figura 28: Tesista agitando matraz para eliminar contenido de aire dentro del recipiente.....	65
Figura 29: Matraz con agua y muestra de agregado fino.	65
Figura 30: Material de vidrio que será colocado al horno a 150°C por 24 h.	66
Figura 31:Tesista colocando material de vidrio a estufa a 60°C.....	66
Figura 32:Tesista abriendo el paquete de ATCC.	66
Figura 33: Cepa bacteriana junto a gel refrigerante conservando temperaturas de 4°C - 8°C. 66	
Figura 34: Agar TSA 100 ml.....	67
Figura 35: Tesista colocando Agar TSA en microondas.....	67
Figura 36: Colocación de Agar TSA en placas petri.....	67
Figura 37: Placas petri contenidas con Agar TSA, junto a cepa bacteriana y material a que se utilizará.....	68
Figura 38: Se observa la presión en la parte liofilizada.	68
Figura 39: Hisopó ya humedecido, listo para la siembra.	68
Figura 40: Tesista sembrando cepa bacteriana en el cultivo.....	69
Figura 41:Asa bacteriana de anillo esterilizado.	69
Figura 42: Tesista colocando placas sembradas en estufa/incubadora.	69
Figura 43: Tesista observando las colonias bacterianas en las muestras.	70
Figura 44: Observación de colonias de Bacillus megaterium en equipo contador de colonias.	70
Figura 45: Tesista, colocando caldo nutritivo de Tripticasa Soya, en tubo de ensayo.....	70
Figura 46: Inserción de Asa con aguja Sterilin dentro de tubo de ensayo.	70
Figura 47: Inóculos colocados en estufa.	71
Figura 48: Estufa a 36,5 °C.	71
Figura 49: Colocación de colonias bacterianas en láminas porta objeto.....	72

Figura 50:Componentes utilizados para tinción de Gram.....	72
Figura 51: Tesista observando bacterias en microscopio.....	72
Figura 52: Colocación de colonias bacterianas en láminas porta objeto.....	72
Figura 53:Tesista midiendo slump.	73
Figura 54: Slump de concreto patrón 4"	73
Figura 55: Tesista tomando el control de temperatura.	73
Figura 56: Control de temperatura de concreto patrón.	73
Figura 57:especímenes vaciados	74
Figura 58: Curado a bioconcreto con hidróxido de calcio y urea	74
Figura 59: Tesista con probeta ensayada.....	74
Figura 60: Espécimen de concreto bacteriano, ensayado a compresión.	74
Figura 61: Tesista colocando inóculo en el agua para la mezcla.	75
Figura 62:Tesista con especímenes ya vaciados.	75
Figura 63: Tesista marcando viga para ser ensayada a flexión.	75
Figura 64: Tesista junto a viga por ensayar.....	75
Figura 65: Tesista llevando a cabo la tarea de pulir las superficies inferiores de las muestras.	76
Figura 66: Anillos de goma para evitar filtraciones.....	76
Figura 67: Tesista aplicando presión de 500kPa.....	76
Figura 68: Tesista con probetas ya fracturadas.	76
Figura 69: Tesista pasando concreto por tamiz N°4.	77
Figura 70: Material por tamiz N°4.	77
Figura 71: Las agujas utilizadas en el ensayo.	77
Figura 72: Muestra ensayada.....	77
Figura 73: Tesista colocando inóculo bacteriano a muestras de mortero.	78
Figura 74: Tesista preparando muestras de mortero de cemento Portland.	78
Figura 75: Muestras vaciados, para ser ensayadas posteriormente.	78
Figura 76: Tesista con muestras de bioconcreto 1×10^5 cel/ml en curación.	78

Figura 77: Tesista señalando la fisura obtenida en la muestra prismática.	79
Figura 78: Tesista marcando viga fisurada para controles respectivos.	79
Figura 79: Se observa la viga fisurada y marcada.	79
Figura 80: Fisura de control A-A de figura 52. Vista con Microscopio Para medir fisuras del concreto.	79
Figura 81: Asentamiento alcanzado del concreto patrón.	155
Figura 82: Asentamiento alcanzado del bioconcreto de 1×10^5 cel/ml.	155
Figura 83: Asentamiento alcanzado del bioconcreto de 1×10^6 cel/ml.	155
Figura 84: Temperatura alcanzada del concreto patrón.	156
Figura 85: Temperatura alcanzada del bioconcreto de 1×10^5 cel/ml.	156
Figura 86: Temperatura alcanzada del bioconcreto de 1×10^6 cel/ml.	156
Figura 87: Ensayo de compresión a concreto patrón.	157
Figura 88: Ensayo de compresión a bioconcreto de 1×10^5 cel/ml.	157
Figura 89: Ensayo de compresión a bioconcreto de 1×10^6 cel/ml.	157
Figura 90: Ensayo de compresión a concreto patrón.	158
Figura 91: Ensayo de compresión a bioconcreto de 1×10^5 cel/ml.	158
Figura 92: Ensayo de compresión a bioconcreto de 1×10^6 cel/ml.	158
Figura 93: Ensayo de compresión a concreto patrón.	159
Figura 94: Ensayo de compresión a bioconcreto de 1×10^5 cel/ml.	159
Figura 95: Ensayo de compresión a bioconcreto de 1×10^6 cel/ml.	159
Figura 96: Ensayo de compresión a concreto patrón.	160
Figura 97: Ensayo de compresión a bioconcreto de 1×10^5 cel/ml.	160
Figura 98: Ensayo de compresión a bioconcreto de 1×10^6 cel/ml.	160
Figura 99: Tesista ensayando concreto patrón.	161
Figura 100: Tesista ensayando concreto bacteriano 1×10^5 cel/ml.	161
Figura 101: Tesista ensayando concreto bacteriano 1×10^6 cel/ml.	161
Figura 102: Tesista con los especímenes ya pulidos.	162

Figura 103: Tesista con las probetas ya ensayadas para medir la profundidad de penetración.	162
Figura 104: Distancia más lejana que el agua logra penetrar en el concreto patrón (1A).	162
Figura 105: Distancia más lejana que el agua logra penetrar en el concreto patrón (1B).....	162
Figura 106: Distancia más lejana que el agua logra penetrar en el concreto patrón (2A).	162
Figura 107: Distancia más lejana que el agua logra penetrar en el concreto patrón (2B).....	162
Figura 108: Tesista con los especímenes puestos a presión.	163
Figura 109: Tesista retirando probetas de la máquina después de 72 horas.	163
Figura 110: Distancia más lejana que el agua logra penetrar en el bioconcreto – 1×10^5 cel/ml. (1A).	163
Figura 111: Distancia más lejana que el agua logra penetrar en el bioconcreto – 1×10^5 cel/ml. (1B).....	163
Figura 112: Distancia más lejana que el agua logra penetrar en el bioconcreto – 1×10^5 cel/ml. (2A).	163
Figura 113: Distancia más lejana que el agua logra penetrar en el bioconcreto – 1×10^5 cel/ml. (2B).....	163
Figura 114: Tesista colocando agua para eliminar burbujas de los tanques.	164
Figura 115: Tesista con los especímenes puestos a presión.	164
Figura 116: Distancia más lejana que el agua logra penetrar en el bioconcreto – 1×10^6 cel/ml. (1A).	164
Figura 117: Distancia más lejana que el agua logra penetrar en el bioconcreto – 1×10^6 cel/ml.. (1B).....	164
Figura 118: Distancia más lejana que el agua logra penetrar en el bioconcreto – 1×10^6 cel/ml. (2A).	164
Figura 119: Distancia más lejana que el agua logra penetrar en el bioconcreto – 1×10^6 cel/ml. (2B).....	164
Figura 120: Tesista varillando mortero ya pasado por la malla N°4.....	165
Figura 121: Tesista con muestras (patrón, bioconcreto– 1×10^5 cel/ml, bioconcreto– 1×10^6 cel/ml).....	165
Figura 122: Tesista retirando exceso de agua, conforme a norma.	165
Figura 123: Tesista retirando vigas de la solución sulfatosa.....	166
Figura 124: Tesista observando degradación de muestras.	166

Figura 125: Calibrando equipo de ensayo.....	166
Figura 126: Muestra colocada para medición.	166
Figura 127: Tesista colocando viga en equipo.	166
Figura 128: Viga patrón fisurada, antes.	167
Figura 129: Viga patrón fisurada, después.....	167
Figura 130: Viga de bioconcreto 1×10^5 cel/ml fisurado, antes.	167
Figura 131: Viga de bioconcreto 1×10^5 cel/ml fisurado, después.....	167
Figura 132: Viga de bioconcreto 1×10^6 cel/ml fisurado, antes.	167
Figura 133: Viga de bioconcreto 1×10^6 cel/ml fisurado, después.....	167
Figura 134: Sección A-A, 28 días	168
Figura 135: Sección A-A, 56 días.....	168
Figura 136: Sección A-A, 87 días.....	168
Figura 137: Sección B -B, 28 días.....	168
Figura 138: Sección B -B, 56 días.....	168
Figura 139: Sección B -B, 87 días.....	168
Figura 140: Sección C -C, 87 días.....	169
Figura 141: Sección C -C, 115 días.....	169
Figura 142: Sección C -C, 143 días.....	169
Figura 143: Tesista tomando medidas de viga – concreto patrón.	169
Figura 144: Tesista tomando medidas de viga – concreto patrón.	169
Figura 145: Sección A-A, 28 días.....	170
Figura 146: Sección A-A, 56 días.....	170
Figura 147: Sección A-A, 87 días.....	170
Figura 148: Sección A-A, 115 días.....	170
Figura 149: Sección A-A, 143 días.....	170
Figura 150: Sección B -B, 28 días.....	170
Figura 151: Sección B -B, 56 días.....	170

Figura 152: Sección B -B, 87 días.....	170
Figura 153: Sección B -B, 115 días.....	170
Figura 154: Sección B -B, 143 días.....	170
Figura 155: Sección C -C, 28 días.....	171
Figura 156: Sección C -C, 56 días.....	171
Figura 157: Sección C -C, 87 días.....	171
Figura 158: Sección C -C, 115 días.....	171
Figura 159: Sección C -C, 143 días.....	171
Figura 160: Tesista tomando medidas de viga - bioconcreto 1×10^5 cel/ml.	171
Figura 161: Tesista tomando medidas de viga - bioconcreto 1×10^5 cel/ml.	171
Figura 162: Sección A-A, 28 días.	172
Figura 163: Sección A-A, 56 días.	172
Figura 164: Sección A-A, 87 días.	172
Figura 165: Sección A-A, 115 días.	172
Figura 166: Sección A-A, 143 días.	172
Figura 167: Sección B -B, 28 días.....	172
Figura 168: Sección B -B, 56 días.....	172
Figura 169: Sección B -B, 87 días.....	172
Figura 170: Sección B -B, 115 días.....	172
Figura 171: Sección B -B, 143 días.....	172
Figura 172: Sección C -C, 28 días.....	173
Figura 173: Sección C -C, 56 días.....	173
Figura 174: Sección C -C, 87 días.....	173
Figura 175: Sección C -C, 115 días.....	173
Figura 176: Sección C -C, 143 días.....	173
Figura 177: Tesista tomando medidas de viga - bioconcreto 1×10^6 cel/ml.	173
Figura 178: Tesista tomando medidas de viga - bioconcreto 1×10^6 cel/ml.	173

Lista de anexos

Anexo 1: Informe del ensayo de contenido de humedad del agregado fino de la cantera La Victoria - Pátapo.....	123
Anexo 2: Informe del análisis granulométrico del agregado fino de la cantera La Victoria-Pátapo.....	124
Anexo 3: Informe del ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado fino de la cantera La Victoria-Pátapo.....	125
Anexo 4: Informe del ensayo de peso específico y absorción del agregado fino de la cantera La Victoria-Pátapo.	126
Anexo 5: Informe del ensayo de contenido de humedad del agregado grueso de la cantera Tres Tomas-Ferreñafe	127
Anexo 6: Informe del análisis granulométrico del agregado grueso de la cantera Tres Tomas-Ferreñafe.....	128
Anexo 7: Informe del ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado grueso de la cantera Tres Tomas-Ferreñafe.....	129
Anexo 8: Informe del ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso de la cantera Tres Tomas-Ferreñafe.	130
Anexo 9: Informe del ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días de edad de concreto patron, concreto con concentración bacteriana de 10^5 cel/ml y concreto con concentración bacteriana de 10^6 cel/ml.....	131
Anexo 10: Diseño final de mezclas por el método del Comité 211-ACI.....	132
Anexo 11: Ficha Técnica de Bacteria - Empresa de Laboratorios Gen Lab.	145
Anexo 12: Hoja de Seguridad - Empresa de Laboratorios Gen Lab.....	146
Anexo 13: Método de cultivo - Empresa de Laboratorios Gen Lab.	147
Anexo 14: Certificado de calidad del cemento Portland Tipo I.....	148
Anexo 15: Hoja Técnica Sikadur-32 Gel.	149
Anexo 16: Hoja Técnica SikaRep-500.....	152
Anexo 17: Características de Microscopio Para Medir Fisuras Del Concreto.....	154
Anexo 18: Ensayo de asentamiento, evidencia fotográfica.....	155
Anexo 19: Control de temperatura del concreto fresco, evidencia fotográfica.....	156
Anexo 20: Ensayos de resistencia a la compresión de concreto a la edad de 7 días.....	157

Anexo 21: Ensayos de resistencia a la compresión de concreto a la edad de 14 días.....	158
Anexo 22: Ensayos de resistencia a la compresión de concreto a la edad de 28 días.....	159
Anexo 23: Ensayos de resistencia a la compresión de concreto a la edad de 56 días.....	160
Anexo 24: Ensayo de elasticidad del concreto.....	161
Anexo 25: Ensayo de permeabilidad del concreto. evidencia fotográfica.	162
Anexo 26: Ensayo de permeabilidad de bioconcreto – 1×10^5 cel/ml evidencia fotográfica..	163
Anexo 27: Ensayo de permeabilidad de bioconcreto – 1×10^6 cel/ml evidencia fotográfica..	164
Anexo 28: Ensayo de tiempo de fraguado.	165
Anexo 29: Ensayo Expansión por Sulfatos.	166
Anexo 30: Comparación, antes y después de vigas de concreto de 28 días de edad, fisuradas y marcadas para el control correspondiente de autosellado.	167
Anexo 31: Control de fisuras a vigas - Concreto patrón.	168
Anexo 32: Control de fisuras a vigas – Bioconcreto 1×10^5 cel/ml.	170
Anexo 33: Control de fisuras a vigas – Bioconcreto 1×10^6 cel/ml.	172

Resumen

En vista que el concreto es propenso a las fisuras, da paso a que el agua o hielo penetren en la estructura reduciendo la vida cuando estos originales, surge la propuesta del concreto autorreparable con bacterias *Bacillus megaterium* en concentraciones de 1×10^5 cel/ml y 1×10^6 cel/ml siendo así esta es la variable independiente del estudio, para las variables dependientes analizadas fueron asentamiento, temperatura, peso unitario, tiempo de fraguado, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, permeabilidad, exposición de sulfatos y módulo de elasticidad; complementando con controles de auto sellado semanalmente y un análisis de costo unitario por metro cúbico del concreto autorreparable. La incorporación de bacterias *Bacillus megaterium* ha demostrado tener un impacto positivo en la resistencia de compresión hasta en un 29% y flexión hasta en un 22% del concreto a los 28 días.

Palabras Clave: Concreto autorreparable, bacteria *Bacillus megaterium*, inoculación bacteriana, biocementación.

Abstract

Given that concrete is prone to cracks, it gives way to water or ice to penetrate the structure, reducing the life when these originals, the proposal of self-healing concrete with *Bacillus megaterium* bacteria in concentrations of 1×10^5 cel/ml and 1×10^6 cel/ml Thus, this is the independent variable of the study. The dependent variables analyzed were settlement, temperature, unit weight, setting time, compressive strength, flexural strength, permeability, sulfate exposure, and modulus of elasticity. Complementing with weekly self-sealing controls and an analysis of unit cost per cubic meter of self-healing concrete. The incorporation of *Bacillus megaterium* bacteria has been shown to have a positive impact on compressive strength up to 29% and flexural strength up to 22% of concrete at 28 days.

Keywords: Self-healing concrete, *Bacillus megaterium* bacteria, bacterial inoculation, biocementation.

Introducción

El concreto es el material de construcción más utilizado en el mundo, y desde que los romanos edificaron el panteón hace ya unos 2.000 años, se ha estado tratando de hallar maneras para que el concreto tenga una mejor durabilidad, dado que, se usa para hacer realidad distintas edificaciones, ya sean viviendas, hospitales, puentes, vías de tránsito entre otras, además es un material con buena versatilidad para ser aplicado en diversos campos constructivos, sin embargo, este material es propenso a las grietas por la conectividad de poros, sin importar de cómo sea mezclado o se refuerce, tarde o temprano este llegará a fisurarse y deteriorarse, debido a una variedad de razones, una de las cuales es la contracción.

Por lo que las estructuras necesitan ser reforzadas considerablemente con acero, aun así, las grietas no son tan pequeñas como para impedir que el agua o el hielo penetren y perjudiquen el acero, afectando así su durabilidad, reduciendo el tiempo de vida útil y generando así costos adicionales de mantenimiento, cabe mencionar que la importancia de lo perjudicado dependerá de la funcionalidad del elemento estructura; por ejemplo, en las vigas de una edificación si llegase a penetrar el aire o agua por una de estas grietas, hasta llegar al acero sería muy perjudicial ya que el concreto no tiene un buen comportamiento hacia la flexión .

Ahora bien, de no darse mantenimiento y reparación a las estructuras de concreto en mal estado, teniendo en cuenta que los precios generalmente son elevados; esto daría paso a que los habitantes de esa zona ocupada estén en un permanente riesgo por algún elemento comprometido a fallas estructurales.

Por otra parte, siendo el cemento un componente del concreto, la producción de este genera emisiones de dióxido de carbono (CO₂), este compuesto se encuentra dentro de los gases efecto invernadero cooperando así a la problemática ambiental que también se conoce como cambio climático.

Haciendo referencia a lo mencionado, se hace la siguiente interrogante ¿De qué manera contribuiría la adición de Bacterias *Bacillus megaterium* al mejoramiento de la capacidad autorreparable del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$?

La justificación Técnica, manifiesta que con la finalidad de dar solución a las microgrietas que brotan en los materiales cementantes, se han elaborado otras investigaciones que dan como propuestas a materiales nuevos, entre las principales propuestas se hace alusión al biomaterial o material autorreparable en el cual se adicionan bacterias. Una de las formas en que se puede

mitigar la formación de grietas en el concreto es mediante esta inducción. Es una categoría única de concreto en la que se utiliza la bacteria precipitante de calcita junto con los ingredientes típicos del mismo. La precipitación de calcita aumentará la densidad del concreto, aumentando así la resistencia además de la durabilidad de este.

Como justificación Social, tenemos que este concreto microbiano presenta un alargamiento potencialmente enorme en la vida útil de la infraestructura, y también aumenta considerablemente la seguridad de las estructuras. Siendo así un gran aporte social ya que, las personas vivirán más tranquilas sabiendo que las edificaciones construidas con este material son más seguras.

Respecto a la justificación Económica el Concreto Bacteriano se puede hacer incrustando bacterias en el concreto siendo capaz de precipitar calcita constantemente, en otras palabras, los componentes químicos han de reparar de modo autónomo a este concreto especial, lo cual impide hacer diversos gastos generados por las deformaciones y agrietamiento.

En lo que concierne a la justificación Ambiental, al evitarse el mantenimiento y reparación del concreto, se evita consumir más cemento, esta acción da paso a que las emisiones de dióxido de carbono (CO_2), emitidas por la fabricación de cemento sean menores, además, ya no sería necesario el transporte de materiales, dejando de lado los vehículos motorizados que también emiten dichas sustancias; mitigando así la contaminación ambiental.

La hipótesis que se planteó en esta investigación es: La incorporación de bacterias *Bacillus megaterium* mejorará la capacidad autorreparable del concreto convencional $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

El objetivo general de esta investigación es desarrollar un bio-concreto con bacterias *Bacillus megaterium* para mejorar la capacidad de autosellado del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$; los objetivos específicos que ayudaran a alcanzar el objetivo general son: elaborar diseño de mezcla para el concreto experimental con concentraciones de $1 \times 10^5 \text{ cel/ml}$ y $1 \times 10^6 \text{ cel/ml}$; determinar en qué manera la incorporación de bacterias *Bacillus megaterium* influirá en la resistencia de compresión y flexión del concreto; demostrar la capacidad de autorreparación mediante pruebas experimentales que evalúen la restauración ante daños de fisuras inducidas; realizar un análisis del costo unitario por m^2 del concreto autorreparable con la adición de bacterias *Bacillus megaterium* frente al concreto convencional y sus respectivas especificaciones técnicas de producción.

Revisión de la literatura

Antecedentes del problema

S. Prabhath Kumar, R. Vighnesh, G. S. “Self healing of microcracks in linings of irrigation canal using coir fibre reinforced bio-concrete”.[1]

Este estudio hace hincapié en el concreto autocurativo que puede preferirse en la construcción del revestimiento de un canal. Este concreto especial tiene la capacidad de cicatrizar grietas de hasta 0,4 mm de ancho lo que evita la pérdida de agua del canal. Esta capacidad cicatrizante del concreto es aportada por la bacteria *Bacillus megaterium*. El concreto bacteriano debe curarse en un medio de curado separado que contenga cloruro de calcio y urea mezclados en agua normal para mejorar la precipitación de bacterias con calcita.

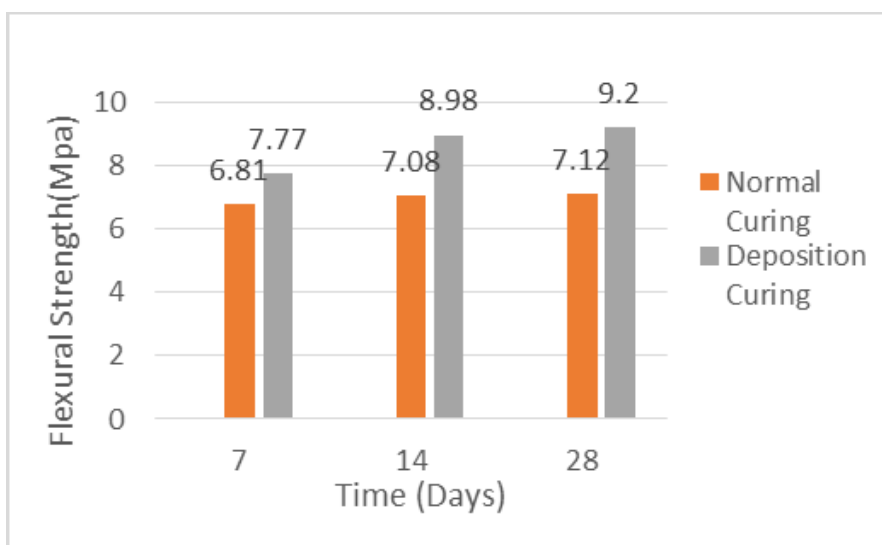
Se observó que el aumento de la fuerza se debió a la reacción ureolítica de las bacterias en presencia de urea y cloruro de calcio. Esta reacción produjo piedra caliza como producto final, que fue responsable del aumento de la resistencia.

Al curar el concreto bacteriano en un medio que contiene 50 g/l de CaCl_2 + 20 g/l de urea se producen las reacciones ureolíticas para producir carbonato cálcico.

La resistencia a la compresión lograda de especímenes bacterianos con 0,5 % de fibras de coco ofrecieron una resistencia mejorada del 38 % (47 MPa) a los 28 días, del 32 % (45 MPa) a los 14 días y del 21 % (41 MPa) a los 7 días, respectivamente, en comparación con el concreto común (34 MPa) a los 28 días.

La resistencia a la flexión lograda con nutrientes agregados muestra un aumento en la resistencia del 48 % (9,2 MPa) a los 28 días. Los especímenes curados en un medio que contiene CaCl_2 + urea muestra un aumento de la resistencia del 45 % (9,12 MPa) respectivamente a los 28 días en comparación con el concreto curado en agua normal (6,27 MPa).

Gráfico 1: Resistencia a la flexión



Fuente: [1]

Las pruebas de fuerza muestran que hubo una mejora en la resistencia tanto a la compresión como a la flexión. Se encontró que todas las muestras bacterianas eran más fuertes que las muestras con y sin fibras.

Por otro lado, la capacidad de absorción de agua del Concreto de Fibra Bacteriana fue considerablemente menor en comparación con el concreto normal



Figura 1: se observa grietas de 1,5 mm creadas manualmente en un elemento de 28 días de endurecimiento.



Figura 2: La misma grieta después de 3 semanas.

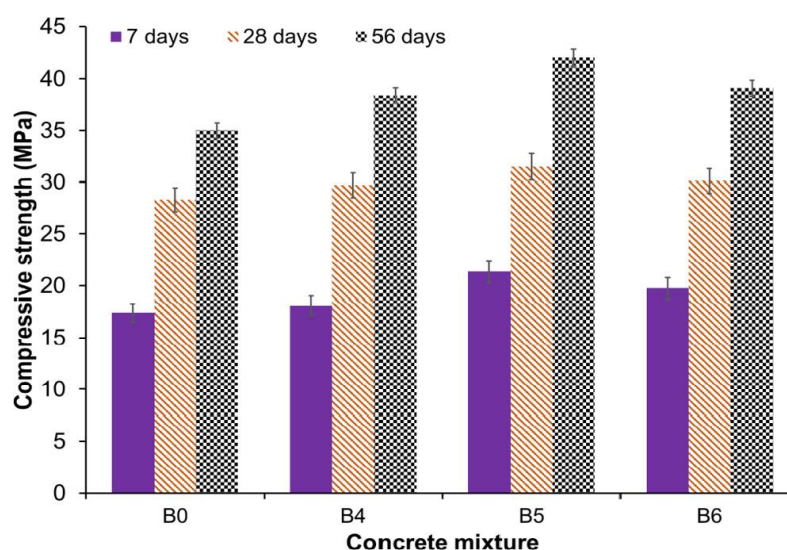
Fuente: [1]

Muraleedharan Pillai Smitha, Dhanaraj Suji, Misericordia Shanthi, Adeyemi Adesina
“Application of bacterial biomass in biocementation process to enhance the mechanical and durability properties of concrete”.[2]

Este estudio presenta los resultados de la adición de biomasa bacteriana (biocementación) en mezclas de concreto con el objetivo de dar mejoría a las propiedades mecánicas y durabilidad. Se prepararon y evaluaron cuatro mezclas de concreto en total. Tres de ellas incorporaron cultivos bacterianos en diferentes concentraciones (10^4 cel/ml, 10^5 cel/ml y 10^6 cel/ml), mientras que una de las mezclas se utilizó como muestra de control sin la adición de bacterias.

Se observó que los componentes de concreto frente a la resistencia a la compresión con las concentraciones de *Bacillus megaterium* de 10^4 cel/ml, 10^5 cel/ml y 10^6 cel/ml a los 28 días fue un 4.9%, 11.3% y 6.4% superior respectivamente, al comparar con la mezcla de control (B0). Esto indica que la concentración de 10^5 cel/ml mostró los mejores resultados en términos de resistencia a la compresión.

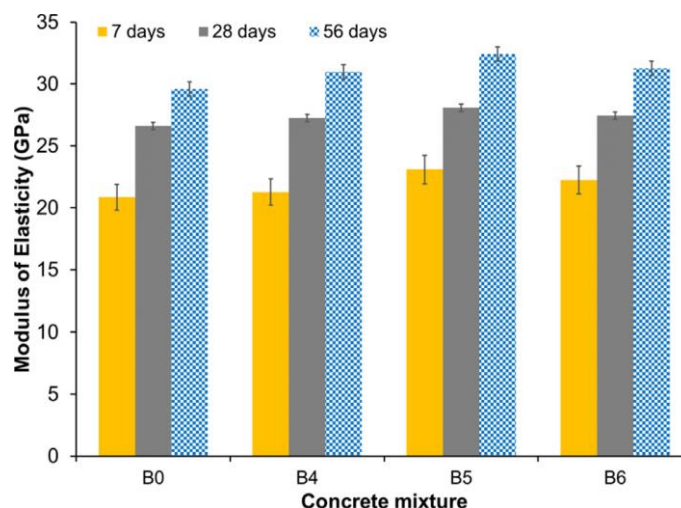
Gráfico 2: Resistencia a la compresión de las mezclas de concreto.



Fuente: [2]

Con respecto a la influencia de *Bacillus megaterium* en el módulo de elasticidad las bacterias que incorporan concreto exhibieron resultados más altos siendo comparativos con el concreto simple en todas las edades, B4, B5 y B6 a los 56 días es de 29,5 GPa, 30,9 GPa y 32,4 GPa, respectivamente. Esta mejora puede estar asociado con la precipitación de calcita dentro de la matriz del concreto

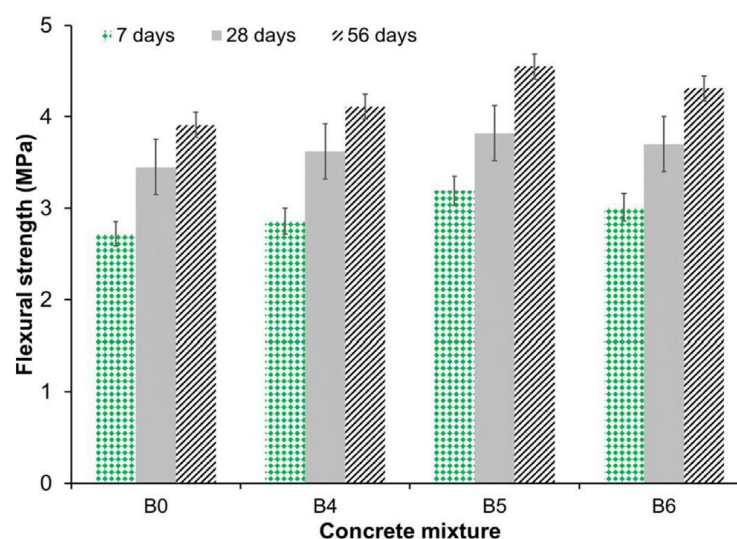
Gráfico 3: Módulo de elasticidad de las mezclas de concreto.



Fuente: [2]

Para evaluar la resistencia a la flexión, se utilizaron bloques de dimensiones 15 cm × 15 cm × 50 cm. Se observó una mejora significativa en la resistencia a la flexión del concreto al incorporar las bacterias *Bacillus megaterium*. A los 28 días, se obtuvieron los siguientes resultados para los bloques B0, B4, B5 y B6: 3.5 MPa, 3.6 MPa, 3.8 MPa y 3.7 MPa, respectivamente. Además, se observó que el incremento en la edad del concreto también conllevó a un aumento en la resistencia a la flexión. Específicamente, a los 56 días, la resistencia a la flexión del bloque B6 fue un 43.2% superior a la de la mezcla de control.

Gráfico 4: Resistencia a la flexión.



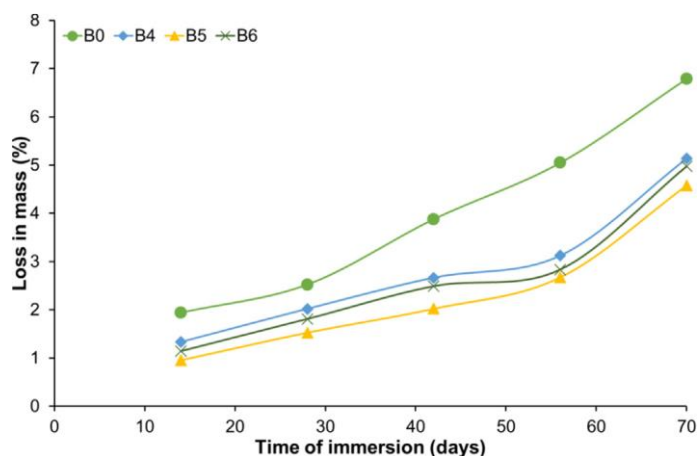
Fuente: [2] Resistencia a la flexión de las mezclas de concreto.

En lo que concierne a durabilidad, a un ambiente ácido es muy crítica para su desempeño y vida útil. Dónde los resultados de con la inducción de *Bacillus megaterium* en las mezclas a diferentes concentraciones redujo la cantidad de pérdida de masa mejorando así la estabilidad

de las mezclas de concreto, cuyos resultados en concretos sometidos a ácido clorhídrico (HCl) al 5 % durante 70 días la pérdida en masa se redujo de 6,7% a 5,1%, 4,6% y 4,9% cuando se utilizó a una concentración de 10^4 células/ml, 10^5 células/ml y 10^6 células/ml, respectivamente.

La reducción de la pérdida de masa del concreto con estas bacterias puede atribuir al llenado de los poros con biomasa bacteriana y la formación de calcita dentro de la matriz del concreto. Similar a las propiedades mecánicas, el uso de dichas bacterias a una concentración de 10^5 células/ml resultó con un mejor rendimiento.

Gráfico 5: Pérdida de masa del concreto sumergido en 5% en H_2SO_4 (Ácido sulfúrico).



Fuente: [2]

La permeabilidad al agua del concreto es una indicación de su resistencia a la penetración de diversos materiales nocivos en el ambiente al que está sujeto. También se puede observar que el coeficiente de permeabilidad del concreto que incorpora bacterias (B4, B5 y B6) es menor que el del concreto simple sin bacterias (B0) a los 28 días ya los 56 días. En todas las edades, la mezcla de B5 elaborada con una concentración de bacterias de 10^5 células/ml exhibieron el coeficiente más bajo de permeabilidad al agua.

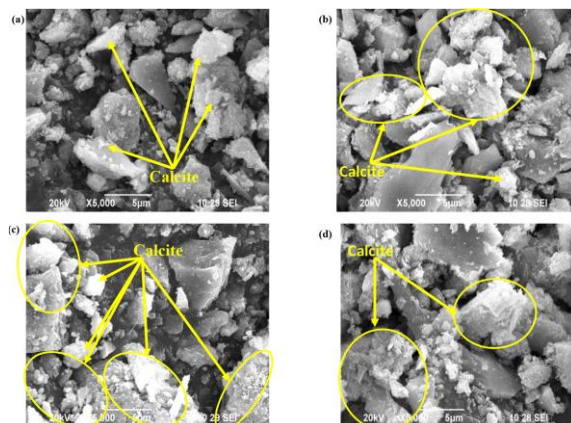


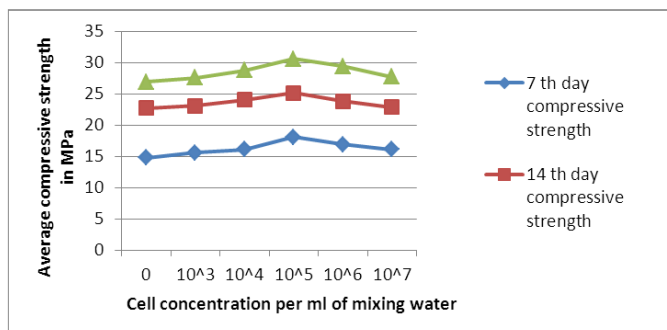
Figura 3: Imágenes SEM que muestran la precipitación de calcita de (a) B0 (b) B4 (c) B5 (d) B6. Fuente: [2]

V. Nagarajan, T. Karthik Prabhu, M. Gowri S, P. “A study on the strength of the bacterial concrete embedded with *Bacillus megaterium*”.[3]

En este estudio se exploró la viabilidad de optimar la resistencia del concreto mediante la utilización de un relleno microbiano inducido que involucra la bacteria *Bacillus megaterium*. Se hicieron pruebas en prismas y cilindros de concreto, tanto con la inclusión de las bacterias como sin ellas, evaluando su resistencia a la compresión, tracción y flexión. Las respuestas revelaron que la incorporación de la bacteria *Bacillus megaterium* generó una mejora significativa en la resistencia a la tracción y flexión comparando con el concreto tradicional.

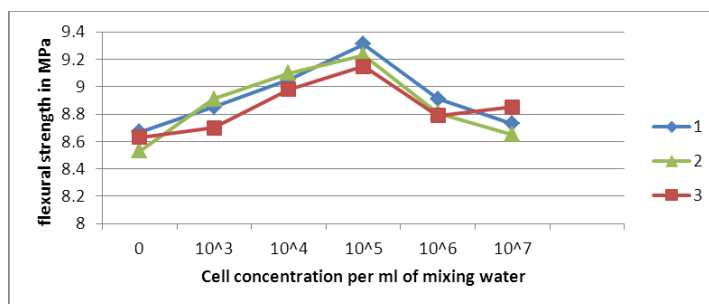
Se realizaron pruebas con diferentes concentraciones de bacterias (10^4 cel/ml, 10^5 cel/ml, 10^6 cel/ml y 10^7 cel/ml) en cada proporción de mezcla. A los 28 días, se observó un incremento del 10,92% en la resistencia a la compresión al utilizar una concentración de 10^5 células por ml de agua de mezcla con la bacteria. Además, se obtuvo un valor máximo de resistencia a la flexión de 9.35 MPa con la concentración de 10^5 cel/ml. Estos resultados demuestran que la adición de la bacteria *Bacillus megaterium* puede mejorar significativamente la resistencia del concreto, especialmente en términos de resistencia a la tracción dividida y flexión.

Gráfico 6: Concentración celular Vs Resistencia a la compresión.



Fuente: [3]

Gráfico 7: Concentración celular frente a resistencia a la flexión.



Fuente: [3]

A. Parashar, A. Gupta “Experimental study of the effect of *Bacillus megaterium* bacteria on cement concrete”.[4]

Este estudio se enfocó en mejorar el rendimiento del concreto mediante la utilización de bacterias para reducir los vacíos presentes. Se encontró que las bacterias de la familia *Bacillus* son especialmente efectivas en la curación del concreto. En este caso, se utilizó *Bacillus megaterium* con una concentración de 108 cel/ml.

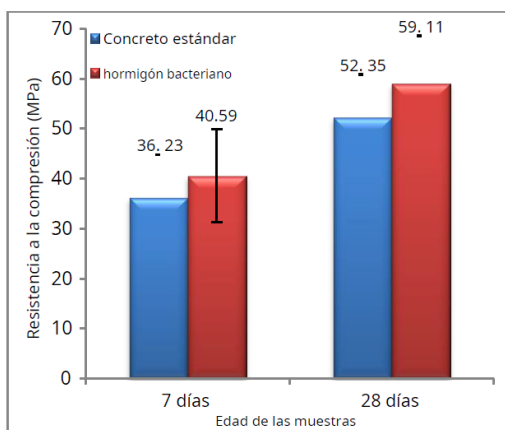
En cuanto a la solución bacteriana, las bacterias fueron obtenidas en forma de polvo y en estado congelado del Instituto de Tecnología Microbiana (IMTECH) - Colección de cultivos tipo microbianos y banco de genes (MTCC). El polvo bacteriano fue convertido en una solución líquida para su posterior mezcla con el concreto. En la etapa inicial, se cultivaron los medios de caldo nutritivo utilizando un matraz cónico con 0,3 g de extracto de carne de res, 0,5 g de peptona y 0,5 g de cloruro de sodio.

Se prepararon un total de 24 especímenes cúbicos con dimensiones de (15 x 15 x 15) cm³, 12 cilindros con una altura de 0.20 m y un diámetro de 0.10 m, así como 12 vigas con dimensiones de (10 x 10 x 50) cm³ tanto para el concreto estándar como para el concreto bacteriano.

Los resultados de las pruebas indican que, después de 28 días, el concreto bacteriano mostró incrementos del 12.91% en la resistencia a la compresión, del 10.28% en la resistencia a la tracción y del 9.02% en la resistencia a la flexión en comparación con el concreto estándar.

La resistencia a la compresión del concreto bacteriano de *Bacillus megaterium*, que tiene una concentración de 10⁸ células/ml, ha mejorado si cotejamos con el concreto estándar, a los 28 días de ensayo se obtuvo una resistencia del concreto estándar y bacteriano de 52.35 MPa y 59.11 MPa.

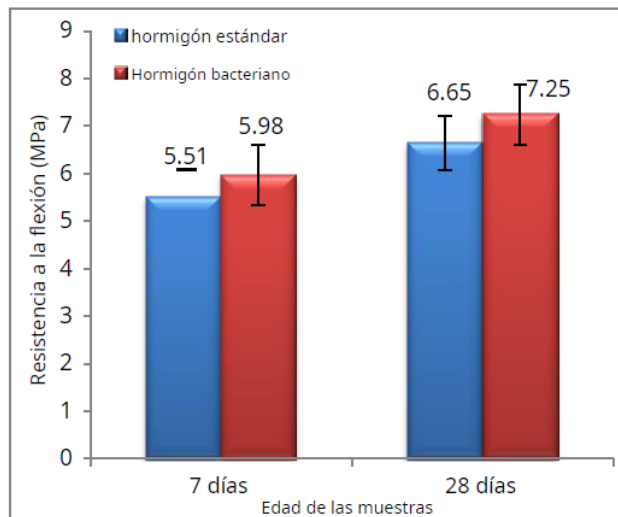
Gráfico 8: Resistencia a la compresión del concreto estándar y bacteriano.



Fuente: [4]

El aumento máximo en la resistencia a la flexión del concreto bacteriano *Bacillus megaterium* cotejando con el concreto estándar se ha observado en un 8,52 % y un 9,02 % a los 7 y 28 días, respectivamente.

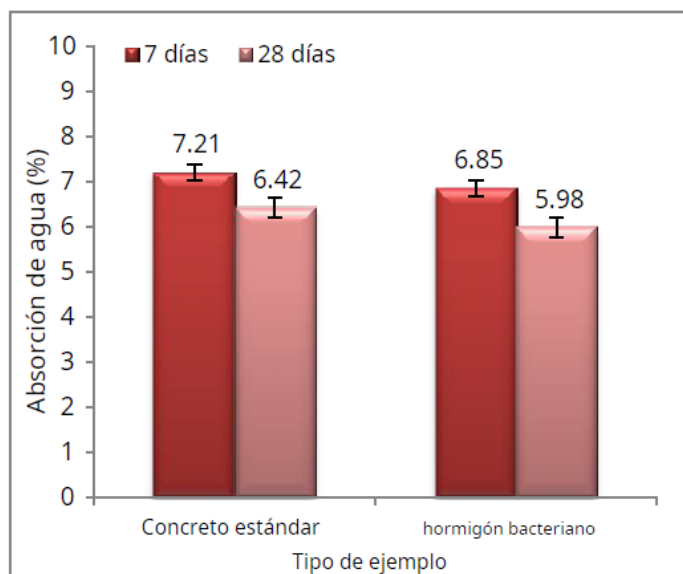
Gráfico 9: Resistencia a la flexión del concreto estándar y bacteriano.



Fuente: [4]

El efecto sobre la absorción de agua revela que la bacteria *Bacillus megaterium* incorporada al concreto tiende a reducir el valor de la absorción de agua en comparación con el concreto estándar. La absorción de agua del concreto bacteriano *Bacillus megaterium* se ha reducido en un 5,25% y un 7,35% a los 7 y 28 días respectivamente.

Gráfico 10: Absorción de agua del concreto estándar y bacteriano.

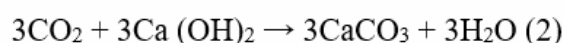


Fuente: [4]

M. Alazhari, T. Sharma, [...] K. Paine “Application of expanded perlite encapsulated bacteria and growth media for self-healing concrete”.[5]

Esta investigación, nos da un alcance sobre el concreto autorreparable basado en la precipitación de carbonato de calcio inducida por la actividad bacteriana; de esta manera se consideró la optimización del rendimiento de autorreparación en términos de la cantidad de esporas bacterianas requeridas, la concentración y composición de nutrientes y precursores, y si era probable que un sistema de dos componentes produjera de manera eficiente la autoreparación en el concreto.

En el proceso de curación en la vía metabólica aeróbica, ocurre una reacción donde las bacterias inducen la oxidación de una sal de calcio orgánico (conocida como precursor), como el acetato de calcio o el lactato de calcio. Esta oxidación actúa como un punto de nucleación en la precipitación de carbonato de calcio (CaCO₃) en condiciones adecuadas (ver ecuación 2). Como resultado, se produce una forma mejorada de curación autógena, ya que la presencia de la molécula carbonatada es más grande en comparación con la versión no carbonatada.



La pluralidad de los sistemas de concretos autorregenerables a base de bacterias requieren que las esporas se inmovilicen y se separen de cualquier factor desencadenante de la germinación, normalmente mediante encapsulación, antes de agregarlas al concreto.

Para lograr la formación de carbonato de calcio, se requiere una concentración insignificante de células que asegure la curación de las microgrietas. Además, el medio de cultivo realiza un papel importante en el crecimiento óptimo de la bacteria seleccionada. Además, estudios sugieren que el uso de extracto de levadura y urea es necesario según la vía metabólica de las bacterias.

S. Basha, L. Lingamgunta, [...] V. Bajali “Subsurface endospore-forming bacteria possess bio-sealant properties”.[6]

En este estudio, se aisló bacterias usando nutrientes simples debido a que aquellas bacterias que típicamente sobreviven en ambientes oligotróficos prevalecen en ambientes subterráneos debido a la privación extrema de nutrientes. Los microbios pueden tener paredes celulares y membranas muy permeables a posibles sustratos, lo que representa una ventaja considerable.

Por otro parte, las bacterias aeróbicas que se han aislado de horizontes profundos son las cepas más eficientes en condiciones ambientales muy limitadas y en ambientes desecados por nutrientes.

Además, las actividades geoquímicas de los microorganismos, especialmente las bacterias, son responsables en gran medida de la deposición de minerales a lo largo de la historia de la tierra. Estos microorganismos inducen o controlan la precipitación de diferentes minerales, como óxidos, sulfatos, fosfatos y carbonatos. El carbonato de calcio ha demostrado ser el relleno más adecuado para el concreto debido a su alta compatibilidad con las composiciones cementosas y se precipita a través de un desarrollo de mineralización inducido microbiológicamente en presencia de una fuente de calcio.

El proceso de precipitación microbiana de CaCO_3 (Carbonato de Calcio) es útil para la remediación de la superficie y subsuperficie de medios porosos. El proceso de taponamiento mineral microbiano en medios porosos se indujo mediante el uso de un alcalofílico microorganismo del suelo, *B. pasteurii*. La actividad de la ureasa es alta a un pH alcalino, en el que la precipitación del CaCO_3 es favorable.

La capacidad de *B. pasteurii* para rellenar grietas se observó mediante el uso de vigas de mortero de cemento fisurado artificialmente. En este estudio, *B. pasteurii* fue utilizado como remediación de grietas y fisuras a través de la precipitación de CaCO_3 microbiológicamente inducida en el concreto, así mismo, se informó que la biodeposición mejoró la durabilidad de las muestras de mortero de cemento/ especímenes de concreto. Además, la deposición de CaCO_3 ; los cristales disminuyeron la absorción de agua para bloquear la porosidad de las muestras, lo que provocó una disminución en la tasa de carbonatación de aproximadamente 25 a 30 %.

A. Ruiz, E. Valverde “Incorporación de bacterias *Bacillus subtilis* para mejorar la capacidad autorreparable del concreto $f' c = 210 \text{ kg/cm}^2$, lima-2020”.[7]

En esta tesis se seleccionaron dos modelos prismáticos por cada dosificación para la inducción de fisuras a los 14 días de edad; se ejecutó como un ensayo de flexión, se cargó a la muestra hasta su fisuración sin llegar a la fractura completa.



Figura 4: Espécimen prismático fisurado.

Fuente:[7]

Después de generar las grietas en todas las muestras, se procedió a realizar un registro de las mismas. Se realizaron cortes perpendiculares a las fisuras y se utilizó un fisurómetro para medir su apertura. Se tomaron varias muestras con el mismo grosor de fisura y se seleccionó la más representativa para su posterior análisis. Además, se tomaron fotografías con las medidas correspondientes para calcular con mayor precisión el porcentaje de autoreparación. Este procedimiento se repitió para cada grupo de control durante un mes, lo que resultó en un total de cuatro registros para evaluar el proceso de autoreparación.

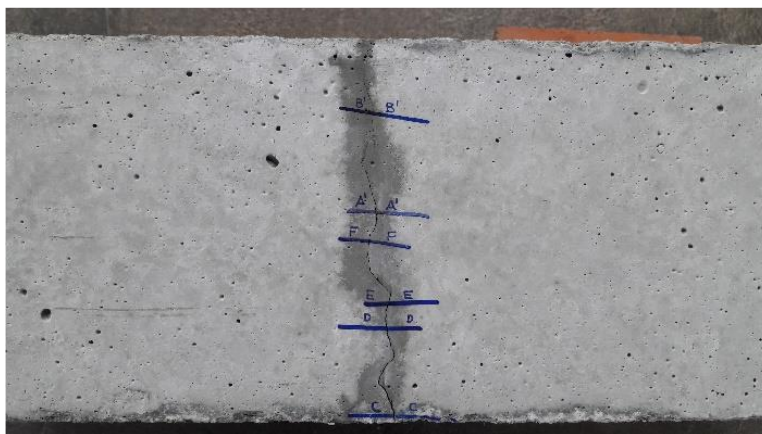


Figura 5: Identificación de fisuras.

Fuente:[7]

- Fórmula para estimar el porcentaje de autosellado.

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

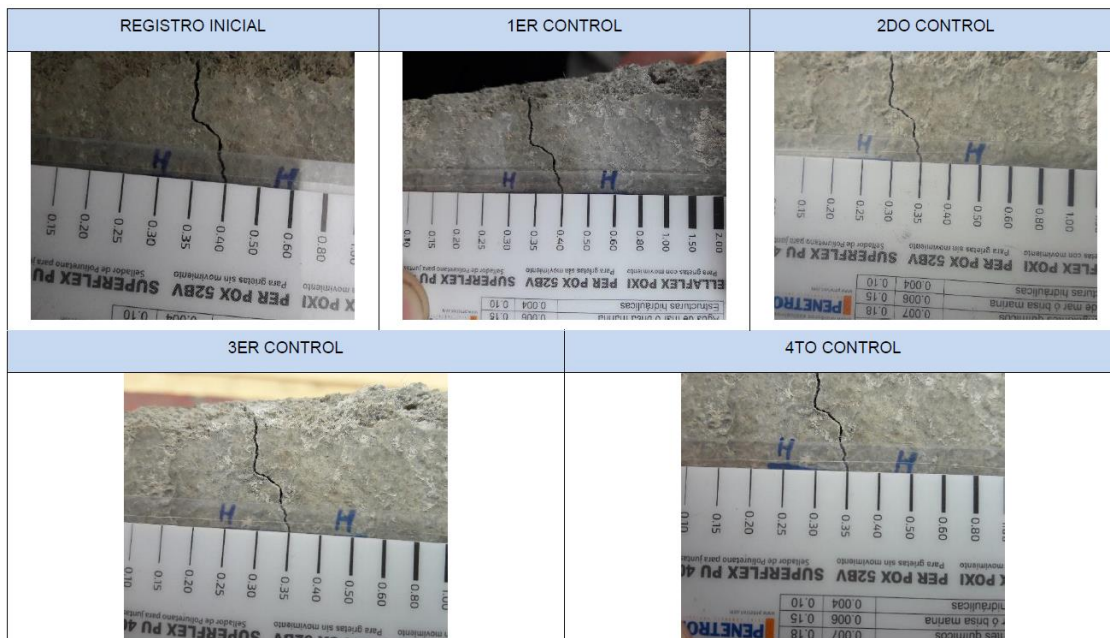


Figura 6: El proceso de autoreparación de la fisura de 0.4 mm en el concreto de referencia.
Fuente:[7]

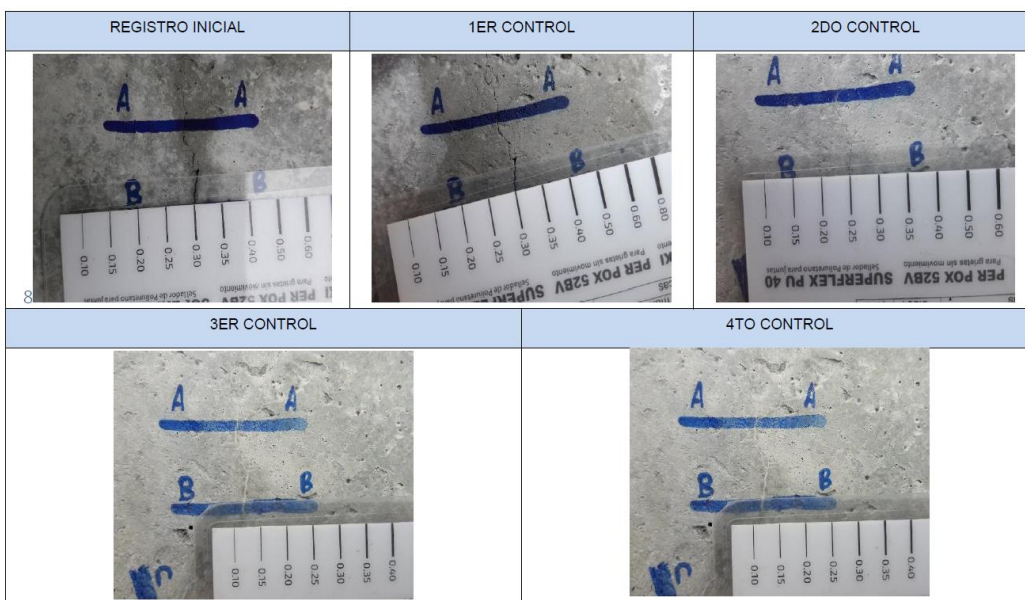


Figura 7: El mecanismo de autorreparación de la fisura de 0.3 mm en el concreto con una concentración de 1×10^9 cel/ml.

Fuente:[7]

Bases teóricas

Bio-concreto

Este material se ha diseñado para autosellar sus grietas surgidas. El holandés Hendrik Jonkers fue quien lo diseñó, esto lo realizó adicionando bacterias del género *Bacillus* y lactato de calcio los cuales se desenvuelven como agentes selladores de microgrietas, cabe mencionar que, la intervención humana es innecesaria para este concreto, ya que tiene la capacidad de auto repararse, teniendo en cuenta que previamente este concreto haya sido inducido con las respectivas bacterias.[8]

Bacterias del Género Bacillus

Esta especie llamada *Bacillus* es procedente de una familia que ha sido identificada como Bacillaceae, este grupo de bacterias está compuesto por aproximadamente 60 especies ejemplares, que están conformados por microorganismos bacilares en donde tienen la característica de ser de gran positivos, creadores de endosporas, estos pueden ser o bien anaerobios o aerobios facultativos, con respecto a su dimensión este oscila de desde 0,5 hasta 2,5 μm x 1,2 a 10 μm . Y estos por lo general se suelen localizar en suelos y plantas.[9]

Bacillus megaterium

Normalmente, el cemento y el agua tienen un valor de pH de hasta 1 cuando se mezclan. La mayoría de los organismos sucumben en un ambiente con 10 de pH o superior. *Bacillus megaterium* puede soportar un valor de pH superior a 12, vive con frecuencia en el agua, el suelo, el aire y los residuos de plantas en descomposición. También está presente en la interfase raíz-suelo y también crece sin oxígeno en presencia de nitrato.[3]

La bacteria *Bacillus megaterium* proporciona precipitación de calcita en el vacío de las muestras de concreto durante y después de los tiempos de curación, lo que ayuda a que la estructura sea más compacta y duradera.[4]

Capacidad del concreto auto reparable

Para que las fisuras se reparen, llegan a tardar entre dos a tres semanas, se sabe que las bacterias inducidas en el bio-concreto llegan a formar esporas por lo que estas bacterias logran perdurar increíblemente más de 200 años en la edificación; el bio-concreto no posee límite longitudinal en una grieta, es capaz de reparar desde milímetros hasta kilómetros, la única

restricción existente se vincula directamente al espesor de las fisuras, se debe tener en cuenta que estas fisuras no deben superar los 8mm.[10]

Comparativa del Concreto Tradicional y el Bio-Concreto

Propiedades Mecánicas.

La principal desigualdad que tiene el concreto tradicional es que su comportamiento es frágil, a diferencia del bio-concreto que se comporta de una manera más dúctil. Por otro lado, los ensayos que miden las deformaciones debido a tracción resultan ser 5 veces superiores con referencia al concreto convencional.[11]

Propiedades De Estado Fresco.

El bio-concreto posee un porte mejorado de absorción a diferencia del concreto tradicional, basándose en ensayos hechos por Capillary Water Suction, los cuales dan a conocer la reducción aumento o aumento de la absorción del agua según sea el caso.[11]

Durabilidad Del Concreto.

El bio-concreto es menos permeable, sin embargo, en estado endurecido sus propiedades muestran mejorías con referencia al concreto convencional esto se debe a que las grietas alcanzan son reducidas por a las bacterias sellando los orificios existentes.[11]

Normativa para ensayos

NTP 400.012:[12]

Se utiliza para evaluar la distribución de tamaños de partículas en los agregados. Las respuestas obtenidas se emplean para verificar si se cumplen los requisitos de tamaño de partículas establecidos en el control de producción. Además, también se utilizan los datos recopilados para establecer relaciones entre el esponjamiento y el embalaje de los agregados.

En el proceso a ensayar, se utiliza una muestra de agregado seco con una masa conocida. Para el agregado fino, se requiere un mínimo de 0.3 kg, mientras que para el agregado grueso se siguen las indicaciones de la tabla A1. La muestra se somete a una temperatura aproximada de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ y se distribuye apoyándose de una serie de tamices en orden descendente de abertura. Es esencial utilizar tamices adecuados y colocarlos en el orden correcto. Además, se debe tener cuidado de limitar la cantidad de material sobre cada tamiz utilizado.

Los equipos necesarios para realizar este procedimiento son: balanzas con una precisión aproximada de 0,5 g para el agregado grueso y 0,1 g para el agregado fino, tamices o mallas que cubran el rango adecuado (desde la malla 2" hasta la N°16 para el agregado grueso y desde 1/2" hasta N°100 para el agregado fino), un agitador mecánico de tamices (en caso de no estar disponible, se puede hacer manualmente) y un horno con dimensiones apropiadas capaz de mantener una temperatura uniforme de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5$

Tabla 1: A1. Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso o global.

Tamaño Máximo Nominal Aberturas Cuadradas mm (pulg)	Cantidad de la Muestra de Ensayo, Mínimo kg (lb)
9,5 (3/8)	1 (2)
12,5 (1/2)	2 (4)
19,0 (3/4)	5 (11)
25,0 (1)	10 (22)
37,5(1 1/2)	15 (33)
50 (2)	20 (44)
63 (2 1/2)	35 (77)
75 (3)	60 (130)
90 (3 1/2)	100 (220)
100 (4)	150 (330)
125 (5)	300 (660)

Fuente: [12]

NTP 339.185:[13]

Establece el desarrollo para obtener una muestra la cual representa al agregado fino o grueso con el objetivo de establecer en forma porcentual total de humedad evaporable a través del secado del material.

El proceso comienza secando completamente la muestra en un recipiente utilizando una fuente de calor apropiada. Es importante tener precaución para evitar la pérdida de partículas durante el proceso de secado. Se debe tener en cuenta que un secado demasiado rápido puede provocar la explosión de algunas partículas y resultar en una pérdida de estas.

Se recomienda utilizar un horno que permita controlar la temperatura de manera precisa, lo que garantizará mediciones más exactas. El contenido de humedad general evaporable se puede calcular utilizando el siguiente método o fórmula.

$$P = 100 (W-D) / D$$

Donde:

P = Contenido total de humedad evaporable de la muestra en porcentual

W = Masa de la muestra de la muestra húmeda original en gramos

D = Masa seca de la muestra en gramos

Es importante tener en consideración que, en los ensayos mencionados, el margen de error en cuanto a la humedad del agregado tiene una media de +0,06%. Además, es necesario contar con una muestra representativa que cumpla con una masa mínima establecida en la Tabla A2. Previo a determinar su masa, es fundamental proteger la muestra para impedir la pérdida de humedad.

Tabla 2: A2. Tamaño de la muestra de agregado.

Tamaño máximo nominal de agregado mm (pulg)	Masa mínima de la muestra de agregado de peso normal en kg
4,75 (0.187)(No. 4)	0,5
9,5 (3/8)	1,5
12,5 (1/2)	2,0
19,0 (3/4)	3,0
5,0 (1)	4,0
37,5 (1 1/2)	6,0
50,0 (2)	8,0
63,0 (2 1/2)	10,0
75,0 (3)	13,0
90,0 (3 1/2)	16,0
100,0 (4)	25,0
150,0 (6)	50,0

Fuente:[13]

NTP 400.017:[14]

Para llevar a cabo este ensayo, se requiere el uso de una balanza, una varilla para apisonar (se caracteriza por ser de acero lisa, redondeada, con un diámetro de aproximadamente 1.6 cm y una longitud de unos 60 cm), un recipiente cilíndrico de metal y una pala o cucharón de tamaño adecuado para llenar el recipiente con la muestra.

Para determinar la masa suelta, se vierte el material en el recipiente desde una altura no mayor a 5 cm por encima del borde y se procede a pesarlo teniendo en cuenta el peso del recipiente, que ya es conocido. En cuanto al peso compactado, se llena el recipiente en tres capas, apisonando cada capa de agregado con 25 golpes utilizando la varilla lisa. Finalmente, se nivela la superficie con los dedos o una espátula para equilibrar los vacíos.

La densidad de masa se calcula utilizando las fórmulas siguientes.

$M = (G - T) / V$
$M = (G - T) \times F$

Donde:

M = Densidad de masa del agregado, kg/m³

G = M, kg

T = Masa del recipiente, kg

V = Volumen del recipiente, m³

F = Factor para el recipiente, 1/m³

En cuanto a la exactitud, es importante señalar que las respuestas de dos ensayos realizados adecuadamente por el mismo ejecutor sobre un material parecido no deberían diferir en más de 40 kg/m³.

NTP 400.021:[15]

Establece un proceso para encontrar la densidad promedio de las partículas de agregado grueso (sin incluir los espacios vacíos entre las partículas), la densidad relativa y la absorción del agregado.

En este ensayo, se emplea una muestra de agregado que se sumerge en agua durante un período de 24 horas, con una tolerancia de +/- 4 horas, para lograr su completa saturación. Tras este tiempo, la muestra se retira del agua y se hace rodar sobre un paño que absorba, de gran tamaño, con el propósito de eliminar cualquier exceso de agua visible y lograr un secado superficial. A continuación, se calcula el volumen de la muestra utilizando el método de desplazamiento de agua. Por último, la muestra se somete a un tratamiento de secado en un horno y se determina su masa. A partir de los valores obtenidos y mediante el uso de fórmulas específicas, es posible calcular la densidad, la densidad relativa y la absorción del agregado.

$$\text{Densidad Relativa (gravedad específica) (OD)} = A / (B - C)$$

$$\text{Densidad Relativa aparente (gravedad específica aparente)} = A / (A - C)$$

$$\text{Absorción, \%} = [(B - A) / A] \times 100$$

En donde:

A = muestra de la masa secada al horno en aire, g

B = muestra de la masa de ensayo de superficie saturada seca en aire, g, y

C = masa aparente de la muestra de ensayo saturada en agua, g

Los equipos necesarios para llevar a cabo este ensayo son los siguientes: una balanza con una precisión del 0.05% de la carga y que esté equipada adecuadamente para suspender el recipiente de la muestra de agua, un depósito para la muestra en forma de una canasta de alambre con una abertura de 3.35 mm (N° 6) o una malla fina, con una capacidad de 4 a 7 litros. También se requiere un tanque de agua, tamices, en particular un tamiz con una abertura de 4.75 mm (N° 4), y una estufa capaz de conservar una temperatura semejante de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

El cuadro siguiente proporciona la mínima masa requerida para la muestra de ensayo. En el caso de que un agregado sea probado en diferentes tamaños, la masa mínima de la muestra de ensayo para cada fracción debe ser la resta entre los valores indicados para el tamaño mínimo y máximo de dicha fracción.

Tabla 3: Masa mínima requerida.

Tamaño máximo nominal mm (pulg.)	Masa mínima de muestra de ensayo kg (lb)
12,5 (½) o menor	2 (4,4)
19,0 (¾)	3(6,6)
25,0 (1)	4 (8,8)
37,5 (1 ½)	5(11)
50 (2)	8(18)
63 (2 ½)	12(26)
75 (3)	18(40)
90 (3 ½)	25(55)
100 (4)	40(88)
125 (5)	75(165)

Fuente:[15]

Cuando se realizan ensayos en múltiples fracciones, es necesario obtener la clasificación de la muestra siguiendo las directrices establecidas en la NTP 400.012. Dicha clasificación debe incluir los tamices utilizados para separar las fracciones según su tamaño, de acuerdo con los requisitos específicos de las determinaciones correspondientes en este método.

NTP 339.035:[16]

Este ensayo presenta el procedimiento para determinar el asentamiento del concreto de cemento Portland, ya sea en condiciones de laboratorio o en el campo.

Se utiliza un molde de metal duradero que pueda resistir la acción corrosiva de la pasta de cemento. Este molde se coloca sobre una superficie plana, rígida y no absorbente. A continuación, se añade una muestra de concreto fresco al molde utilizando un cucharón, distribuyéndolo en tres capas y compactándolo mediante el uso de una varilla con 25 golpes por capa. Después, con cuidado, se retira el molde del concreto levantándolo en posición vertical, evitando movimientos laterales o torsionales, y se realiza esta acción en un tiempo máximo de 2,5 minutos. Por último, se mide el asentamiento calculando la diferencia entre la altura del molde y la del centro desplazado de la parte superior deformada del cono.

Es importante destacar que el molde de metal utilizado debe tener un espesor mínimo de 1,5 mm y tener forma de cono truncado, con un diámetro inferior de 20 cm, un diámetro superior de 10 cm y una altura de 30 cm.

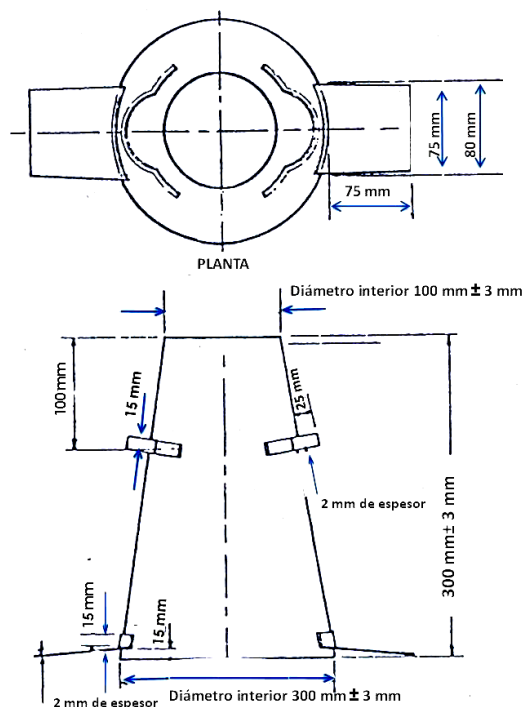


Figura 8: Molde para el ensayo de asentamiento.

Fuente:[16]

NTP 339.082:[17]

Esta norma describe el procedimiento para determinar el fraguado del concreto mediante la medición de la resistencia a la penetración de un mortero tamizado.

En el ensayo, se retira el agua superficial del mortero utilizando una pipeta antes de realizar la prueba de penetración. Luego, se inclina suavemente la muestra de concreto hasta formar un ángulo de aproximadamente 10° para facilitar la extracción del agua de exudación. Se inserta una aguja de tamaño adecuado en el dispositivo de resistencia a la penetración, según el grado de fraguado de la mezcla. Se aplica una fuerza vertical descendente gradual y uniforme hasta que la aguja penetre a una profundidad de $25 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$, alcanzando la marca en la aguja. Durante el ensayo, se registra el tiempo en el que se produce el contacto entre el cemento y el agua de mezclado.

Los equipos utilizados en este ensayo incluyen contenedores para muestras de mortero (rígidos, de sección rectangular o circular), agujas de penetración con diferentes áreas de contacto, un dispositivo de carga para medir la fuerza requerida durante la penetración de la aguja, una varilla compactadora de acero liso con punta semiesférica, una pipeta para extraer el agua superficial y un termómetro para medir la temperatura de la muestra, que debe estar en un rango de 20°C a 25°C .

En condiciones de campo, se preparan tres especímenes para los ensayos, mientras que en laboratorio, el número de especímenes dependerá del propósito del ensayo.

NTP 339.033:[18]

Establece los procesos para la preparación y curado de muestras de concreto fresco en forma cilíndrica y de viga, con el objetivo de obtener muestras representativas para un proyecto de construcción. En el caso de las vigas normales, se recomienda una sección transversal de 15 cm por 15 cm y se utiliza para concreto con agregado grueso de tamaño máximo nominal de hasta 50 mm.

El ensayo requiere el uso de una varilla compactadora de acero liso, cuyas dimensiones deben cumplir con lo indicado en la Tabla 1. Además, se utiliza un martillo con cabeza de goma, con $6 \text{ kg} \pm 2 \text{ kg}$ de masa. Entre las herramientas necesarias se encuentran una pala o cucharón de tamaño adecuado para colocar el concreto en un molde cilíndrico, así como una pala para llenar el molde de viga. También se emplean herramientas de acabado, como una llana de madera, una espátula o una plancha. Asimismo, se requiere un dispositivo para medir la temperatura.

Es fundamental seguir los procedimientos detallados en esta norma para asegurar la correcta preparación y curado de los especímenes de concreto, garantizando así la representatividad de las muestras para el proyecto de construcción.

Tabla 4: Requisitos de la barra compactadora.

Diámetro del cilindro o ancho de la viga, mm	diámetro de la varilla, mm
< 150	10 ± 2
=150	16 ± 2

Fuente:[18]

Los especímenes de concreto recién moldeados y concluidos deben ser almacenados durante un máximo de 48 horas a una temperatura de $16 \text{ }^\circ\text{C}$ a $27 \text{ }^\circ\text{C}$, en un ambiente que conserve la humedad. Para mezclas de alta resistencia, se recomienda una temperatura inicial de curado entre $20 \text{ }^\circ\text{C}$ y $26 \text{ }^\circ\text{C}$. Durante el curado final, que se realiza hasta 3 horas antes del ensayo de resistencia, no es necesaria una temperatura determinada, siempre y cuando se mantenga la humedad y la temperatura ambiente entre $20 \text{ }^\circ\text{C}$ y $30 \text{ }^\circ\text{C}$. Los especímenes deben ser protegidos antes de ser transportados al laboratorio y no deben ser movidos hasta al menos 8 horas después del fraguado.

NTP 339.034:[19]

Esta norma técnica se aplica a concretos con un peso unitario superior a 800 kg/m³. En este método, se utilizan moldes cilíndricos de concreto o se extraen núcleos de diamantina, los cuales se someten a una carga de compresión axial con una velocidad prescrita hasta la falla, utilizando una máquina de ensayo.

Es importante destacar que la máquina de ensayo debe ser limpiada y lubricada al menos cada seis meses, prestando atención a las superficies de soporte y la parte esférica. Para la lubricación, se recomienda utilizar un aceite de petróleo, como el aceite de motor convencional.

Para determinar la resistencia a compresión del modelo, se divide la carga máxima que se llegó durante el ensayo por el área transversal de la sección del espécimen.

Los cilindros de concreto deben protegerse contra la pérdida de humedad utilizando el método más adecuado, ya que se ensayarán en condiciones húmedas. Además, los cilindros deben ser fracturados según su edad dentro de un tiempo permitido, como se indica en la tabla a continuación.

Tabla 5: Edades de ensayo y tolerancias permisibles.

Edad de ensayo	Tolerancia permisible
24 h	± 0,5 h ó 2,1 %
3 d	± 2 h ó 2,8 %
7 d	± 6 h ó 3,6 %
28 d	± 20 h ó 3,0 %
90 d	± 48 h ó 2,2%

Fuente:[19]

Se coloca el bloque con la superficie endurecida hacia arriba y se procede a limpiar tanto la cara inferior como la superior que estarán en contacto. Si se utilizan almohadillas, estas también deben ser limpiadas y colocadas de manera centrada sobre el espécimen, asegurándose de alinear cuidadosamente los ejes con el centro de empuje.

NTP 339.078:[20]

Establece el procedimiento para determinar la resistencia a la flexión de vigas que están simplemente apoyadas. Estas vigas pueden ser moldeadas con concreto fresco o pueden ser vigas cortadas extraídas del concreto endurecido. El ensayo se realiza aplicando cargas en los tercios de la luz de la viga. La viga debe tener una luz libre entre los puntos de apoyo que sea tres veces su altura, con una tolerancia del 2%. Las caras laterales de la viga deben formar ángulos rectos con las caras superior e inferior. Todas las superficies de la viga deben ser lisas y sin imperfecciones como porosidad o marcas no apropiadas. El ensayo de flexión se realiza lo más pronto posible después de que la viga ha sido retirada de la cámara de curado. Si la falla ocurre en el tercio medio de la luz de la viga, se calcula el módulo de rotura utilizando la siguiente fórmula: [fórmula no proporcionada].

$$M_r = \frac{PL}{bh^2}$$

En donde:

M_r : es el módulo de rotura, en MPa.

P : Máxima carga de rotura indicada por la máquina de ensayo, medida en N.

L : luz libre entre apoyos de la viga, en mm.

b : Ancho promedio de la viga en la sección de falla, dado en mm.

h : Altura promedio de la viga en la sección de falla, en mm.

Si la falla ocurre en una posición fuera del tercio medio de la luz de la viga, pero no a una distancia mayor al 5% de la luz libre, el cálculo del módulo de rotura se realizará utilizando la siguiente fórmula: [fórmula no proporcionada].

$$M_r = \frac{PL}{bh^2}$$

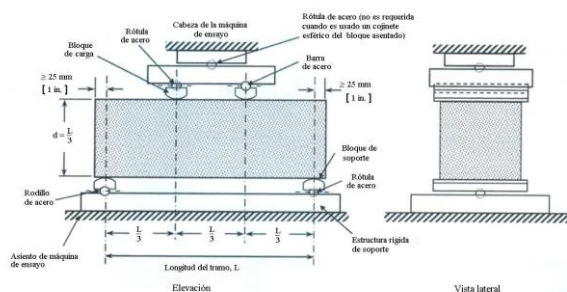


Figura 9: Diagrama de un dispositivo adecuado para ensayar a flexión vigas con cargas a los tercios. Fuente: [20]

ASTM C 469: [21]

Prueba permite determinar la relación entre el esfuerzo y la deformación, así como la relación de deformación lateral a longitudinal del concreto endurecido en una edad y condiciones de curado específicas.

Los valores del módulo de elasticidad y la relación de Poisson, aplicables en el rango de esfuerzos de trabajo (0 a 40% de la resistencia última del concreto), suelen resultar en un módulo de elasticidad inferior al obtenido mediante la aplicación de cargas rápidas. Para medir el módulo de elasticidad, se necesita un compresómetro sensible que esté conectado o no a la probeta. Este dispositivo permite medir con precisión (hasta 5 millonésimas) la deformación promedio entre dos marcas de referencia ubicadas en el centro de la altura del espécimen, diametralmente opuestas y paralelas al eje. La longitud efectiva de cada marca de referencia debe ser al menos tres veces el tamaño máximo del agregado en el concreto y no superior a 2/3 de la altura del espécimen.

Los cilindros para utilizar, en el ensayo tienen que ser moldeados de acuerdo con los requisitos establecidos para las probetas de compresión. Durante el ensayo, es fundamental mantener la temperatura ambiente y la humedad lo más constantes posible. Cualquier variación inusual en la temperatura o humedad debe registrarse en el informe.

Calcúlese el módulo de elasticidad, próximo a 50,000 psi (344.74 Mpa) como sigue:

$$E = (S_2 - S_1) / (\epsilon_2 - 0.000050)$$

Donde:

E = módulo de elasticidad secante, psi

S₂ = esfuerzo correspondiente al 40 % de la última carga

S₁ = esfuerzo correspondiente a la deformación longitudinal, ϵ_1 , de 50 millonésima, y

ϵ_2 = deformación longitudinal producida por el esfuerzo S₂

$$\mu = (\epsilon_2 - \epsilon_{t1}) / (\epsilon_2 - 0.000050)$$

donde:

μ = relación de Poisson

ϵ_{t2} = deformación transversal a media altura del espécimen, producida por el esfuerzo S₂, y

ϵ_{t1} = deformación transversal a media altura del espécimen, producida por el esfuerzo S₁.

UNE-EN 12390-8:[22]

Determinar la capacidad de penetración de agua a presión en concretos endurecidos que han sido curados en agua. Se realiza la aplicación de agua bajo presión en la superficie del concreto endurecido, dividiendo posteriormente la muestra en dos mitades para medir la profundidad de penetración del frente de agua.

Es crucial asegurar un sellado adecuado de la muestra utilizando caucho u otro material similar. Las dimensiones de la zona de ensayo deben ser aproximadamente la mitad de la longitud del lado o del diámetro de la superficie de la muestra.

El ensayo se inicia cuando las muestras han alcanzado 28 días de edad, mínimo. Es importante tener en cuenta que no se debe aplicar agua a presión en la cara de acabado de la muestra. La muestra se coloca en el aparato de ensayo y se aplica agua a una presión de (500 ± 50) kPa durante un período de tiempo de (72 ± 2) horas.

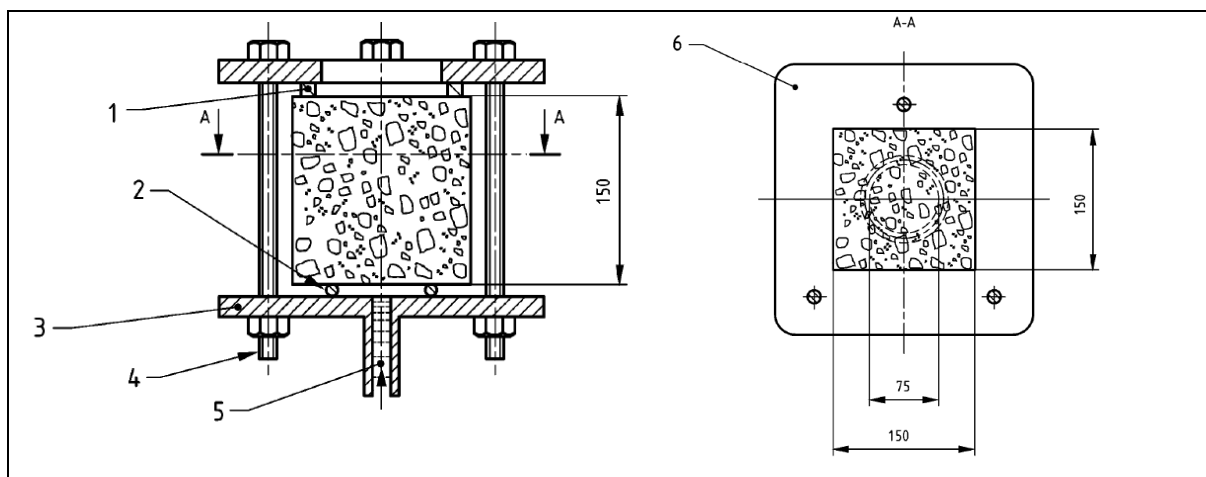


Figura 10: Ejemplo de dispositivo de ensayo. Fuente:[22]

Leyenda:

1.- Soporte

2.- Anillo de estanquidad

3.- Placa atornillada

4.- Soporte atornillado

5.- Presión de agua

6.- Placa atornillada

NTP 334.094:[23]

Contenedores: Los contenedores en los cuales se sumergen las barras serán resistentes a la corrosión como el plástico, vidrio o cerámica. Se incluirán dispositivos para soportar las barras de tal modo que ni el fondo ni los lados de la barra descansen contra el contenedor.

Sulfato de sodio (Na_2SO_4): El contenido en el agua será comprobado mediante el ensayo de pérdida por calcinación, cada vez que se prepara la solución. Se puede utilizar cualquier solución de sulfato de sodio hidratado o anhidro.

Solución sulfatada: Cada litro de solución contendrá 50,0 g de Na_2SO_4 , disueltos en 900 mL de agua y será diluida con adición de agua destilada o de-ionizada para obtener 1,0 L de solución. Mezclar la solución un día antes de utilizarla, cubrirla y almacenarla a $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$.

Para preparar los morteros, se debe utilizar una proporción de una parte de cemento por cada 2,75 partes de arena en términos de masa. La relación entre agua y cemento debe ser de 0,485 por peso generalmente para los cementos Portland sin aire incorporado, y de 0,46 para todos los cementos Portland con aire incorporado.

Colocar los moldes sellados en el tanque de curado con el fondo de las barras tal como fueron vaciadas hacia abajo, o sea en la misma posición relativa en la cual las barras fueron vaciadas.

Curado posterior y preparación para el ensayo: Después del desmolde, almacenar todas las barras y cubos, excepto los 2 cubos que van a ser ensayados en compresión, en el tanque de curado con agua saturada de cal a $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, después de desmoldar.

Ensayar los dos cubos de conformidad con la NTP 334.051, después del desmolde cuando los especímenes se han enfriado a la temperatura ambiente con paños húmedos.

Materiales y métodos

Tipo y nivel de investigación

Según el avance de la investigación, es del siguiente tipo: EXPERIMENTAL

Porque se manipulan las variables independientes y se obtiene información a través de diversas pruebas de laboratorio que ayudarán a probar o refutar la hipótesis.

Dependiendo del propósito previsto, es de tipo: APLICADA

Ya que, al implementar este proyecto, buscamos inclinar los conocimientos recopilados durante la profesión de la ingeniería civil.

Diseño de investigación

El diseño por realizarse será exclusivamente a posprueba y grupo de control, el manejo de las variables independientes se consideró en dos niveles: ausencia y presencia.

Una vez finalizada la manipulación se medirá la variable dependiente tanto para el grupo experimental, como para el grupo de control, en cuanto a las variables dependientes apreciadas en este estudio son las siguientes: asentamiento del concreto, tiempo de fraguado, resistencia a la flexión, resistencia a compresión, fisuración, exposición de sulfatos y permeabilidad.

El diseño del diagrama de esta investigación es el siguiente:

$$R G 1 \rightarrow X 1 \rightarrow O 1$$

$$R G 2 \rightarrow X 2 \rightarrow O 2$$

$$R G 3 \rightarrow X 3 \rightarrow O 3$$

Donde:

R: Denominación al azar de los objetos que se estudiarán en este caso son las probetas de concreto, tanto para el grupo experimental como para el de control.

G1, G2, G3: Son los grupos experimentales.

X: Presencia de cierto nivel correspondiente a la variable independiente (*Bacillus megaterium*) en lo que refiere al grupo experimental.

X1: Concentración celular de 1×10^5 cel/ml.

X2: Concentración celular de 1×10^6 cel/ml

Nivel cero en lo que respecta a los indicadores de variable independiente (*Bacillus megaterium*) referido al grupo de control.

O1 y O2: Grupos experimentales (v. dependiente)

O3: Grupo de control (v. dependiente)

Tabla 6: Elementos para el diseño de la investigación

Tipo		Presencia de variable independiente		Posprueba	
Grupo experimental	G1	X1	concentración celular de 1×10^5 cel/ml	O1	Medición de las propiedades del concreto tanto en el estado fresco como en el endurecido
	G2	X2	concentración celular de 1×10^6 cel/ml	O2	
Grupo de control	G3	-	ninguna	O3	

Fuente: Elaboración Propia

La designación por grupo es la siguiente:

Tabla 7: Designación de cada grupo

Tipo de grupo	Designación
G. Experimental G1	C 1×10^5
G. Experimental G2	C 1×10^6
G. Control G3	Concreto patrón

Fuente: Elaboración Propia

Población, muestra, muestreo

Población

La población en esta investigación incluirá volúmenes de concreto elaborado a partir de agregados naturales, cemento, agua y Bacterias *Bacillus megaterium*.

Muestra

La población esta investigación incluirá volúmenes de concreto elaborado a partir de agregados naturales, cemento, agua y Bacterias *Bacillus megaterium*, coincidiendo de esta manera con la población

Muestreo

Para el muestreo se escogieron los métodos no aleatorios, ya que la muestra coincide con la población, además, las características de ambas se asemejan. Ante este escenario, el investigador establece representar de una manera subjetiva[24]. El tipo de muestreo para esta investigación viene a ser no probabilístico intencional por criterio o juicio.

Ensayo de asentamiento o SLUMP:
Tabla 8: Muestreo del ensayo de asentamiento

Tipo	Ensayo de consistencia o Slump	
	Probetas	Total
Mezcla convencional	1	1
Mezcla con una concentración celular de 1×10^5 cel/ml	1	1
Mezcla con una concentración celular de 1×10^6 cel/ml	1	1
Total	3	3

Fuente: Elaboración Propia

Ensayo de Tiempo de fraguado
 Tabla 9: Muestreo del ensayo de tiempo de fraguado.

Tipo	Ensayo de tiempo de fraguado	
	Probetas	Total
Mezcla convencional	1	1
Mezcla con una concentración celular de 1×10^5 cel/ml	1	1
Mezcla con una concentración celular de 1×10^6 cel/ml	1	1
Total	3	3

Fuente: Elaboración Propia

Ensayo de resistencia a la flexión del concreto:
 Tabla 10: Muestreo del ensayo de resistencia a la flexión

Tipo	Tiempos para rotura de las probetas	
	28 días	Total
Mezcla convencional	3	3
Mezcla con una concentración celular de 1×10^5 cel/ml	3	3
Mezcla con una concentración celular de 1×10^6 cel/ml	3	3
Total	9	9

Fuente: Elaboración Propia

Ensayo de resistencia a la Compresión del concreto:

Tabla 11: Muestreo del ensayo a compresión

Tipo	Tiempos para rotura de las probetas				
	7 días	14 días	28 días	56 días	Total
Mezcla convencional	2	2	2	2	8
Mezcla con una concentración celular de 1×10^5 cel/ml	2	2	2	2	8
Mezcla con una concentración celular de 1×10^6 cel/ml	2	2	2	2	8
Total	6	6	6	6	24

Fuente: Elaboración Propia

Ensayo de módulo de elasticidad el concreto

Tabla 12: Muestreo de ensayo de módulo de elasticidad el concreto.

Tipo	Módulo de Elasticidad	
	28 días	Total
Mezcla convencional	3	3
Mezcla con una concentración celular de 1×10^5 cel/ml	3	3
Mezcla con una concentración celular de 1×10^6 cel/ml	3	3
Total	9	9

Fuente: Elaboración Propia

Ensayo de permeabilidad del concreto: El concreto trae consigo porosidad, debido a esto surge la necesidad inspeccionar el grado de permeabilidad debido ya que, viene a ser una amenaza para la resistencia del concreto y también amenaza la vida útil de la estructura, debido a la alta probabilidad de daños por fluidos. El grado de permeabilidad puede aumentar o disminuir según los factores como, por ejemplo, el grado de hidratación del cemento, el tiempo y la calidad del curado; ya que la bacteria *Bacillus megaterium* actúa directo de una manera directa existirán efectos sobre estos factores, ya que por sus propiedades el bio-concreto tiene una porosidad menor que el concreto ordinario, es por eso necesario realizar dicho ensayo.

Tabla 13: Muestreo del ensayo de permeabilidad

Tipo	Ensayo de Permeabilidad	
	28 días	Total
Mezcla convencional	3	3
Mezcla con una concentración celular de 1×10^5 cel/ml	3	3
Mezcla con una concentración celular de 1×10^6 cel/ml	3	3
Total	9	9

Fuente: Elaboración Propia

Ensayo de exposición de sulfatos:

Tabla 14: Muestreo de exposición de sulfatos.

Tipo	Ensayo de exposición a sulfatos:	
	28 días	Total
Mezcla convencional	3	3
Mezcla con una concentración celular de 1×10^5 cel/ml	3	3
Mezcla con una concentración celular de 1×10^6 cel/ml	3	3
Total	9	9

Fuente: Elaboración Propia

Ensayo de fisuración a propósito:

Tabla 15: Muestreo de exposición de sulfatos.

Tipo	Ensayo de fisuración a propósito:	
	28 días	Total
Mezcla convencional	1	1
Mezcla con una concentración celular de 1×10^5 cel/ml	1	1
Mezcla con una concentración celular de 1×10^6 cel/ml	1	1
Total	3	3

Fuente: Elaboración Propia

Operacionalización de variables

Tabla 16: Operacionalización de las variables

VARIABLES	DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	ÍNDICE
INDEPENDIENTE	<i>Bacillus megaterium</i>	Inóculo Microbiano	Cepa ATCC 9885	Laboratorio de Microbiología	Cel/ml
DEPENDIENTE	Dis. de mezclas	Cantidad de materiales	Cemento Tipo I	Balanza	Kg
			Agregado fino	Balanza	Kg/m ³
			Agregado grueso	Balanza	Kg/m ³
			Agua	Probeta	ml
	Comportamiento del concreto	Ensayos al concreto: estado fresco	Asentamiento (Slump)	Según NTP 339.035.	pulgadas
			Tiempo de fraguado	Según NTP 339.082	hr.
		Ensayos al concreto: estado endurecido	Resistencia a la flexión	Según NTP 339.078.	Kgf/cm ²
			Fisuración a propósito	Medidor de fisuras	mm
			Resistencia a la compresión	Según NTP 339.034.	Kgf/cm ²
			Permeabilidad	Según UNE-EN 12390-8	mm
	Exposición de sulfatos	Según NTP 334.094	mm		
Módulo de Elasticidad	Franja Elástica del comportamiento del concreto bacteriano	Resistencia a la compresión del Concreto	Norma ASTM C-469	MPa	
Precio de producción del concreto	Precio por m ³	Análisis de precios unitarios	Formatos en hojas de cálculo Excel	Soles	
Interviniente	Materiales	Características	Granulometría de los agregados	NTP 400.012	%
			Peso unitario de los agregados (suelto y compacto)	NTP 400.017	Kg/m ³
			Contenido de humedad de los agregados	NTP 339.185	%
			Peso específico y capacidad de absorción de los agregados	NTP 400.021 y NTP 400.022	%
			Módulo de fineza del agregado fino	NTP 400.018	
			Tipo de cemento	NTP 334.082 y NTP 334.090	Tipo

Fuente: Elaboración Propia

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Los métodos, técnicas e instrumentos que se aplicaran en el trabajo de investigación son los siguientes:

Tabla 17: Métodos, técnicas e instrumentos

Métodos	Técnicas	Instrumentos
Experimental	Ensayos para agregados: Análisis granulométrico de los agregados - NTP 400.012	
	Peso unitario de los agregados suelto y compacto - NTP 400.017	
	Contenido de humedad de los agregados - NTP 339.185	
	Peso específico y capacidad de absorción de los agregados - NTP 400.021 y NTP 400.022	
	Módulo de fineza del agregado fino - NTP 400.018	
	Diseño de mezclas usando el método del comité 211 del ACI	
	Ensayos para concreto: Asentamiento (SLUMP) - NTP 339.035	Formatos de laboratorio, tamices normalizados, balanzas, hornos, moldes prismáticos y cilíndricos, cono de Abrams, termómetro, varilla lisa compactadora, olla Washington, penetrómetro, máquina de compresión, máquina para ensayo de permeabilidad, tarjeta para medir ancho de fisuras, etc.
	Tiempo de fraguado - NTP 339.082	
	Ensayo de resistencia a la compresión - NTP 339.034	
	Módulo de Elasticidad según norma ASTM C-469	
	Ensayo de resistencia a la flexión - NTP 339.078	
	Fisuración a propósito – Empírico	
	Ensayos para determinar la permeabilidad del concreto del concreto - UNE-EN 12390-8	
Ensayo de Exposición de sulfatos de la norma NTP 334.094		

Fuente: Elaboración propia.

Métodos

Caracterización de materiales

En lo que respecta a la extracción de agregados se consiguió de las canteras cercanas a Chiclayo, el agregado grueso se adquirió de la cantera Tres Tomas – Ferreñafe.

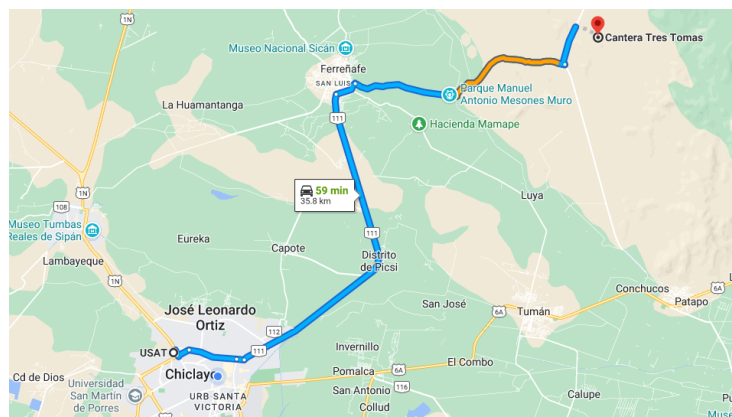


Figura 11: Trayecto desde Chiclayo hasta cantera elegida. Fuente: Google Maps

Mientras que el agregado fino se extrajo de la cantera La Victoria – Pátapo.

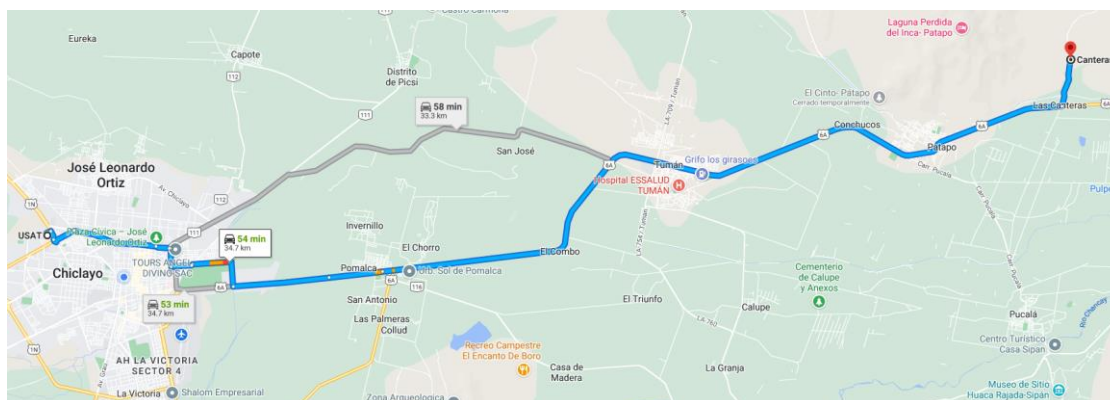


Figura 12: Trayecto desde Chiclayo hasta cantera elegida. Fuente: Google Maps

Cemento Pórtland Tipo I. cuyos sacos contienen 42.5 kg y se caracterizan por tener inicial menores tiempos de fraguado y alta resistencia.



Figura 13: Empaque de cemento a usar.

Fuente: Pag. Web Cementos Pacasmayo.

La cal viva, conocida también como óxido de calcio, se convierte en cal apagada, o hidróxido de calcio, al ser añadida al agua. Es importante destacar que la presencia del calcio es fundamental para la nutrición bacteriana, y además, posee la capacidad de acelerar el proceso de hidratación del cemento.



Figura 14: Cal viva

Fuente: Propia

Urea, la cual junto al hidróxido de calcio se agregaron como nutrientes ayudarán a la precipitación de carbonato de calcio inducida por las bacterias siendo una vía denominada hidrólisis de urea, esto se realizará en el proceso de curado de las muestras de bioconcreto.

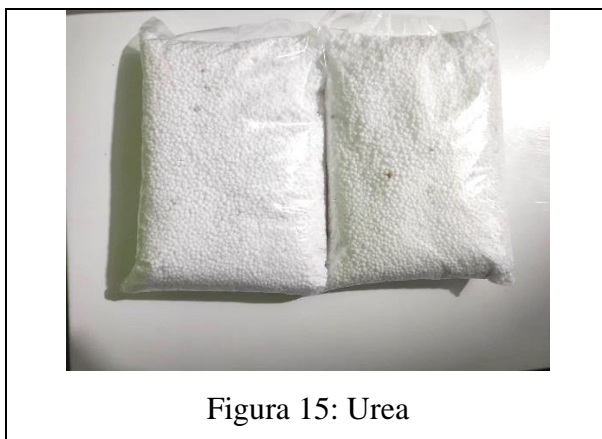


Figura 15: Urea

Fuente: Propia

La hidrólisis de la urea se refiere a un complejo enzimático o conjunto de enzimas presentes en el citoplasma. Estas enzimas metabolizan la urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$), que contiene carbono, oxígeno y nitrógeno, así como el cloruro de calcio, que contiene calcio, carbono y oxígeno. A través de este proceso, las enzimas completan la mezcla de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno (CHON), lo cual proporciona a las células una fuente de nutrientes para su crecimiento, reproducción y, en consecuencia, aumento en número.

Los bioelementos primarios CHON y los bioelementos secundarios calcio y fósforo aseguran la nutrición bacteriana.

Ensayos de los agregados

A) Análisis granulométrico de los agregados.

Se siguió la norma técnica N.T.P. 400.012 [12], Se empleó una muestra extraída de la cantera Tres Tomas - Ferreñafe, con un peso de 13,926 gramos. Este valor excedió el límite mínimo establecido por la normativa técnica correspondiente a este ensayo para muestras con un tamaño máximo nominal (TMN) de $\frac{3}{4}$ de pulgada.

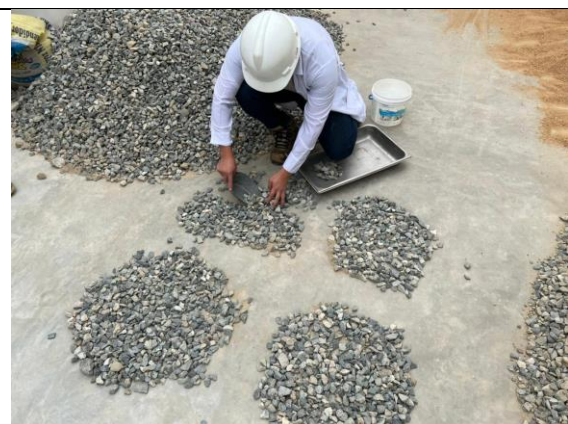


Figura 16:: Cuarteo del material.



Figura 17: Tesista con agregado grueso y tamices.

Fuente: Propia

Se empleó una muestra de 0.5 kg para realizar el ensayo granulométrico del agregado fino, lo cual superó lo señalado por la norma correspondiente a este ensayo. Es relevante destacar que la arena fue previamente secada, siguiendo un proceso de secado a una temperatura de 110 ± 0.5 °C hasta que se alcanzó un peso constante.



Figura 18: Tesista con la muestra y tamices para el ensayo.



Figura 19: Agitación de tamices para la distribución de los agregados.

Fuente: Propia

B) Ensayo de contenido de humedad.

Utilizando la norma N.T.P. 339.185[13]. La cantidad de agregado fino utilizado fue de 500 gramos, cumpliendo así con el requisito mínimo establecido por la norma de 300 gramos. Por otro lado, se utilizó una cantidad de 990.2 gramos de agregado grueso. Es importante destacar que se realizó un proceso previo de cuarteo para obtener esta muestra, como se muestra en la figura 16.



Figura 20: Tesista colocando muestra de agregado fino al horno.



Figura 21: Tesista colocando muestra de agregado grueso al horno.

Fuente: Propia

C) Peso unitario suelto y compactado.

Se siguió la guía proporcionada por la NTP 400.017[14] para llevar a cabo el procedimiento de este ensayo. Se utilizó un molde en el cual se llenaron 3 capas para el agregado grueso y 2 capas para el agregado fino. Cada capa se compactó mediante 25 golpes, luego se niveló y se determinaron los pesos correspondientes a los agregados compactados. Por otro lado, para el peso suelto, simplemente se llenó el molde teniendo en cuenta que la altura de descarga no excediera los 5 cm por arriba del margen superior del mismo.



Figura 22: Apisanado por capa para peso unitario compactado.



Figura 23: Llenado de molde con muestra de agregado fino.

Fuente: Propia



Figura 24: Llenado de molde con agregado grueso.



Figura 25: Enrazamiento al final de llenado de muestra.

Fuente: Propia

D) Peso específico y absorción.

Se realizó con referencia a la NTP 400.021 [15], dónde se descartó el material que paso, luego para eliminar posibles impurezas se lavó, se procedió a saturar en un depósito lleno de agua por 24h, pasado este tiempo superficialmente se secó la muestra y en se sumergió en agua con una canastilla metálica para eliminar aire de la muestra, para luego esta ser pesada.



Figura 26: saturación de muestra, sumergida totalmente en agua.



Figura 27: Secado superficialmente del agregado grueso.

Fuente: Propia

Se siguieron las pautas establecidas en la NTP 400.021[15]para llevar a cabo el ensayo del agregado fino. Se el agregado durante 24 horas saturó y luego se dejó secar hasta alcanzar un estado de superficie seca. A partir de esta muestra, se tomó una cantidad específica y se colocó en un matraz, el cual se llenó de agua hasta obtener un volumen de 500 cm³. Posteriormente, se agitó para eliminar el aire atrapado dentro del recipiente. Luego, la muestra contenida en el matraz se transfirió a otra vasija para ser introducida en el horno. Después de transcurrido un tiempo de 1 hora \pm 30 min, se retiró la muestra del horno para ser pesada.



Figura 28: Tesista agitando matraz para eliminar contenido de aire dentro del recipiente.



Figura 29: Matraz con agua y muestra de agregado fino.

Fuente: Propia

Procedimiento para reactivación e inoculación de bacteria *Bacillus megaterium*.

Se inicio con la esterilización(desinfección) de placas Petri, tubos de ensayo y frascos de vidrio.



Figura 30: Material de vidrio que será colocado al horno a 150°C por 24 h.



Figura 31: Tesista colocando material de vidrio a estufa a 60°C.

Fuente: Propia

Luego se procedió a desinfectar con alcohol la zona de trabajo para la reactivación de la cepa ATCC (American Type Culture Collection),



Figura 32: Tesista abriendo el paquete de ATCC.

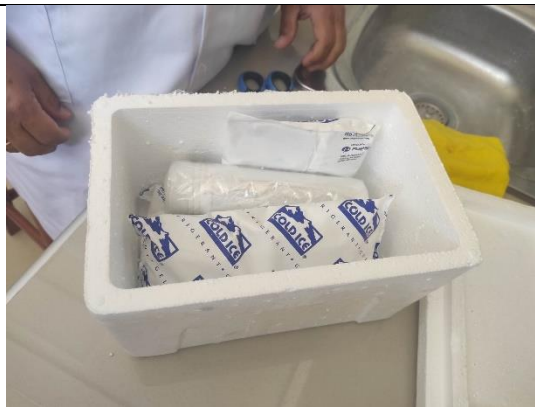


Figura 33: Cepa bacteriana junto a gel refrigerante conservando temperaturas de 4°C - 8°C.

Fuente: Propia

Para reactivar la bacteria se necesita un medio de cultivo, en este caso TSA Agar (agar tripticasa soya) de 100 ml que es de uso general el cual favorece el crecimiento de microorganismos, debido a que este medio se encuentra en un estado gelatinoso, se dejó reposar 45 segundos a 60°C en el microondas antes de utilizarlo, esto con la finalidad que pase a un estado más fluido para ser colocado adecuadamente en las placas petri.



Figura 34: Agar TSA 100 ml.



Figura 35: Tesista colocando Agar TSA en microondas.

Fuente: Propia

Una vez que el Agar TSA llegó a ser más fluido se colocó en las placas petri de manera uniforme, ya que luego de dejarlas en el ambiente, después de cierto tiempo este regresa a su estado original tipo gelatinoso. Se debe tener en cuenta que para realizar este proceso se debe contar con un ambiente desinfectado en este caso, se utilizó mecheros de alcohol el cual garantiza medio metro a la redonda para trabajar sin dificultad, cabe mencionar que en este tiempo se recomienda no hablar para evitar contaminaciones.



Figura 36: Colocación de Agar TSA en placas petri

Fuente: Propia

Después 15 minutos a temperatura ambiente aproximadamente, el Agar TSA contenido en las placas petri regreso a su estado original, de esta manera quedando apto para la siembra de la cepa bacteriana.

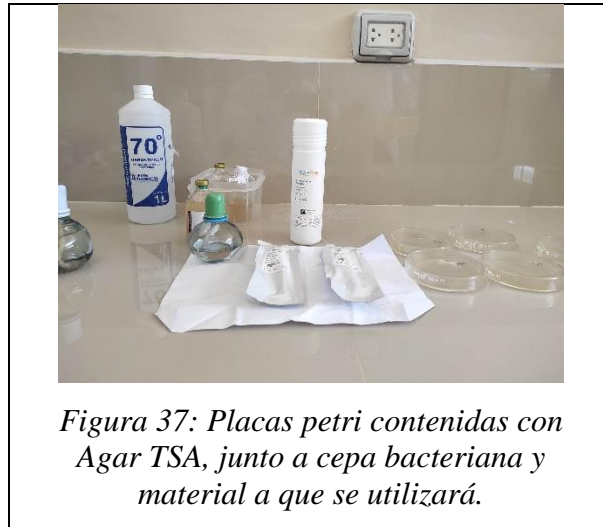


Figura 37: Placas petri contenidas con Agar TSA, junto a cepa bacteriana y material a que se utilizará.

Fuente: Propia

La cepa contiene microorganismo liofilizado (pellet) de disolución instantánea, estos pellet que se asemejan a una ampolla, estan conformados de una parte liquida(donde se encuentra la concentración liofilizado) y la otra con un 1 hisopo inoculador(para realizar la siembra), al pellet se procedio a preesionar en la parte liquida con la yema de los dedos, así, brotando el liquido y humedciendo a la parte hisopada.



Figura 38: Se observa la presión en la parte liofilizada.



Figura 39: Hisopó ya humedecido, listo para la siembra.

Fuente: Propia

Ya humedecido el hisopo, se empezó a sembrar en el Agar TSA, frotando suavemente y para ayudar a distribuir la siembra fue necesario utilizar asa bacteriana tipo anillo, de cobre esterilizada, cabe mencionar que estas asas se calentaron previamente con la ayuda del mechero de alcohol hasta tomar un aspecto rojizo; luego se volvió a humedecer el hisopo en la ampolla, y se repitió este proceso en todas las placas petri servidas en Agar TSA.



Figura 40: Tesista sembrando cepa bacteriana en el cultivo.



Figura 41: Asa bacteriana de anillo esterilizado.

Fuente: Propia

Una vez realizada la siembra, las placas petri cuidadosamente se envolvieron con papel y se colocaron en estufa/incubadora por 48 horas a 37°C para el crecimiento de bacterias.



Figura 42: Tesista colocando placas sembradas en estufa/incubadora.

Fuente: Propia

Pasado el tiempo requerido, se retiraron las muestras de la estufa, y se observó que la siembra y reactivación de la cepa de *Bacillus megaterium* no tuvieron problema alguno, ya que hubo presencia de colonias bacterianas y, además no hubo contaminación ya que el cultivo no tornó de un color distinto a lo esperado.



Figura 43: Tesista observando las colonias bacterianas en las muestras.



Figura 44: Observación de colonias de Bacillus megaterium en equipo contador de colonias.

Fuente: Propia

Después de obtenidas las colonias bacterianas, se preparan los inóculos que serán introducidos en las mezclas con concentraciones de 1×10^5 cel/ml y 1×10^6 cel/ml. El proceso consistió en rosar el asa con aguja Sterilin suavemente por las colonias bacterianas que se encontraban en los medios de cultivo dentro de las placas petri e introducirlas dentro de los tubos de ensayos que contienen caldo de Tripticasa Soya, este proceso se repitió 10 veces en el caso de 1×10^5 cel/ml, ya que se asumió que en cada colonia bacteriana están presentes tienen concentraciones de 10 000 bacterias (1×10^4 cel/ml). $\rightarrow 10\ 000 \times 10 = 100\ 000$



Figura 45: Tesista, colocando caldo nutritivo de Tripticasa Soya, en tubo de ensayo



Figura 46: Inserción de Asa con aguja Sterilin dentro de tubo de ensayo.

Fuente: Propia

Finalmente se dejaron los inóculos requeridos en la estufa incubadora/estufa a 36.5° por un tiempo de 24 horas, cabe recalcar que *Bacillus megaterium* es una bacteria mesófila, lo que significa que crece y se desarrolla mejor en temperaturas moderadas, generalmente en el rango de 20-40 grados Celsius.



Figura 47: Inóculos colocados en estufa.



Figura 48: Estufa a $36,5^{\circ}\text{C}$.

Fuente: Propia

Cabe mencionar que, por cada probeta cilíndrica, se colocó 10 ml del líquido inoculado y se sustituyó por 10ml de agua. Por ende, en un metro cúbico de concreto se colocará 1.87 Lt de inóculo y se sustituirá al agua por la misma cantidad. Teniendo en cuenta que las dosificaciones de concreto pueden variar según la calidad de sus componentes (agua, cemento, agregado fino y agregado grueso), en este caso la cantidad de líquido inoculado no variará al sustituir el agua debido a que, el enfoque se centra en la concentración de células por mililitro verificando que sea la indicada.

Observación de bacteria

La técnica de tinción de Gram, se utiliza el cristal violeta como colorante para teñir todas las células bacterianas, el lugol como agente de retención, el alcohol acetona como decolorante y la safarina como contraste. *Bacillus megaterium*, al ser Gram positiva, retiene el colorante y se observa de color violeta oscuro. Además, esta bacteria tiene la capacidad de formar esporas, que le permiten sobrevivir en condiciones adversas como escasez de nutrientes o altas temperaturas, contribuyendo a su morfología alargada.



Figura 49: Colocación de colonias bacterianas en láminas porta objeto.



Figura 50: Componentes utilizados para tinción de Gram.



Figura 51: Tesista observando bacterias en microscopio.

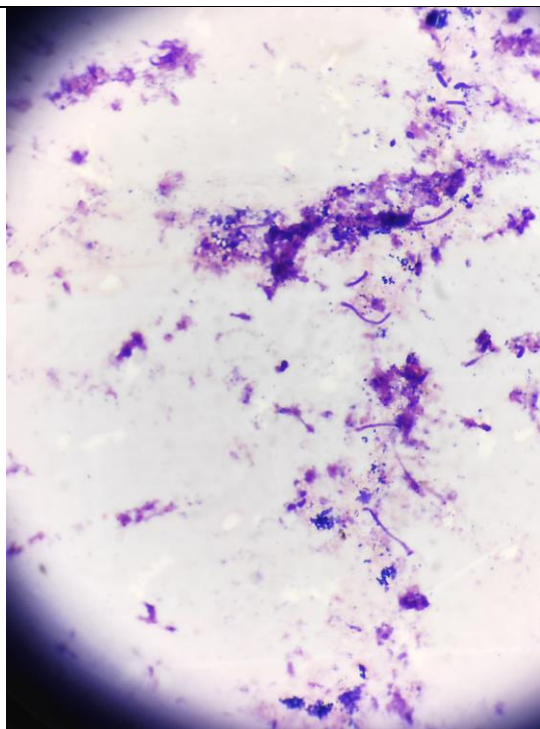


Figura 52: Colocación de colonias bacterianas en láminas porta objeto.

Fuente: Propia

Ensayos al concreto en estado fresco

A) Ensayo de Asentamiento.

El ensayo se realizó de acuerdo con la NTP 339.0.35.[16] Donde nos permite conocer el grado de trabajabilidad de la mezcla y la cohesión de forma indirecta, cabe mencionar que el llenado se hace en 3 capas y con 25 golpes desde los bordes hacia el centro, por cada capa; cuya varilla compactadora es de 5/8" de diámetro y 60 cm de longitud con punta esférica.



Figura 53: Tesista midiendo slump.



Figura 54: Slump de concreto patrón 4"

Fuente: Propia

B) Control de temperatura.

Se siguió el procedimiento establecido en la NTP 339.184 para llevar a cabo este ensayo. La temperatura se registró dentro de los primeros 5 minutos después de haber preparado la mezcla. Es importante destacar que el termómetro se sumergió 3 pulgadas en la mezcla y se dejó dentro durante 2 minutos para obtener una medición más estable.

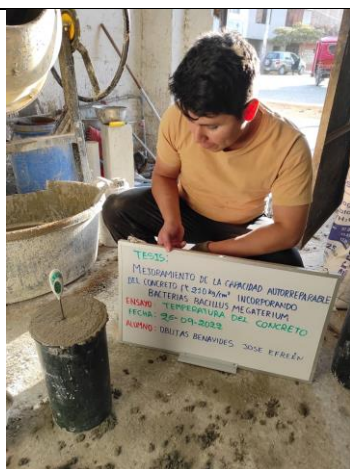


Figura 55: Tesista tomando el control de temperatura.



Figura 56: Control de temperatura de concreto patrón.

Fuente: Propia

Ensayos al concreto en estado endurecido

A) Resistencia a la compresión.

Para llevar a cabo el ensayo de compresión, se siguieron las directrices establecidas en la NTP 339.034 y la NTP 339.033. Los especímenes de concreto patrón fueron curados en agua convencional, mientras que para el curado del bioconcreto se añadieron 50 g/l de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + 20 g/l de urea al agua, con el objetivo de mejorar la precipitación de las bacterias.



Figura 57: especímenes vaciados



Figura 58: Curado a bioconcreto con hidróxido de calcio y urea

Fuente: Propia

Las roturas de dichos especímenes se realizarán de acuerdo con lo mencionado anteriormente cuyas edades son 7, 14, 28, 56 y 87 días. Es necesario mencionar que se tuvo cuidado que no perdiera humedad al trasladar probetas hasta laboratorio.



Figura 59: Tesista con probeta ensayada.



Figura 60: Espécimen de concreto bacteriano, ensayado a compresión.

Fuente: Propia

B) Ensayo de flexión.

Este procedimiento se hizo tomando referencia a la NTP 339.078[20]. Los especímenes que se utilizaron para este ensayo se hicieron en dos capas, las cuales fueron compactadas cada 14 cm². Al igual que para las muestras de compresión se curaron las vigas patron con agua normal y las vigas con bacterias se curaron con 50 g/l de Ca (OH)₂ + 20 g/l de urea.



Figura 61: Tesista colocando inoculo en el agua para la mezcla.



Figura 62: Tesista con especímenes ya vaciados.



Figura 63: Tesista marcando viga para ser ensayada a flexión.



Figura 64: Tesista junto a viga por ensayar.

Fuente: Propia

C) Ensayo de permeabilidad.

Se siguieron las pautas establecidas en la norma UNE 12390-8 para llevar a cabo la evaluación de la permeabilidad del concreto, específicamente en lo que se refiere a la medición de la profundidad de penetración del agua bajo presión.

Se pulieron las caras del fondo para obtener una superficie adecuada. Luego, se preparó el equipo y se aplicó una presión de 500kPa durante 72 horas a las muestras colocadas en la máquina con anillos de goma para evitar filtraciones. Posteriormente, se realizó un ensayo brasileño para partir las muestras en dos partes y se midió la profundidad máxima de la fractura, promediando los resultados obtenidos.



Figura 65: Tesista llevando a cabo la tarea de pulir las superficies inferiores de las muestras.



Figura 66: Anillos de goma para evitar filtraciones.



Figura 67: Tesista aplicando presión de 500kPa.



Figura 68: Tesista con probetas ya fracturadas.

Fuente: Propia

D) Ensayo de tiempo de fraguado.

Se siguió el procedimiento prescrito en la NTP 339.082 para llevar a cabo el ensayo de fraguado. Se preparó el concreto y se separó el mortero mediante el tamizado con malla N°4, obteniendo una muestra con una altura mínima de 10 cm para el ensayo.



Figura 69: Tesista pasando concreto por tamiz N°4.



Figura 70: Material por tamiz N°4.

Fuente: Propia



Figura 71: Las agujas utilizadas en el ensayo.



Figura 72: Muestra ensayada.

Fuente: Propia

E) Ensayo de Exposición de sulfatos.

El ensayo de cambio de longitud en morteros de cemento Portland expuestos a soluciones sulfatadas implica preparar muestras de mortero y exponerlas a soluciones sulfatadas. Se mide la longitud inicial de las muestras antes de la exposición y la longitud final al finalizar el periodo de exposición. Calculando la diferencia entre ambas longitudes, se obtiene el cambio de longitud.



Figura 73: Tesista colocando inóculo bacteriano a muestras de mortero.



Figura 74: Tesista preparando muestras de mortero de cemento Portland.



Figura 75: Muestras vaciados, para ser ensayadas posteriormente.



Figura 76: Tesista con muestras de bioconcreto 1×10^5 cel/ml en curación.

Fuente: Propia

F) Fisuración sin llegar a la fractura.

Este proceso se realizó como si se tratase del ensayo de flexión, pero sin llegar a la fractura, cuyas muestras tenían la edad de 14 días, con la finalidad de crear una fisura para luego observar el proceso de autosellado del bioconcreto, tomando controles semanales.



Figura 77: Tesista señalando la fisura obtenida en la muestra prismática.



Figura 78: Tesista marcando viga fisurada para controles respectivos.

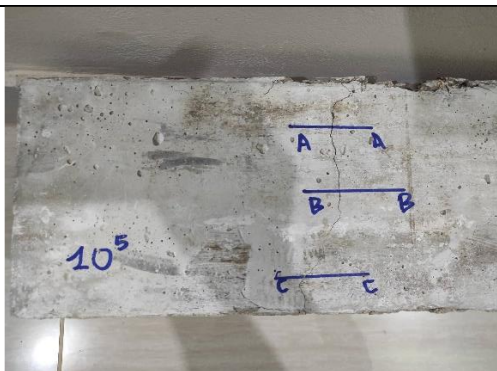


Figura 79: Se observa la viga fisurada y marcada.

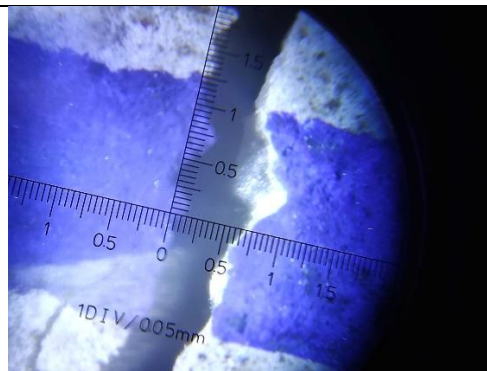


Figura 80: Fisura de control A-A de figura 52. Vista con Microscopio Para medir fisuras del concreto.

Fuente: Propia

Resultados y discusión

Resultados

Resultados de los ensayos realizados al agregado fino

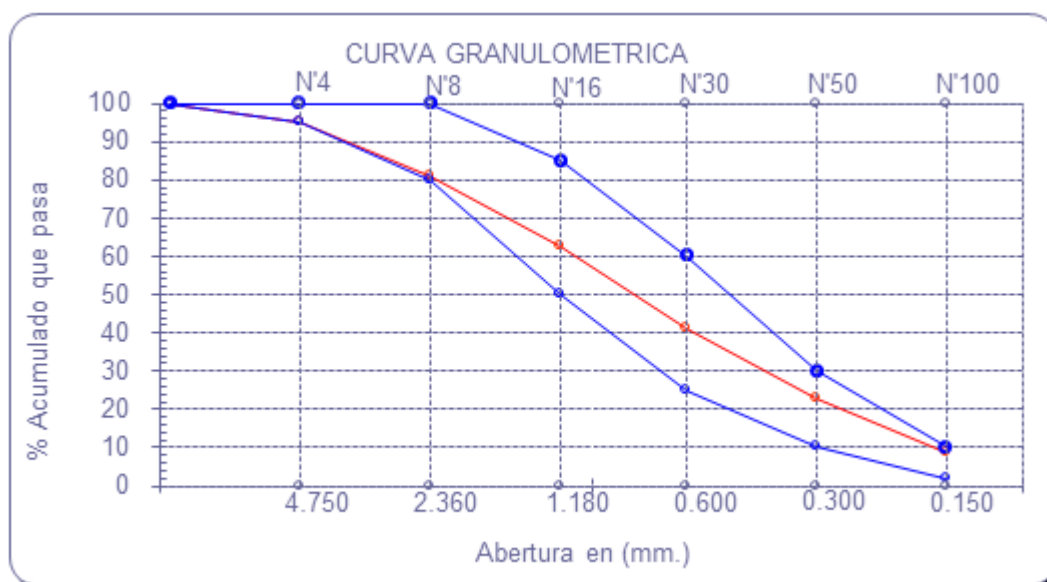
Análisis granulométrico por tamizado

Tabla 18: Resultado del análisis granulométrico para el agregado fino de la cantera La Victoria - Pátapo

Malla		(%) Ret	(%) Acum. Ret	(%) Acum. Que Pasa	Especificaciones:	
Pulg.	(mm.)					
1/2"	12.700	0.0	0.0	100.0	100	100
3/8"	9.500	0.0	0.0	100.0	100	100
Nº 04	4.750	4.8	4.8	95.2	95	100
Nº 08	2.360	14.2	19.0	81.0	80	100
Nº 16	1.180	18.4	37.4	62.6	50	85
Nº 30	0.600	21.5	58.9	41.1	25	60
Nº 50	0.300	18.2	77.1	22.9	10	30
Nº 100	0.150	14.0	91.1	8.9	2	10
Fondo		8.9	100.0	0.0		
Módulo de Fineza			2.884			
Abertura de malla de referencia			9.500			

Fuente: Reporte de laboratorio

Gráfico 11: Resultado del análisis granulométrico para el agregado fino de la cantera La Victoria - Pátapo



Fuente: Reporte de laboratorio

Ensayo de contenido de humedad

Tabla 19: Resultado del ensayo de contenido de humedad para el agregado fino de la cantera La Victoria - Pátapo

Número de determinación		1
Código de tara		T-1
Peso muestra húmeda + peso de tara	g.	585.8
Peso muestra seca + peso de tara	g.	577.0
Peso de agua	g.	8.8
Peso de tara	g.	85.8
Peso neto muestra seca	g.	491.2
CONTENIDO DE HUMEDAD		%
		1.79

Fuente: Reporte de laboratorio

Peso unitario suelto y compactado

Tabla 20: Resultado del ensayo de peso unitario suelto para el agregado fino de la cantera La Victoria – Pátapo

PESO UNITARIO SUELTO

Molde de ensayo		
Número de determinación		A
Peso de molde de ensayo vacío + peso muestra contenida	g.	19201.5
Peso de molde de ensayo vacío	g.	10729
Peso neto muestra contenida	g.	8472.5
Volumen del molde de ensayo	m ³	0.00544
Peso unitario suelto húmedo	kg/m ³	1556
Peso unitario suelto seco	kg/m ³	1529

Fuente: Reporte de laboratorio

Tabla 21: Resultado del ensayo de peso unitario compactado para el agregado fino de la cantera La Victoria – Pátapo

PESO UNITARIO COMPACTADO

Molde de ensayo		
Número de determinación		A
Peso de molde de ensayo vacío + peso muestra húmeda	g.	20449
Peso de molde de ensayo vacío	g.	10729
Peso neto muestra contenida	g.	9720
Volumen del molde de ensayo	m ³	0.00544
Peso unitario compactado húmedo	kg/m ³	1786
Peso unitario compactado seco	kg/m ³	1754

Fuente: Reporte de laboratorio

Peso específico y absorción

Tabla 22: Resultado del ensayo de peso específico y absorción para el agregado fino de la cantera La Victoria – Pátapo

A.- Datos de la arena		
1.- Peso de la Muest. Sat. Sup. Seca.	g	500.0
2.- Peso de la Muest. Sat. Sup. Seca + Peso frasco + Peso del agua.	g	973.0
3.- Peso de la Muest. Sat. Sup. Seca + Peso del frasco.	g	659.5
4.- Peso del Agua.	g	313.5
5.- Peso del Frasco	g	159.5
6.- Peso de la Muest. secada ahorno + Peso del frasco.	g	655.1
7.- Peso de la Muest. secada en el horno.	g	495.6
8.- Volumen del frasco.	cm ³	500.0
B.- Resultados		
A.- PESO ESPECIFICO DE LA ARENA.	g/cm ³	2.657
B.- PESO ESPECIFICO DE LA MASA S.S.S.	g/cm ³	2.681
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	g/cm ³	2.722
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN.	%	0.89

Fuente: Reporte de laboratorio

Resultados de los ensayos realizados al agregado grueso

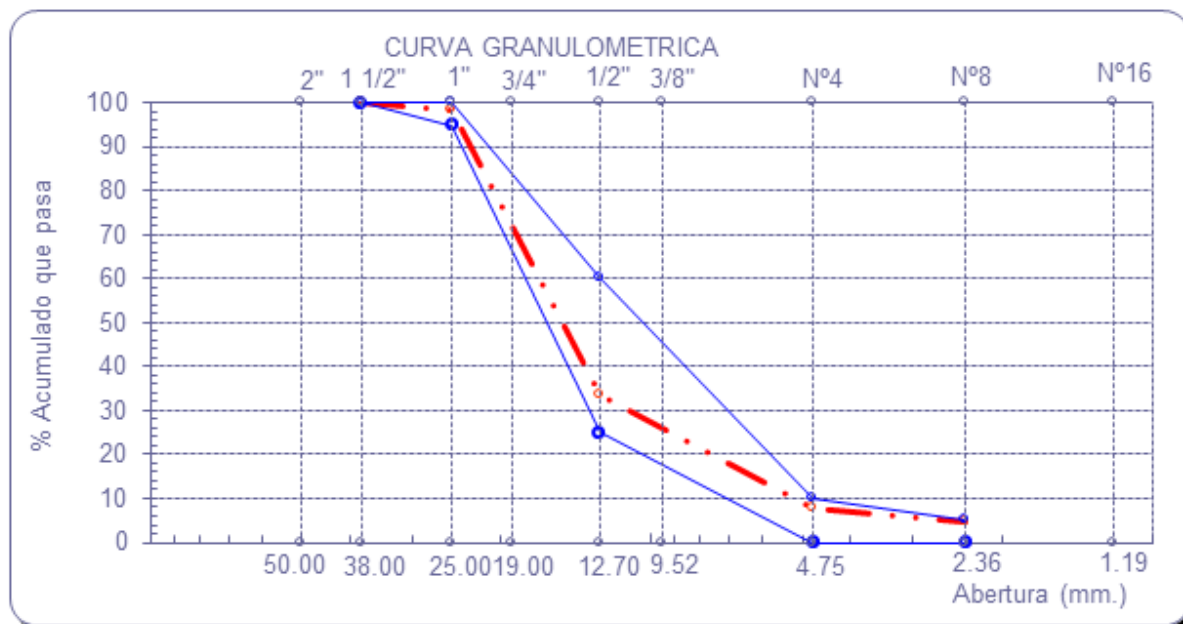
Análisis granulométrico por tamizado

Tabla 23: Tabla 1: Resultado del análisis granulométrico para el agregado grueso de la cantera Tres Tomas – Ferreñafe

Malla		(% Ret.)	(% Acum. Ret.)	(% Acum. Que Pasa)	Especificaciones	
Pulg.	(mm.)					
2"	50.00	0.0	0.0	100.0		
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1"	25.00	1.8	1.8	98.2	95.0	100.0
3/4"	19.00	19.1	20.9	79.1		
1/2"	12.70	45.7	66.7	33.3	25.0	60.0
3/8"	9.52	11.5	78.2	21.8		
Nº 04	4.75	14.1	92.3	7.7	0.0	10.0
Nº 08	2.36	3.2	95.5	4.5	0.0	5.0
Nº 16	1.19	0.1	95.5	4.5		
Fondo		4.5	99.9	0.1		
Tamaño Máximo		1"	25.00			
Tamaño Máximo Nominal		3/4"	19.00			

Fuente: Reporte de laboratorio

Gráfico 12: Gráfico 1: Resultado del análisis granulométrico para el agregado grueso de la cantera Tres Tomas – Ferreñafe



Fuente: Reporte de laboratorio

Ensayo de contenido de humedad

Tabla 24: Resultado del ensayo de contenido de humedad para el agregado grueso de la cantera Tres Tomas – Ferreñafe

Número de determinación		1
Código de tara		T-1
Peso muestra húmeda + peso de tara	g.	1084.8
Peso muestra seca + peso de tara	g.	1080.9
Peso de agua	g.	3.9
Peso de tara	g.	93.8
Peso neto muestra seca	g.	987.1
CONTENIDO DE HUMEDAD		%
		0.40

Fuente: Reporte de laboratorio

Peso Unitario Suelto Y Compactado

Tabla 25: Resultado del ensayo de peso unitario suelto para el agregado grueso de la cantera Tres Tomas – Ferreñafe

PESO UNITARIO SUELTO

Molde de ensayo		
Número de determinación		A
Peso de molde de ensayo vacío + peso muestra contenida	g.	18163.0
Peso de molde de ensayo vacío	g.	10729
Peso neto muestra contenida	g.	7434.0
Volumen del molde de ensayo	m ³	0.00544
Peso unitario suelto húmedo	kg/m ³	1366
Peso unitario suelto seco	kg/m ³	1360

Fuente: Reporte de laboratorio

Tabla 26: Resultado del ensayo de peso unitario compactado para el agregado grueso de la cantera Tres Tomas – Ferreñafe

PESO UNITARIO COMPACTADO

Molde de ensayo		
Número de determinación		A
Peso de molde de ensayo vacío + peso muestra húmeda	g.	19341.5
Peso de molde de ensayo vacío	g.	10729
Peso neto muestra contenida	g.	8612.5
Volumen del molde de ensayo	m ³	0.00544
Peso unitario compactado húmedo	kg/m ³	1582
Peso unitario compactado seco	kg/m ³	1576

Fuente: Reporte de laboratorio

Peso específico y absorción

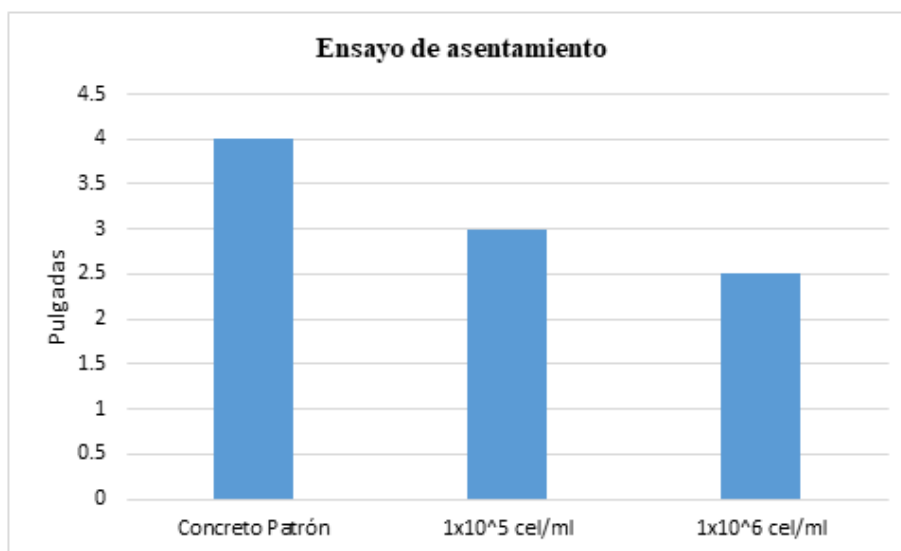
Tabla 27: Resultado del ensayo de peso específico y absorción para el agregado grueso de la cantera Tres Tomas – Ferreñafe

A.- Datos de la Grava		
1.- Peso de la muestra seca al horno	g:	1485
2.- Peso de la muestra saturada superficialmente seca	g:	1500
3.- peso de la muestra saturada dentro del agua + peso de la canastilla	g:	1669
4.- Peso de la canastilla	g:	734
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	g:	935
B.- Resultados		
A.- PESO ESPECIFICO DE LA GRAVA	g/cm ³ :	2.628
B.- PESO ESPECIFICO DE LA MASA S.S.S.	g/cm ³ :	2.655
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	g/cm ³ :	2.700
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN.	%:	1.01

Fuente: Reporte de laboratorio

Resultados de los ensayos realizados al concreto en estado fresco.**Ensayo de asentamiento.***Tabla 28: Resultados de Ensayo de asentamiento.*

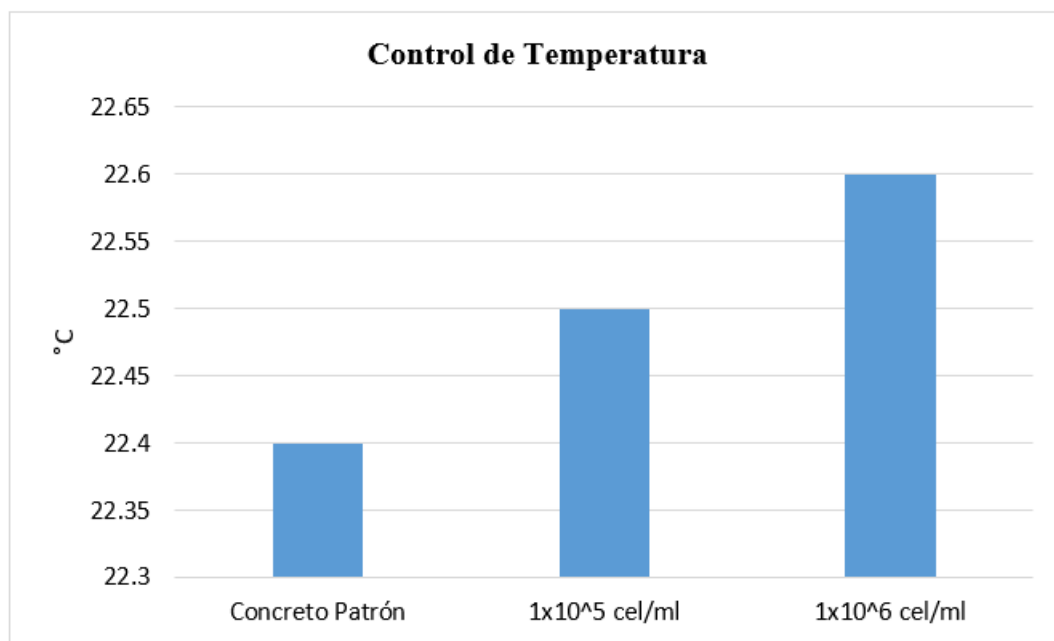
	Asentamiento (plg)
Concreto patrón	4
1x10 ⁵ cel/ml	3
1x10 ⁶ cel/ml	2.5

*Fuente: Propia**Gráfico 13: Comparación resultados de del ensayo de asentamiento del concreto.**Fuente: Propia*

Control de temperatura del concreto fresco.*Tabla 29: Ensayo de temperatura del concreto.*

	Temperatura (°C)
Concreto patrón	22.4
1x10⁵ cel/ml	22.5
1x10⁶ cel/ml	22.6

Fuente: Propia

Gráfico 14: Comparación de resultados de temperatura del concreto.

Fuente: Propia

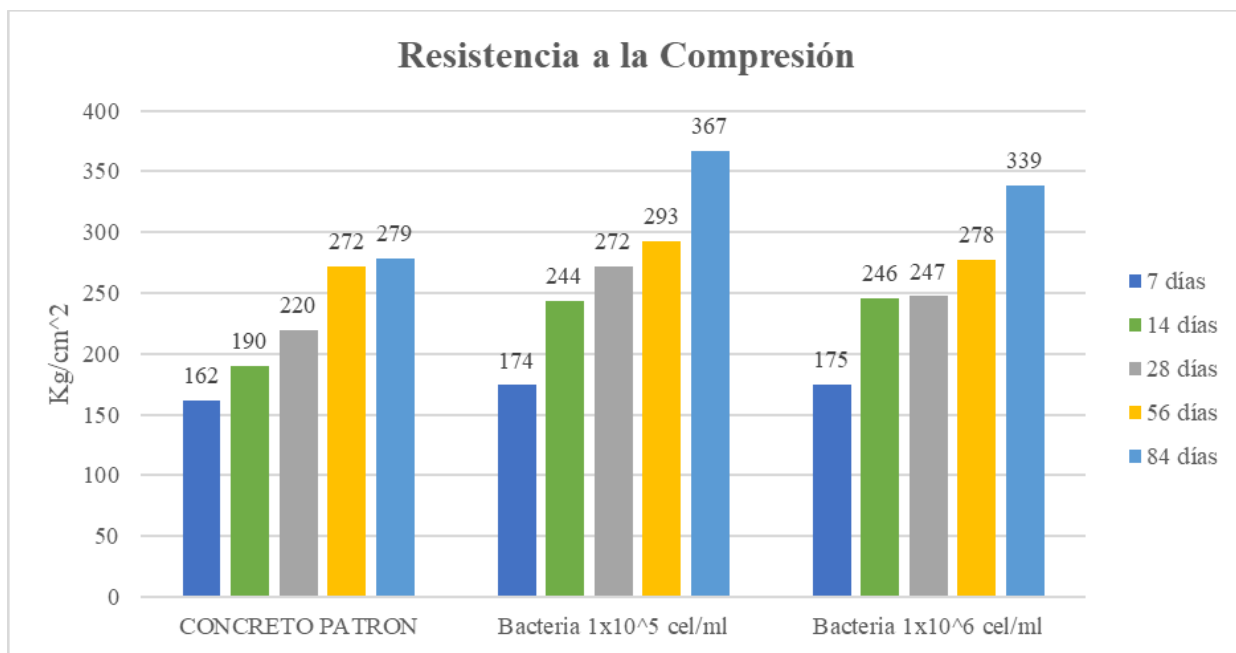
Resistencia a la compresión del concreto

Tabla 30: Resultados de Ensayo de compresión del concreto.

IDENTIFICACIÓN	Fecha de	Fecha de	Días	Diámetro	Carga	f'c	f'c (Kg/cm2)	Porcentaje de f'c de diseño (%)
	Vaciado	Ensayo		(d) (cm)	(P) (kg)	(kg/cm2)	Promedio	
CONCRETO PATRON	11/11/2022	18/11/2022	7	15	29090	165	162	77.0%
CONCRETO PATRON	11/11/2022	18/11/2022	7	15	28050	159		
CONCRETO PATRON	11/11/2022	25/11/2022	14	15	33096	187	190	90.4%
CONCRETO PATRON	11/11/2022	25/11/2022	14	15	34030	193		
CONCRETO PATRON	11/11/2022	09/12/2022	28	15	39140	221	220	104.7%
CONCRETO PATRON	11/11/2022	09/12/2022	28	15	38540	218		
CONCRETO PATRON	11/11/2022	06/01/2023	56	15	47900	271.06	272	129.7%
CONCRETO PATRON	11/11/2022	06/01/2023	56	15	48340	274		
CONCRETO PATRON	11/11/2022	03/02/2023	84	15	48784	276	279	132.6%
CONCRETO PATRON	11/11/2022	03/02/2023	84	15	49668	281		
Bacteria 1x10 ⁵ ce/ml	11/11/2022	18/11/2022	7	15	30390	172	174	82.9%
Bacteria 1x10 ⁵ ce/ml	11/11/2022	18/11/2022	7	15	31140	176		
Bacteria 1x10 ⁵ ce/ml	11/11/2022	25/11/2022	14	15	43210	245	244	116.0%
Bacteria 1x10 ⁵ ce/ml	11/11/2022	25/11/2022	14	15	42905	243		
Bacteria 1x10 ⁵ ce/ml	11/11/2022	09/12/2022	28	15	47780	270	272	129.3%
Bacteria 1x10 ⁵ ce/ml	11/11/2022	09/12/2022	28	15	48200	273		
Bacteria 1x10 ⁵ ce/ml	11/11/2022	06/01/2023	56	15	52480	297	293	139.3%
Bacteria 1x10 ⁵ ce/ml	11/11/2022	06/01/2023	56	15	50920	288		
Bacteria 1x10 ⁵ ce/ml	11/11/2022	03/02/2023	84	15	64338	364	367	174.6%
Bacteria 1x10 ⁵ ce/ml	11/11/2022	03/02/2023	84	15	65222	369		
Bacteria 1x10 ⁶ ce/ml	11/11/2022	18/11/2022	7	15	30990	175	175	83.1%
Bacteria 1x10 ⁶ ce/ml	11/11/2022	18/11/2022	7	15	30720	174		
Bacteria 1x10 ⁶ ce/ml	11/11/2022	25/11/2022	14	15	43103	244	246	116.9%
Bacteria 1x10 ⁶ ce/ml	11/11/2022	25/11/2022	14	15	43670	247		
Bacteria 1x10 ⁶ ce/ml	11/11/2022	09/12/2022	28	15	43780	248	247	117.7%
Bacteria 1x10 ⁶ ce/ml	11/11/2022	09/12/2022	28	15	43610	247		
Bacteria 1x10 ⁶ ce/ml	11/11/2022	06/01/2023	56	15	49210	278	278	132.2%
Bacteria 1x10 ⁶ ce/ml	11/11/2022	06/01/2023	56	15	48910	277		
Bacteria 1x10 ⁶ ce/ml	11/11/2022	03/02/2023	84	15	59389	336	339	161.2%
Bacteria 1x10 ⁶ ce/ml	11/11/2022	03/02/2023	84	15	60273	341		

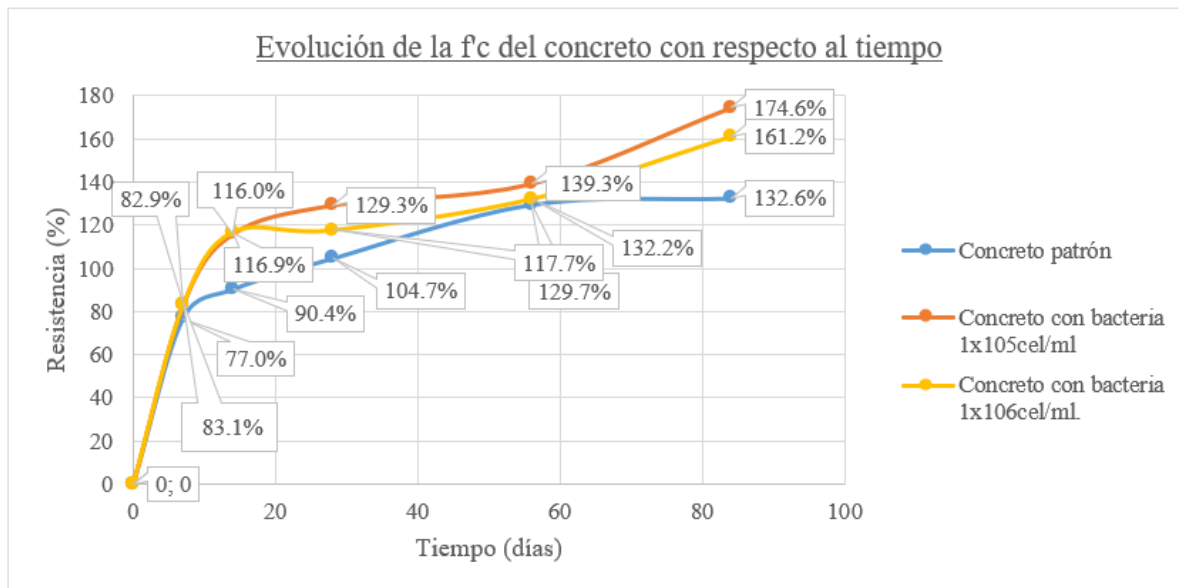
Fuente: Reporte de laboratorio

Gráfico 15: Comparación de resistencia a compresión, según edad.



Fuente: Propia

Gráfico 16: Evolución de la resistencia del concreto con respecto al tiempo.



Fuente: Propia

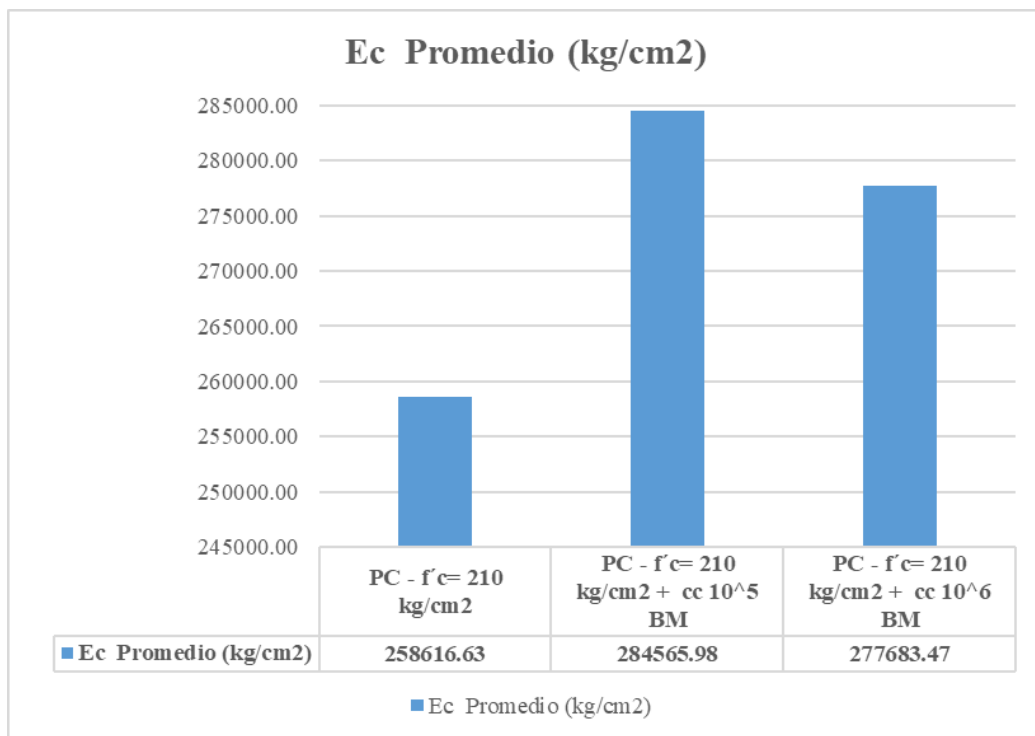
Elasticidad del concreto

Tabla 31: Ensayo de elasticidad del concreto.

IDENTIFICACIÓN	Fecha de vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	σ_u (Kg/cm ²)	Esfuerzo S2 (40% σ_u) Kg/cm ²	Esfuerzo S1 (0.000050) Kg/cm ²	ϵ unitaria ϵ_2 (S ₂)	E _c Kg/cm ²	Promedio E _c Kg/cm ²
PC - f'c= 210 kg/cm2	11/11/2022	03/02/2023	84	275.62	110	17.00598	0.000411	258626	258616.63
PC - f'c= 210 kg/cm2	11/11/2022	03/02/2023	84	271.24	108	16.73789	0.000404	259253	
PC - f'c= 210 kg/cm2	11/11/2022	03/02/2023	84	281.28	113	17.35817	0.000419	257970	
PC - f'c= 210 kg/cm2 + cc 10 ⁵ BM	11/11/2022	03/02/2023	84	362.55	145	18.12317	0.000493	286142	284565.98
PC - f'c= 210 kg/cm2 + cc 10 ⁵ BM	11/11/2022	03/02/2023	84	363.73	145	18.18353	0.000502	281725	
PC - f'c= 210 kg/cm2 + cc 10 ⁵ BM	11/11/2022	03/02/2023	84	369.02	148	18.44610	0.000502	285831	
PC - f'c= 210 kg/cm2 + cc 10 ⁶ BM	11/11/2022	03/02/2023	84	336.17	134	18.47249	0.000464	280433	277683.47
PC - f'c= 210 kg/cm2 cc 10 ⁶ BM	11/11/2022	03/02/2023	84	332.78	133	18.33646	0.000469	274152	
PC - f'c= 210 kg/cm2 cc 10 ⁶ BM	11/11/2022	03/02/2023	84	341.05	136	17.03747	0.000479	278466	

Fuente: Reporte de laboratorio.

Gráfico 17: Comparación de módulo de elasticidad del concreto.



Fuente: Propia

Resistencia a la flexión del concreto

Tabla 32: Resistencia a la flexión del concreto patrón.

Muestra Nº	IDENTIFICACIÓN	Fecha de vaciado (Días)	Fecha de ensayo (Días)	Edad (Días)	P (N)	L (mm)	b (mm)	h (mm)	a (mm)	M _r (Mpa)	M _r (Kg/cm ²)
01	Testigo 1 - D.Patrón 210	11/11/2022	09/12/2022	28	24350	450	150	150	0	3.25	33.11
02	Testigo 2 - D.Patrón 210	11/11/2022	09/12/2022	28	25400	450	150	150	0	3.39	34.53
03	Testigo 3 - D.Patrón 210	11/11/2022	09/12/2022	28	27400	450	150	150	0	3.65	37.25

Fuente: Reporte de laboratorio

Tabla 33: Resistencia a la flexión del bioconcreto con concentración de 1×10^5 cel/ml.

Muestra Nº	IDENTIFICACIÓN	Fecha de vaciado (Días)	Fecha de ensayo (Días)	Edad (Días)	P (N)	L (mm)	b (mm)	h (mm)	a (mm)	M _r (Mpa)	M _r (Kg/cm ²)
01	Testigo 1 - M.P + cc 10^5 BM	11/11/2022	09/12/2022	28	30220	450	150	150	0	4.03	41.09
02	Testigo 2 - M.P + cc 10^5 BM	11/11/2022	09/12/2022	28	31400	450	150	150	0	4.19	42.69
03	Testigo 3 - M.P + cc 10^5 BM	11/11/2022	09/12/2022	28	32730	450	150	150	0	4.36	44.50

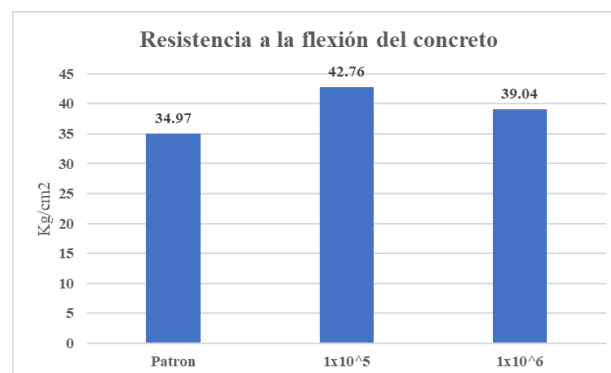
Fuente: Reporte de laboratorio

Tabla 34: Resistencia a la flexión del bioconcreto con concentración de 1×10^6 cel/ml.

Muestra Nº	IDENTIFICACIÓN	Fecha de vaciado (Días)	Fecha de ensayo (Días)	Edad (Días)	P (N)	L (mm)	b (mm)	h (mm)	a (mm)	M _r (Mpa)	M _r (Kg/cm ²)
01	Testigo 1 - M.P + cc 10^6 BM	11/11/2022	09/12/2022	28	28110	450	150	150	0	3.75	38.22
02	Testigo 2 - M.P + cc 10^6 BM	11/11/2022	09/12/2022	28	29400	450	150	150	0	3.92	39.97
03	Testigo 3 - M.P + cc 10^6 BM	11/11/2022	09/12/2022	28	28640	450	150	150	0	3.82	38.94

Fuente: Reporte de laboratorio

Gráfico 18: Comparación de resistencia a la flexión.



Fuente: Propia

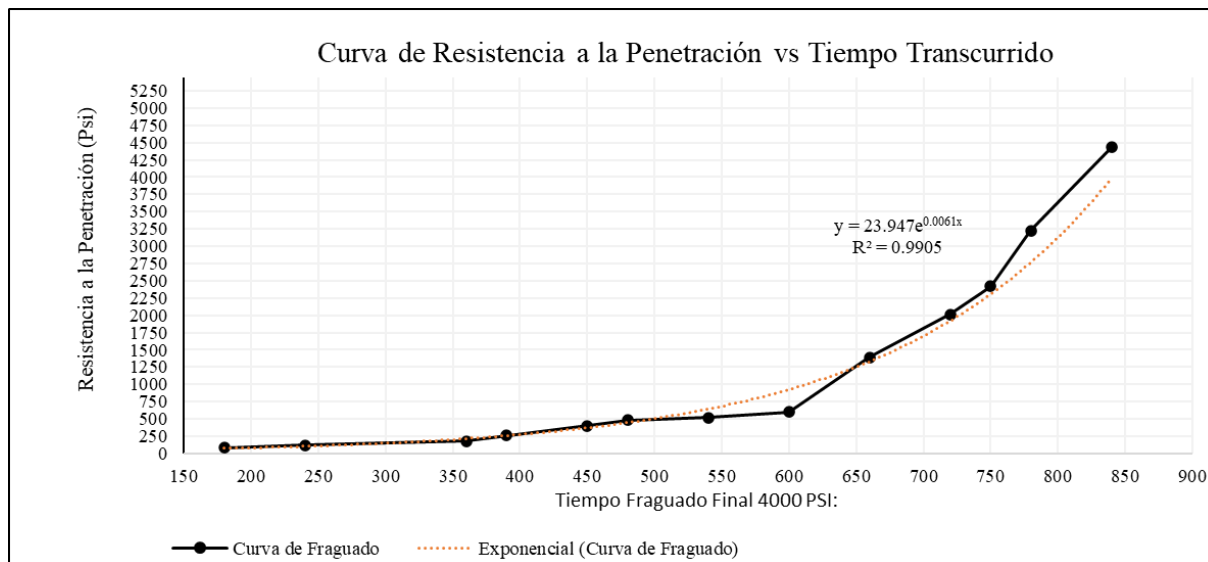
Tiempo de Fraguado

Tabla 35: Resultados de Tiempo de fraguado del concreto patrón.

Hora de ensayo	Tiempo transcurrido		Diámetro (Pulg)	Área (mm ²)	Área (Pulg ²)	Fuerza (Libras)	Resistencia a la penetración (PSI)
	Horas	Minutos					
13:00	03:00	180	1 1/8	645	1	80	80
14:00	04:00	240	1 1/8	645	1	120	120
16:00	06:00	360	1 1/8	645	1	180	180
16:30	06:30	390	4/5	323	1/2	130	260
17:30	07:30	450	4/7	161	1/4	100	401
18:00	08:00	480	4/7	161	1/4	120	481
19:00	09:00	540	4/7	161	1/4	130	521
20:00	10:00	600	4/7	161	1/4	150	601
21:00	11:00	660	1/3	65	1/10	140	1390
22:00	12:00	720	1/4	32	1/20	100	2016
22:30	12:30	750	1/4	32	1/20	120	2419
23:00	13:00	780	1/6	16	1/40	80	3226
00:00	14:00	840	1/6	16	1/40	110	4435

Fuente: Reporte de laboratorio

Gráfico 19: Curva de Resistencia a la Penetración vs Tiempo Transcurrido – Concreto Patrón



Fuente: Reporte de laboratorio

Tiempo Fraguado Inicial 500 PSI: 08:18 Horas

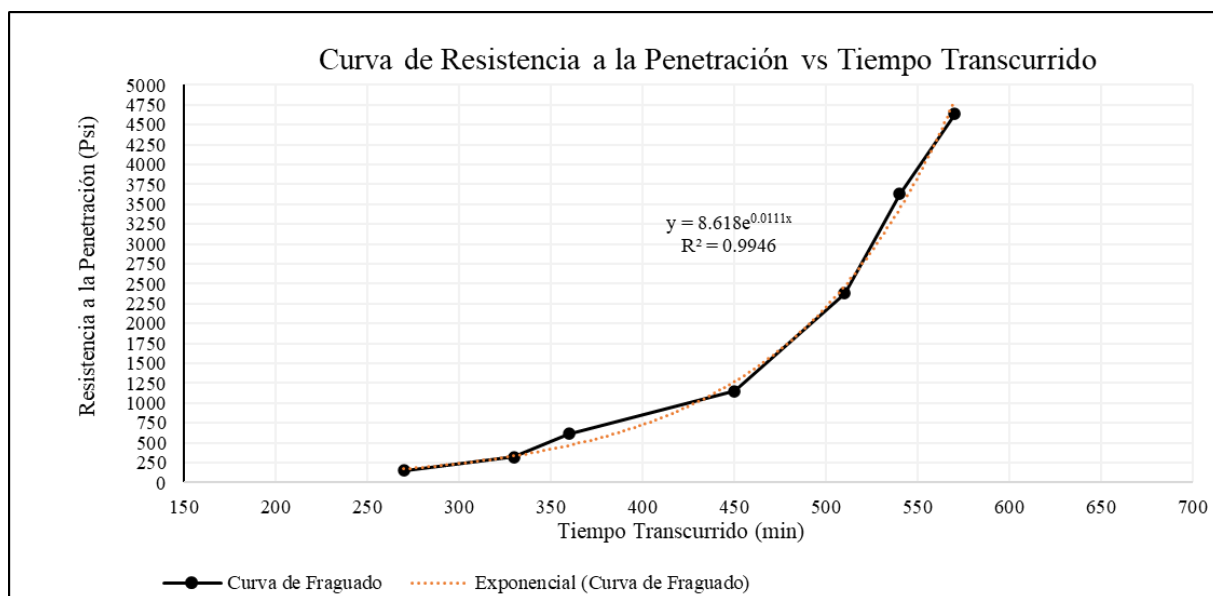
Tiempo Fraguado Final 4000 PSI: 13:59 Horas

Tabla 36: Resultados de Tiempo de fraguado del Bioconcreto – 1×10^5 cel/ml.

Hora de ensayo	Tiempo transcurrido		Diámetro (Pulg)	Área (mm ²)	Área (Pulg ²)	Fuerza (Libras)	Resistencia a la penetración (PSI)
	Horas	Minutos					
14:30	04:30	270	1 1/8	645	1	152	152
15:30	05:30	330	4/5	323	1/2	162	324
16:00	06:00	360	4/7	161	1/4	154	617
17:30	07:30	450	1/3	65	1/10	116	1151
18:30	08:30	510	1/4	32	1/20	118	2379
19:00	09:00	540	1/6	16	1/40	90	3629
19:30	09:30	570	1/6	16	1/40	115	4637

Fuente: Reporte de laboratorio

Gráfico 20: Curva de Resistencia a la Penetración vs Tiempo Transcurrido – 1×10^5 cel/ml.



Fuente: Reporte de laboratorio

Tiempo Fraguado Inicial 500 PSI: 06:05 Horas

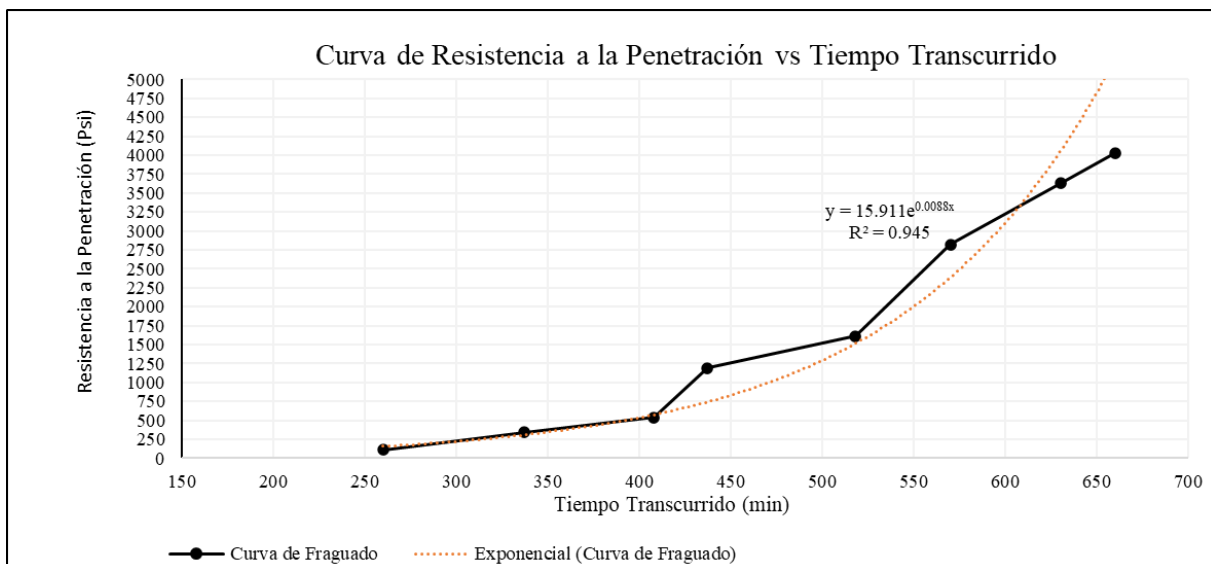
Tiempo Fraguado Final 4000 PSI: 09:13 Horas

Tabla 37: Resultados de Tiempo de fraguado del Bioconcreto – 1×10^6 cel/ml.

Hora de ensayo	Tiempo transcurrido		Diámetro (Pulg)	Área (mm ²)	Área (Pulg ²)	Fuerza (Libras)	Resistencia a la penetración (PSI)
	Horas	Minutos					
14:20	04:20	260	1 1/8	645	1	110	110
15:37	05:37	337	4/5	323	1/2	170	340
16:48	06:48	408	4/7	161	1/4	135	541
17:17	07:17	437	1/3	65	1/10	120	1191
18:38	08:38	518	1/4	32	1/20	80	1613
19:30	09:30	570	1/6	16	1/40	70	2823
20:30	10:30	630	1/6	16	1/40	90	3629
21:00	11:00	660	1/6	16	1/40	100	4032

Fuente: Reporte de laboratorio

Gráfico 21: Curva de Resistencia a la Penetración vs Tiempo Transcurrido – 1×10^6 cel/ml.



Fuente: Reporte de laboratorio

Tiempo Fraguado Inicial 500 PSI: 06:31 Horas

Tiempo Fraguado Final 4000 PSI: 10:28 Horas

Expansión por Sulfatos

Tabla 38: Mediciones de Longitud barras de mortero patrón. Referencial

Semanas Barras	M1	M2	M3
	(mm)	(mm)	(mm)
Lectura Inicial	4.614	4.351	4.234
Semana 1	4.747	4.411	4.317
Semana 2	4.857	4.517	4.378
Semana 3	4.935	4.632	4.434
Semana 5	5.025	4.762	4.519
Semana 8	5.141	4.856	4.568
Semana 13	5.218	4.971	4.641
Semana 15	5.313	5.033	4.712
Lectura de referencia	2.030		

Fuente: Reporte de laboratorio

Tabla 39: Mediciones de Longitud barras de mortero patrón Calibrado.

Semanas Barras	M1	M2	M3
	(mm)	(mm)	(mm)
Lectura Inicial	2.584	2.321	2.204
Semana 1	2.717	2.381	2.287
Semana 2	2.827	2.487	2.348
Semana 3	2.905	2.602	2.404
Semana 5	2.995	2.732	2.489
Semana 8	3.111	2.826	2.538
Semana 13	3.188	2.941	2.611
Semana 15	3.283	3.003	2.682
Longitud nominal del calibre	250		

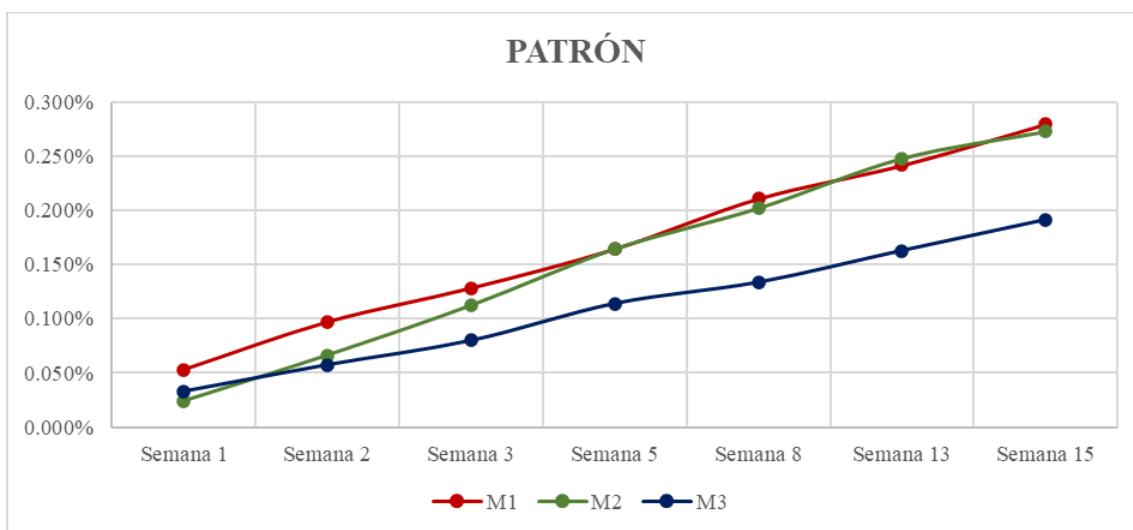
Fuente: Reporte de laboratorio

Tabla 40: Mediciones de cambios de longitud barras patrón.

Variación de Longitud	Δ M1	Δ M2	Δ M3
Semana 1	0.053%	0.024%	0.033%
Semana 2	0.097%	0.066%	0.058%
Semana 3	0.128%	0.112%	0.080%
Semana 5	0.164%	0.164%	0.114%
Semana 8	0.211%	0.202%	0.134%
Semana 13	0.242%	0.248%	0.163%
Semana 15	0.280%	0.273%	0.191%

Fuente: Reporte de laboratorio

Gráfico 22: Expansión de longitud por sulfatos de mortero patrón.



Fuente: Reporte de laboratorio

Tabla 41: Mediciones de Longitud barras de mortero cc 10⁵ BM. Referencial.

Semanas Barras	M1 (mm)	M2 (mm)	M3 (mm)
Lectura Inicial	5.243	4.971	4.423
Semana 1	5.341	5.141	4.554
Semana 2	5.427	5.191	4.678
Semana 3	5.486	5.228	4.704
Semana 5	5.512	5.292	4.782
Semana 8	5.587	5.363	4.837
Semana 13	5.636	5.426	4.905
Semana 15	5.781	5.474	4.981
Lectura de referencia	2.030		

Fuente: Reporte de laboratorio

Tabla 42: Mediciones de Longitud barras de mortero cc 10⁵ BM. Calibrado.

Semanas Barras	M1 (mm)	M2 (mm)	M3 (mm)
Lectura Inicial	3.213	2.941	2.393
Semana 1	3.311	3.111	2.524
Semana 2	3.397	3.161	2.648
Semana 3	3.456	3.198	2.674
Semana 5	3.482	3.262	2.752
Semana 8	3.557	3.333	2.807
Semana 13	3.606	3.396	2.875
Semana 15	3.751	3.444	2.951
Longitud nominal del calibre	250		

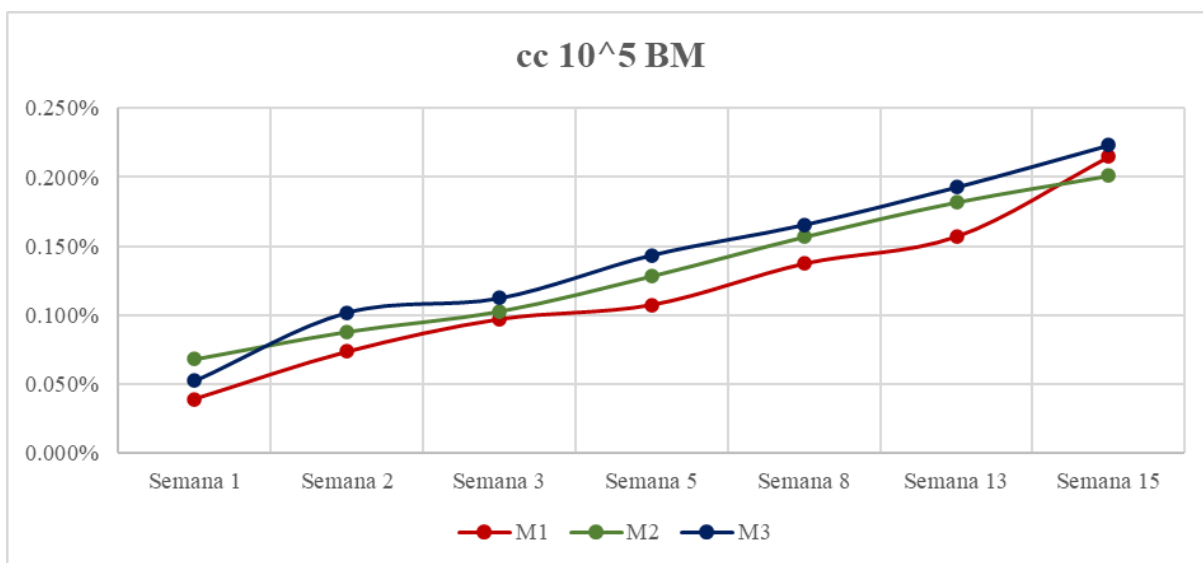
Fuente: Reporte de laboratorio

Tabla 43: Mediciones de cambios de longitud barras 10^5 BM.

Variación de Longitud	Δ M1	Δ M2	Δ M3
Semana 1	0.039%	0.068%	0.052%
Semana 2	0.074%	0.088%	0.102%
Semana 3	0.097%	0.103%	0.112%
Semana 5	0.108%	0.128%	0.144%
Semana 8	0.138%	0.157%	0.166%
Semana 13	0.157%	0.182%	0.193%
Semana 15	0.215%	0.201%	0.223%

Fuente: Reporte de laboratorio

Gráfico 23: Expansión de longitud por sulfatos de mortero cc 10^5 BM.



Fuente: Reporte de laboratorio

Tabla 44: Mediciones de Longitud barras de mortero cc 10^6 BM. Referencial.

Semanas	M1	M2	M3
Barras	(mm)	(mm)	(mm)
Lectura Inicial	6.541	4.742	5.090
Semana 1	6.682	4.787	5.118
Semana 2	6.757	4.833	5.235
Semana 3	6.854	5.032	5.444
Semana 5	6.981	5.222	5.734
Semana 8	7.052	5.409	5.952
Semana 13	7.249	5.536	6.172
Semana 15	7.420	5.637	6.372
Lectura de referencia	2.030		

Fuente: Reporte de laboratorio

Tabla 45: Mediciones de Longitud barras de mortero cc 10^6 BM. Calibrado.

Semanas	M1	M2	M3
Barras	(mm)	(mm)	(mm)
Lectura Inicial	4.511	2.712	3.06
Semana 1	4.652	2.757	3.088
Semana 2	4.727	2.803	3.205
Semana 3	4.824	3.002	3.414
Semana 5	4.951	3.192	3.704
Semana 8	5.022	3.379	3.922
Semana 13	5.219	3.506	4.142
Semana 15	5.39	3.607	4.342
Longitud nominal del calibre	250		

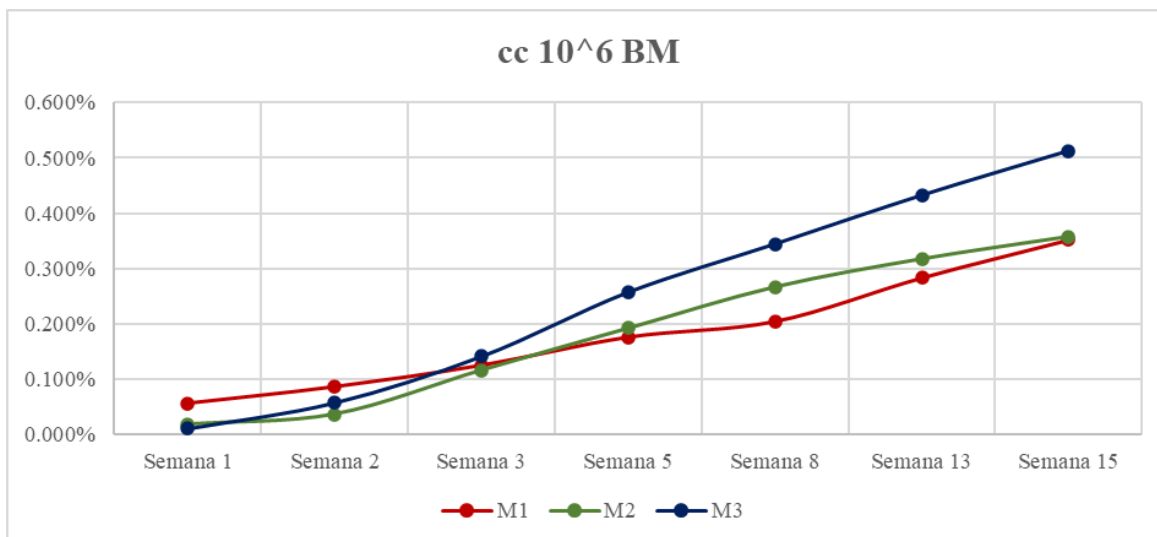
Fuente: Reporte de laboratorio

Tabla 46: Mediciones de cambios de longitud barras cc 10^6 BM.

Variación de Longitud	Δ M1	Δ M2	Δ M3
Semana 1	0.056%	0.018%	0.011%
Semana 2	0.086%	0.036%	0.058%
Semana 3	0.125%	0.116%	0.142%
Semana 5	0.176%	0.192%	0.258%
Semana 8	0.204%	0.267%	0.345%
Semana 13	0.283%	0.318%	0.433%
Semana 15	0.352%	0.358%	0.513%

Fuente: Reporte de laboratorio

Gráfico 24: Expansión de longitud por sulfatos de mortero cc 10^6 BM.



Fuente: Reporte de laboratorio

Permeabilidad

Tabla 47: Resultados de Permeabilidad - Concreto patrón.

Muestra N°	Descripción de la Muestra (kg/cm ²)	Edad (Días)	Fecha		Hora		Tiempo (72 ± 2 Horas)	Cara	Penetración Máxima (mm)		
			Inicio	Final	Inicio	Final			Unidad	Promedio	Clase de exposición
M-01	CONCRETO PATRÓN 210	84	03/02/2023	06/02/2023	09:00 AM	09:00 AM	72	A	33.63	39.78	CUMPLE para elementos en masa o armados
								B	33.74		
M-02	CONCRETO PATRÓN 210	84	03/02/2023	06/02/2023	09:00 AM	09:00 AM	72	A	41.85		
								B	40.88		
M-03	CONCRETO PATRÓN 210	84	03/02/2023	06/02/2023	09:00 AM	09:00 AM	72	A	44.70		
								B	43.90		

Fuente: Reporte de laboratorio

Tabla 48: Resultados de Permeabilidad - cc 10⁵ BM.

Muestra N°	Descripción de la Muestra (kg/cm ²)	Edad (Días)	Fecha		Hora		Tiempo (72 ± 2 Horas)	Cara	Penetración Máxima (mm)		
			Inicio	Final	Inicio	Final			Unidad	Promedio	Clase de exposición
M-01	CONCRETO PATRÓN 210 + cc 10 ⁵ BM	84	06/02/2023	09/02/2023	10:00 AM	10:00 AM	72	A	33.39	32.88	CUMPLE para elementos en masa o armados
								B	32.83		
M-02	CONCRETO PATRÓN 210 + cc 10 ⁵ BM	84	06/02/2023	09/02/2023	10:00 AM	10:00 AM	72	A	37.42		
								B	38.24		
M-03	CONCRETO PATRÓN 210 + cc 10 ⁵ BM	84	06/02/2023	09/02/2023	10:00 AM	10:00 AM	72	A	27.85		
								B	27.55		

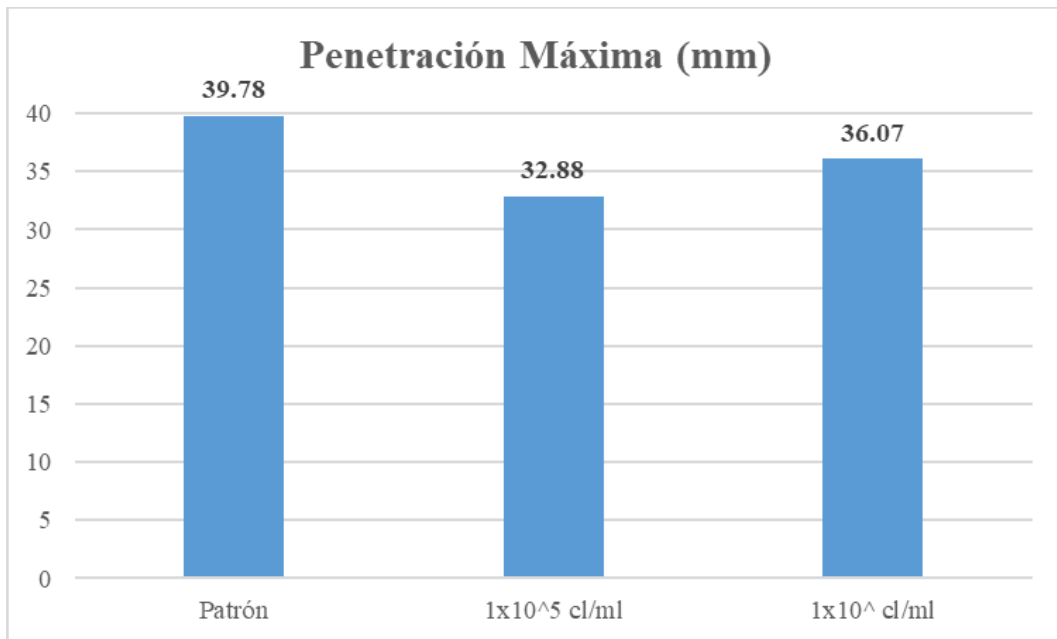
Fuente: Reporte de laboratorio

Tabla 49: Resultados de Permeabilidad - cc 10⁶ BM.

Muestra N°	Descripción de la Muestra (kg/cm ²)	Edad (Días)	Fecha		Hora		Tiempo (72 ± 2 Horas)	Cara	Penetración Máxima (mm)		
			Inicio	Final	Inicio	Final			Unidad	Promedio	Clase de exposición
M-01	CONCRETO PATRÓN 210 + cc 10 ⁶ BM	84	09/02/2023	12/02/2023	10:00 AM	10:00 AM	72	A	37.82	36.07	CUMPLE para elementos en masa o armados
								B	36.11		
M-02	CONCRETO PATRÓN 210 + cc 10 ⁶ BM	84	09/02/2023	12/02/2023	10:00 AM	10:00 AM	72	A	39.03		
								B	38.04		
M-03	CONCRETO PATRÓN 210 + cc 10 ⁶ BM	84	09/02/2023	12/02/2023	10:00 AM	10:00 AM	72	A	33.92		
								B	31.49		

Fuente: Reporte de laboratorio

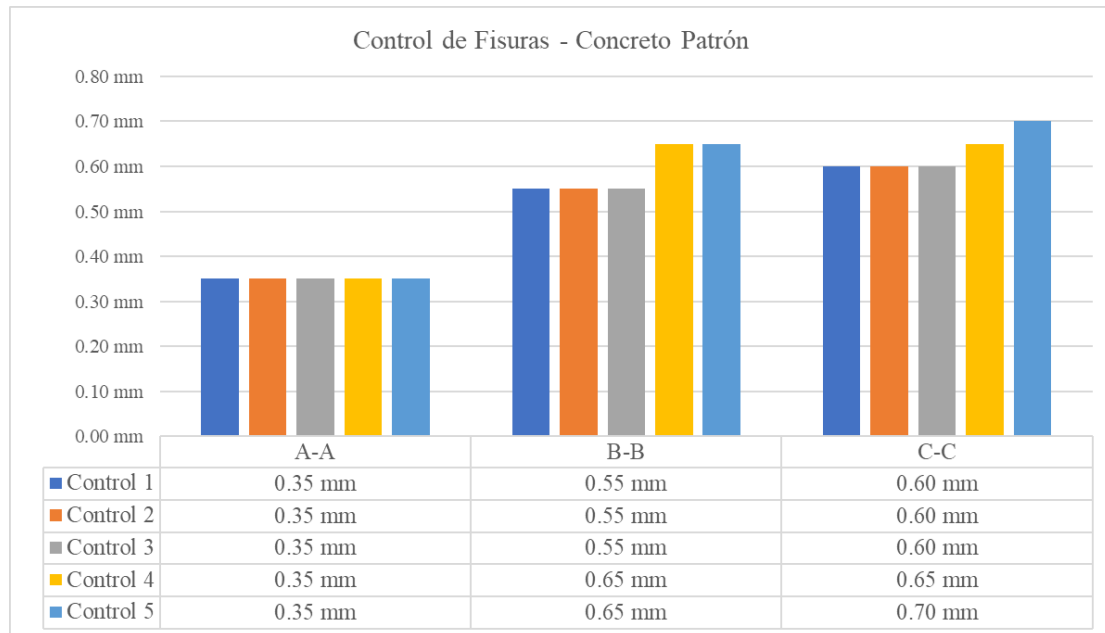
Gráfico 25: Comparación de resultados del ensayo de permeabilidad del concreto.



Fuente: Propia

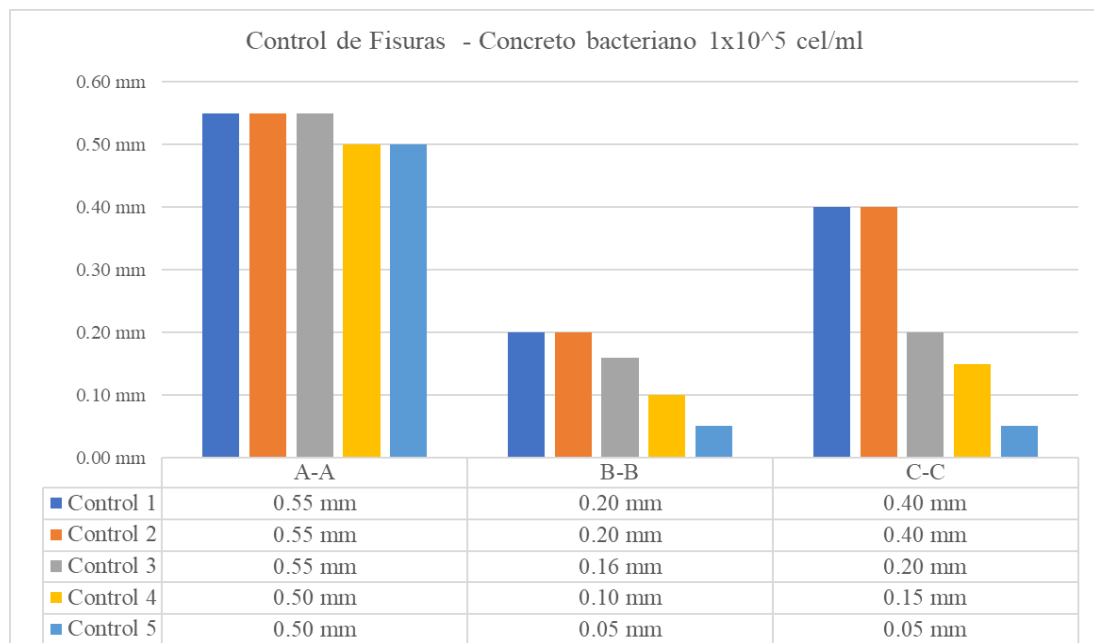
Fisuración a propósito de vigas de concreto – Controles de sellado.

Gráfico 26: Control de fisuras concreto patrón.

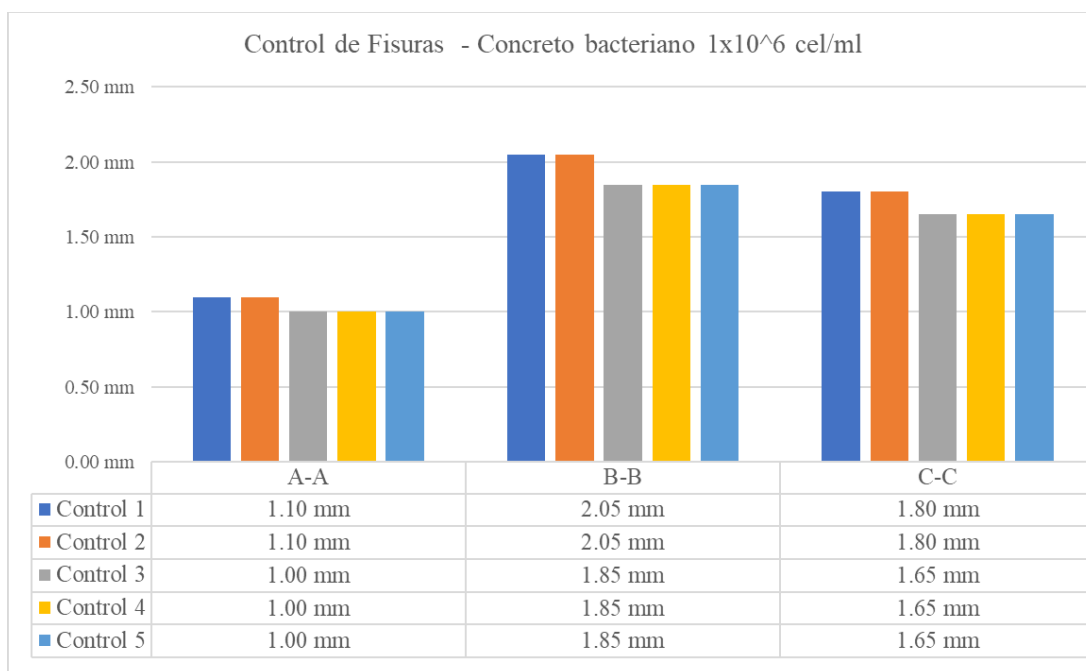


Fuente: Propia

Gráfico 27: Control de fisuras - cc 10^5 BM.



Fuente: Propia

Gráfico 28: Control de fisuras- cc 10^6 BM.

Fuente: Propia

Tabla 50: Control de fisuras concreto patrón.

Patron	A-A	B-B	C-C
Control 1	0.35 mm	0.55 mm	0.60 mm
Control 2	0.35 mm	0.55 mm	0.60 mm
Control 3	0.35 mm	0.55 mm	0.60 mm
Control 4	0.35 mm	0.65 mm	0.65 mm
Control 5	0.35 mm	0.65 mm	0.70 mm
%	0.00%	-18.18%	-16.67%

Fuente: Propia

Tabla 51: Control de fisuras - cc 10^5 BM.

1x10⁵	A-A	B-B	C-C
Control 1	0.55 mm	0.20 mm	0.40 mm
Control 2	0.55 mm	0.20 mm	0.40 mm
Control 3	0.55 mm	0.16 mm	0.20 mm
Control 4	0.50 mm	0.10 mm	0.15 mm
Control 5	0.50 mm	0.05 mm	0.05 mm
%	9.09%	75.00%	87.50%

Fuente: Propia

Tabla 52: Control de fisuras - cc 10^6 BM.

1x10⁶	A-A	B-B	C-C
Control 1	1.10 mm	2.05 mm	1.80 mm
Control 2	1.10 mm	2.05 mm	1.80 mm
Control 3	1.00 mm	1.85 mm	1.65 mm
Control 4	1.00 mm	1.85 mm	1.65 mm
Control 5	1.00 mm	1.85 mm	1.65 mm
%	9.09%	9.76%	8.33%

Fuente: Propia

Evaluación económica

Reactivación e inoculación de bacteria.

Tabla 53: Precios para reactivación de bacteria.

Descripción	Precio
ATCC	S/ 650.00
TSA Agar (Medio de Cultivo)	S/ 100.00
Caldo Tripticasa (Inoculos)	S/ 100.00
Biólogo	S/ 1,200.00
Total	S/ 2,050.00

Fuente: Propia

Con los precios mostrados en la tabla anterior, se realizaron 50 inóculos bacterianos para la inducción al concreto. Basándonos en la dosificación, se considera que 0.002 es la cantidad de inóculo final (TSA Agar, Caldo Tripticasa) por m³ de concreto. Al dividir el precio total de TSA Agar y Caldo Tripticasa entre los 50 inóculos, obtenemos un valor de S/. 4 por inóculo. Por otro lado, considerando el precio del ATCC (S/. 650), obtenemos un valor de S/. 13 por unidad. Con esto en mente, procedimos a realizar una regla de tres simple con el fin de calcular la cantidad de ATCC por m³.

$$4 \longrightarrow 0.002$$

$$13 \longrightarrow x$$

$$x = 0.0065 \text{ (Cantidad de ATCC por m}^3\text{)}$$

Considerando que cada inóculo cuenta con 10 ml, se realizó el siguiente cálculo para determinar el precio por litro de inóculo final (TSA Agar, Caldo Tripticasa).

$$4 \longrightarrow 10 \text{ ml}$$

$$x \longrightarrow 1000 \text{ ml}$$

$$x = 400 \text{ (Precio por Litro)}$$

Finalmente, para calcular el precio por hora hombre (hh) del biólogo, se tuvo en cuenta el total de días (15) que tomó completar este proceso junto con el pago final. Dividiendo el pago final entre el número de días, se obtuvo un valor de S/. 85 como precio por hora hombre.

A continuación, se presentan los análisis de costos unitarios para una cantidad específica de concreto con resistencia $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$, tanto en su forma convencional como en la variante de bioconcreto, utilizados para la construcción de una losa maciza que tiene un espesor de 20 cm y mide un metro en ambas direcciones. En la sección correspondiente a cada costo unitario, se realiza el cálculo por metro cuadrado, de modo que al final se sumen todas las partidas en un único costo consolidado.

Es fundamental destacar que, tras la entrega de los inóculos bacterianos por parte del biólogo, el operario tiene la capacidad de realizar mezclas de concreto sin inconvenientes in situ; para el control de calidad se realiza el ensayo de asentamiento ya que la consistencia tiende a ser más seca en comparación con un concreto convencional.

Elaboración

Tabla 54: Costo unitario para la elaboración de concreto sin bacterias.

Partida: CONCRETO $F'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ SIN BACTERIAS PARA
 LOSA MACIZA
 Rendimiento: 20 m³/día
 Jornada: 8 Hrs

Mezcladora 11p3 incluye P.U gasolina y aceites
 Los precios no incluyen IGV

				TOTAL=	364.04
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de obra					97.50
Operario	hh	1	0.4	26.22	10.49
Operador de equipo mediano	hh	1	0.4	27.12	10.85
Oficial	hh	2	0.8	20.60	16.48
Peón	hh	8	3.2	18.65	59.68
Materiales					250.02
Cemento Tipo I (42.5kg)	bls		8.358	22.03	184.13
Arena gruesa	m ³		0.523	49.15	25.71
Piedra chancada	m ³		0.720	54.15	38.99
Agua	m ³		0.196	6.13	1.20
Herramientas y equipos					16.52
Desgaste de Herramientas	%MO		3.000	97.50	2.92
mezcladora de 11p3	hm	1	0.4	26.21	10.48
Vibrador de 4HP, 2.40 plg	hm	1	0.4	7.78	3.11

Precio por m² 72.81

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 55: Costo unitario para la elaboración de concreto bacteriano.

Partida: CONCRETO F'c=210 kgf/cm² CON INCORPORACIÓN DE BACTERIAS PARA LOSA MACIZA

Rendimiento: 20 m³/día

Jornada: 8 Hrs

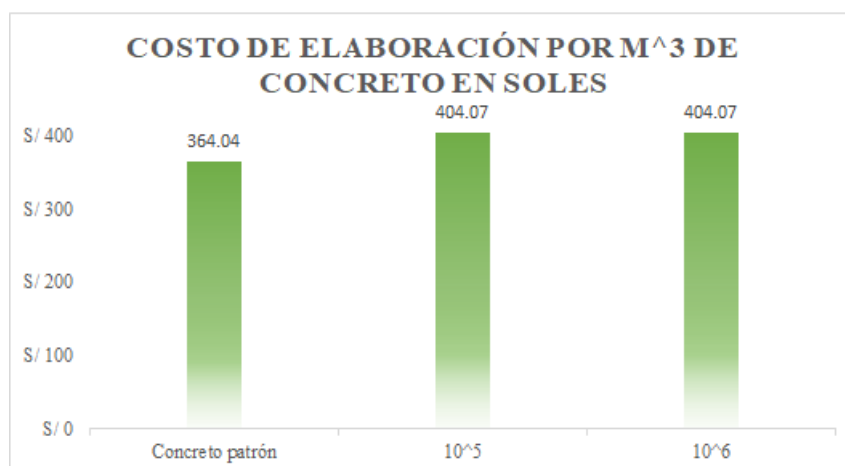
Mezcladora 11p3 incluye P.U gasolina y aceites
Los precios no incluyen IGV

					TOTAL=	404.07
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	
Mano de obra						131.50
Operario	hh	1	0.4	26.22	10.49	
Operador de equipo mediano	hh	1	0.4	27.12	10.85	
Oficial	hh	2	0.8	20.60	16.48	
Peón	hh	8	3.2	18.65	59.68	
Biólogo	hh	1	0.4	85	34.00	
Materiales						255.03
Cemento Tipo I (42.5kg)	bls		8.358	22.03	184.13	
Arena gruesa	m ³		0.523	49.15	25.71	
Piedra chancada	m ³		0.720	54.15	38.99	
Agua	m ³		0.194	6.13	1.19	
Ampolla liofilizada	und		0.007	650	4.23	
Inoculo bacteriano	m ³		0.002	400	0.80	
Herramientas y equipos						17.54
Desgaste de Herramientas	%MO		3.000	131.50	3.94	
mezcladora de 11p3	hm	1	0.4	26.21	10.48	
Vibrador de 4HP, 2.40 plg	hm	1	0.4	7.78	3.11	

Precio por m² 80.81

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 29: Comparación de costos unitarios por elaboración del concreto.



Fuente: Elaboración Propia

Curado

Tabla 56: Costo unitario al aplicar el método de curado convencional al concreto patrón.

Partida:	CURADO CONCRETO F'c=210 kgf/cm2 SIN BACTERIAS PARA LOSA MACIZA
Rendimiento:	200 m2/día
Jornada:	8 Hrs

Los precios no incluyen IGV

					TOTAL=	1.76
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	
Mano de obra						0.96
Operario	hh	0.2	0.008	26.22	0.21	
Peón	hh	1	0.040	18.65	0.75	
Materiales						0.61
Agua	m3		0.100	6.13	0.61	
Herramientas y equipos						0.20
Mochila para la aplicación de curado	hm	1	0.032	6.13	0.20	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 57: Costo unitario de curado del bioconcreto con inclusión de urea y cal.

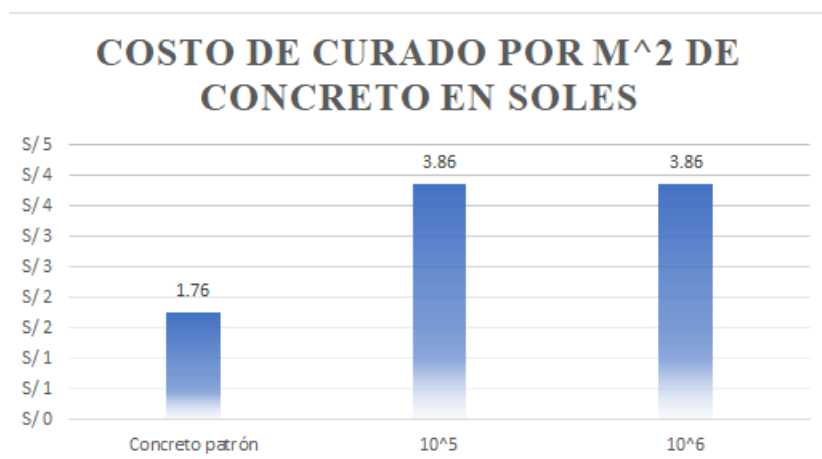
Partida:	CURADO DEL CONCRETO F'c=210 kgf/cm2 CON INCORPORACIÓN BACTERIAS PARA LOSA MACIZA
Rendimiento:	200 m2/día
Jornada:	8 Hrs

Los precios no incluyen IGV

					TOTAL=	3.86
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	
Mano de obra						0.96
Operario	hh	0.2	0.008	26.22	0.21	
Peón	hh	1	0.040	18.65	0.75	
Materiales						2.71
Agua	m3		0.100	6.13	0.61	
Urea	m3		0.200	8	1.60	
Cal	m3		0.500	1	0.50	
Herramientas y equipos						0.20
Mochila para la aplicación de curado	hm	1	0.032	6.13	0.20	

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 30: Comparación de costos unitarios para curado del concreto.



Fuente: Elaboración Propia

Mantenimiento

Tabla 58: Picado de fisuras.

Partida: PICADO DE FISURAS PARA LA APLICACIÓN DE MORTERO

Rendimiento: 35 m/día

Jornada: 8 Hrs

Los precios no incluyen IGV

				TOTAL=	29.57
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de obra					4.86
Operario	hh	0.1	0.023	26.22	0.60
Operador de equipo mediano	hh	0	0	27.12	0.00
Oficial	hh	0	0	20.60	0.00
Peón	hh	1	0.229	18.65	4.26
Herramientas y equipos					24.71
Desgaste de Herramientas	%MO		5.000	4.86	0.24
Amoladora	hm	1	0.229	15.5	3.54
Grupo electrógeno 50 KW	hm	0.5	0.114	183.07	20.92

Precio por m² 147.85

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 59: Limpieza de fisuras.

Partida: LIMPIEZA DE FISURAS PARA LA APLICACIÓN DE MORTERO

Rendimiento: 120 m/día

Jornada: 8 Hrs

Los precios no incluyen IGV

				TOTAL=	1.49
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de obra					1.42
Operario	hh	0.1	0.007	26.22	0.17
Operador de equipo mediano	hh	0	0.000	27.12	0.00
Oficial	hh	0	0.000	20.60	0.00
Peón	hh	1	0.067	18.65	1.24
Herramientas y equipos					0.07
Desgaste de Herramientas	%MO		5.000	1.42	0.07

Precio por m ²	7.45
---------------------------	------

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 60: Aplicación de mortero estructural en fisura.

Partida: MORTERO DE REPARACIÓN PARA ESTRUCTURAS DE CONCRETO

Rendimiento: 25 m/día

Jornada: 8 Hrs

Los precios no incluyen IGV

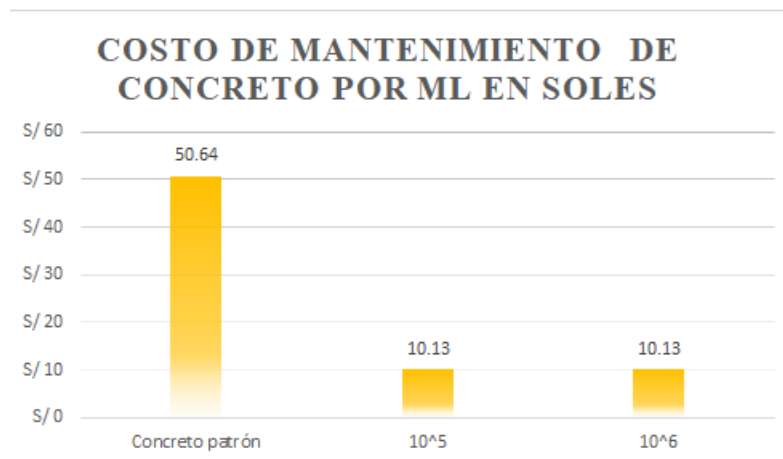
				TOTAL=	19.58
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de obra					8.45
Operario	hh	1	0.32	26.22	8.39
Peón	hh	0.01	0.003	18.65	0.06
Materiales					10.88
Sikadur-32 (kg)	und		0.06	102.5	6.15
SikaRep-500 (kg)	bls		0.06	77.9	4.67
Agua	m3		0.009	6.13	0.06
Herramientas y equipos					0.25
Desgaste de Herramientas	%MO		3.000	8.45	0.25

Precio por m ²	97.91
---------------------------	-------

Fuente: Elaboración Propia

Este tipo de mantenimiento se aplicará solo al concreto convencional que presente pequeñas fisuras, ya sea por contracción química o daños externos. Sin embargo, en el caso del concreto bacteriano, este tipo de mantenimiento será el 20% del convencional en tema de costos, debido a que en la muestra fisurada se llegó a regenerar el 80% de esta.

Gráfico 31: Comparación de costos unitarios para mantenimiento del concreto.



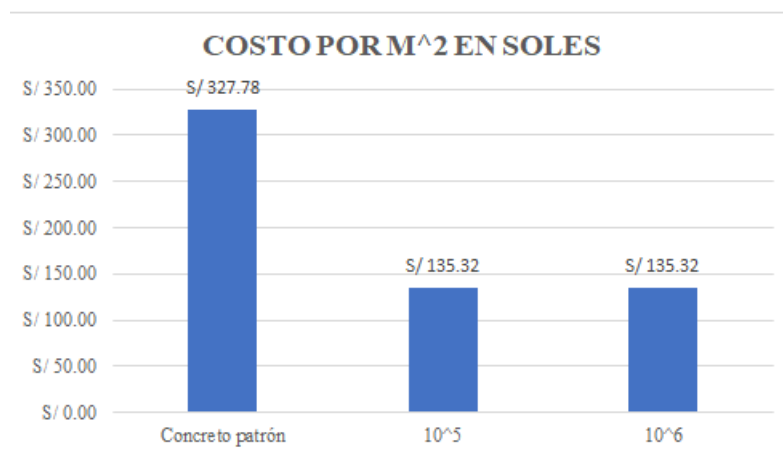
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 61: Resumen de los costos unitarios por m² de concreto.

IDENTIFICACIÓN	COSTO POR M ² EN SOLES
Concreto patrón	S/ 327.78
10 ⁵	S/ 135.32
10 ⁶	S/ 135.32

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 62: Costo total por metro cúbico (m³) de concreto, incluyendo los gastos de curado y reparación, expresados en moneda local (soles).



Fuente: Elaboración Propia


MEGA

Hoja Técnica

B. megaterium – 10⁵: Cultivo puro de Bacterias para ser agregado-inoculado en mezcla de concreto

Descripción del producto

B. megaterium – 10⁵ es un Inóculo Microbiano, conformado por Cultivo de bacterias de la misma especie presentes en el medio de cultivo Caldo nutritivo en Concentración de 10⁵ cel/ml.

CEPA ATCC 9885

Bacillus megaterium

Lote 116-25-1

vencimiento 31 marzo

2024 Referencia 0116U.

Todas las bacterias del Inóculo, pertenecen a la especie Bacillus megaterium, 100 % cultivo axénico-libre de otros microbios contaminantes, causantes del biodeterioro y/o patógenos, causantes de enfermedades

Usos

B. megaterium – 10⁵ es recomendable para:

-
- Variedad de estructuras, como canales, muros de contención, cimientos, columnas, vigas, tanques y elementos prefabricados.
 - Mejor comportamiento ante ambientes agresivos, con presencia de cloruros, sulfatos, dióxido de carbono y oxígeno.
 - Cuando se busca incrementar la capacidad de resistencia mecánica, es aplicable a cualquier tipo de estructura.
-

Características / Ventajas

B. megaterium – 10⁵ brinda las siguientes propiedades:

-
- Auto reparación de fisuras hasta de un 80% a medida que pasa el tiempo.
 - Incremento de resistencia a la compresión hasta más de un 25% a los 28 días.
 - Resistencias iniciales elevadas que permite un desencofrado rápido.
 - Resistencias finales elevadas.
 - Concreto menos poroso, más durable.
 - Libre de cloruros.
-

Datos básicos

Aspecto: Líquido.

Color: Amarillo claro o amarillo pálido.

Empaque: Envase PET x 1L.

CERTIFICADOS/NORMAS

CEPA ATCC 9885 Certificada por American Type Cellulare Culture

Producida por Microbiologics USA

Información del sistema

Detalles de aplicación

Consumo / Dosis

Se agregará 0.25 litros de inóculo por bolsa de cemento, reemplazando exactamente la misma cantidad de agua retirada; en cuanto a peso y volumen será 1.87 litros de inóculo por metro cúbico. Aunque las dosificaciones puedan variar por diferentes motivos, la cantidad de inóculo se mantendrá constante.

Método de aplicación

La dosificación inicial se ajusta restando la cantidad de agua equivalente al volumen que ocupará el inóculo bacteriano. Este volumen de agua será agregado en un recipiente aparte junto con el inóculo bacteriano, para luego ser mezclado con los demás materiales del concreto.

Instrucciones de seguridad

Primeros auxilios en caso de inhalación: No se requieren medidas específicas de primeros auxilios para esta forma de exposición.

Primeros auxilios en caso de contacto con los ojos: Lavar suavemente con agua abundante durante varios minutos. Si usa lentes de contacto y es fácil de retirar, quitarlos antes de enjuagar. Continuar enjuagando los ojos. Si la irritación persiste, buscar atención médica.

Nota

Los datos técnicos incluidos en esta hoja técnica se basan en pruebas realizadas en laboratorio. Es importante destacar que las mediciones de los datos actuales pueden variar debido a circunstancias que están fuera de nuestro control.

Fuente: Propia

Discusión

En los resultados del ensayo de asentamiento, se puede observar, que la trabajabilidad del concreto disminuye de acuerdo con la incorporación de la bacteria al concreto. La muestra patrón presenta un slump de 4 pulg, a diferencia de las concentraciones de 1×10^5 cel/ml y 1×10^6 cel/ml, que bajan su valor a mayor concentración de bacterias, con slump de 3 y 2.5 pulgadas, respectivamente.

En el estudio [1], se examinó la capacidad de las bacterias para mantenerse viables a altas temperaturas, revelando que las bacterias extraídas del suelo resistieron hasta $90\text{ }^\circ\text{C}$. Además, se registró una temperatura máxima de $70\text{ }^\circ\text{C}$ en el interior del concreto. Teniendo en cuenta que las muestras se tomaron en la ciudad de Chiclayo, la cual presenta variaciones de temperatura entre $16\text{ }^\circ\text{C}$ y $31\text{ }^\circ\text{C}$ según SENAMHI, y considerando la medición de temperatura del concreto que alcanzó un máximo de $22.6\text{ }^\circ\text{C}$ en la concentración de 1×10^6 cel/ml, podemos concluir que las bacterias pueden desenvolverse normalmente en un entorno como el mencionado. Estos hallazgos respaldan la viabilidad y adaptabilidad de las bacterias en condiciones de temperatura habituales en la zona de estudio.

Ahora bien, al analizar las propiedades del concreto en su estado endurecido, se observa que la resistencia a la compresión muestra un crecimiento significativo. En particular, se destaca que para concentraciones bacterianas de 1×10^5 cel/ml y 1×10^6 cel/ml, en diferentes períodos de tiempo (7, 14, 28, 56 y 84 días), la resistencia supera la del concreto patrón.

Es interesante notar que la concentración de 1×10^5 cel/ml muestra un incremento del 29% en su resistencia a los 28 días, superando así a la resistencia de referencia. Este aumento continúa progresando hasta los 84 días, alcanzando aproximadamente un aumento del 70%. Por otro lado, la concentración de 1×10^6 cel/ml presenta un incremento del 60% en su resistencia.

Estos resultados evidencian la influencia positiva de la concentración bacteriana en el desarrollo de la resistencia a la compresión del concreto. Además, se ha encontrado información similar en estudios anteriores. Por ejemplo, en el estudio [1], se observó que los especímenes bacterianos con un 0,5% de fibras de coco presentaron una resistencia mejorada del 38% a los 28 días. En otro estudio [2], se analizó la resistencia a la compresión de los componentes del concreto que incorporaban concentraciones de *Bacillus megaterium* de 1×10^4 cel/ml, 1×10^5 cel/ml y 1×10^6 cel/ml. Se encontró que estas concentraciones resultaron en aumentos del 4.9%, 11.3% y 6.4%, respectivamente, en comparación con la mezcla del concreto convencional. Estos

resultados sugieren que una concentración de 1×10^5 cel/ml es la óptima en términos de resistencia a la compresión.

En cuanto al impacto de *Bacillus megaterium* en el módulo de elasticidad, se observó que el concreto que incorporaba estas bacterias mostraba resultados más altos en comparación con el concreto convencional en todas las etapas de su desarrollo. 258616.63 kg/cm²(patrón), 284565.98 kg/cm²(1×10^5 cel/ml) y 277683.47 kg/cm²(1×10^6 cel/ml), donde [2] menciona sus resultados, 1×10^4 cel/ml, 1×10^5 cel/ml y 1×10^6 cel/ml a los 56 días es de 300816.3 kg/cm², 315092.3 kg/cm² y 330388.1 kg/cm², respectivamente. Esta mejora puede estar asociado con la precipitación de calcita dentro de la matriz del concreto.

Con respecto a la resistencia a la flexión, se observa un aumento significativo en comparación con el concreto patrón. Se obtuvieron valores de 42.76 kg/cm² y 39.04 kg/cm², mientras que el concreto patrón tiene 34.07 kg/cm². La concentración bacteriana de 1×10^5 cel/ml muestra la mejora más destacada, seguida por la concentración de 1×10^6 cel/ml. Estos hallazgos coinciden con los resultados de estudios anteriores [1] y [4], donde también se encontró que la incorporación de las bacterias *Bacillus megaterium* mejora la resistencia a la flexión.

Por otro lado, en el ensayo de tiempo de fraguado, se observó que las dos mezclas con bacterias, 1×10^5 cel/ml y 1×10^6 cel/ml, resultaron ser más secas en comparación con la mezcla de patrón. Esta observación se corrobora con los resultados del ensayo de Slump mencionado en el primer párrafo de la discusión.

Se utilizó una solución de ácido sulfúrico (H₂SO₄) con el fin de evaluar la resistencia del concreto ante los sulfatos. La solución de H₂SO₄ se aplicó a las muestras de concreto para simular condiciones ambientales agresivas que podrían afectar la durabilidad del material. En este caso, se encontró que el concreto 1×10^5 cel/ml obtuvo los mejores resultados, con una expansión máxima del 0.223%. En comparación, el concreto patrón mostró una expansión del 0.280%. [25] En este artículo se demostró que el empleo de zeolita natural junto con bacterias tuvo un impacto significativo en la resistencia del concreto frente a los sulfatos. Específicamente, se utilizó una concentración de 1×10^5 cel/ml de la bacteria *Sporosarcina pasteurii*. Esto sugiere que esta tecnología puede ser una herramienta valiosa para mejorar la durabilidad del concreto en entornos agresivos.

La permeabilidad al agua del concreto es un indicador de su resistencia a la penetración de sustancias dañinas presentes en el entorno. Se ha observado que el coeficiente de permeabilidad del concreto que incorpora bacterias (1×10^5 cel/ml y 1×10^6 cel/ml) es menor que el del concreto convencional sin bacterias (patrón); 32.88 mm, 36.07 mm y 39.78 mm respectivamente. Cabe mencionar que, se mostró información similar en [2] resaltando que, en todas las edades, la mezcla de B5 elaborada con una concentración de bacterias de 10^5 células/ml exhibieron el coeficiente más bajo de permeabilidad al agua.

En la evaluación económica de una losa maciza, se ha determinado que para la elaboración de concreto convencional, el costo es de S/. 364.04 por metro cúbico, mientras que el concreto bacteriano presenta un precio de S/. 404.07 por metro cúbico.

En el proceso de curado, el costo es de S/. 1.76 por metro cuadrado, mientras que para el concreto bacteriano asciende a S/. 3.86 por metro cuadrado debido a la necesidad de añadir cal y urea en la mezcla.

En lo referente al mantenimiento de fisuras, el costo para el concreto convencional es de S/ 50.64 por metro lineal, comparado con los S/ 10.13 por metro lineal del concreto bacteriano. Estos costos de mantenimiento de fisuras son esenciales al realizar un análisis integral de los gastos asociados.

En consecuencia, al integrar los costos totales y considerar los diversos aspectos económicos mencionados, recalca la ironía de que el concreto bacteriano, a pesar de tener un precio inicial algo superior, resulta más económico en comparación con el concreto convencional. El presupuesto general del concreto bacteriano es de S/. 135.32 por metro cuadrado, mientras que el del concreto convencional alcanza los S/. 327.78 por metro cuadrado. Esta discrepancia resalta la capacidad del concreto bacteriano para generar ahorros significativos a largo plazo, principalmente debido a los menores costos asociados al mantenimiento de fisuras.

En cuanto al control de fisuras y evaluación del sellado, en el concreto patrón se observó un incremento gradual en la apertura de las fisuras a lo largo de los controles. En el control B-B, la apertura aumentó de 0.55 mm a 0.65 mm, mientras que en el control C-C pasó de 0.60 mm a 0.70 mm. Solo el control A-A logró mantenerse con una apertura de 0.35 mm. Estos resultados indican que las fisuras con aperturas superiores a medio milímetro tienden a aumentar con el tiempo.

En cuanto a los controles con una concentración de 10^5 cel/ml de bacterias, se logró un sellado de hasta el 87.5% en fisuras de 0.40 mm y 0.20 mm. Sin embargo, en fisuras con una

apertura de 0.55 mm, solo se logró un cierre del 9.09%. Por otro lado, en los controles con una concentración de 10^6 cel/ml, los resultados fueron menos satisfactorios, alcanzando un máximo de cierre del 9.76%. Esto también estuvo influenciado por las fisuras más anchas, que pasaron de 2.05 mm a 1.85 mm. En conclusión, se puede afirmar que a medida que las fisuras son más grandes, el proceso de sellado es más lento y menos efectivo. Sin embargo, el cierre de fisuras menores a 0.40 mm garantiza una menor porosidad en la microestructura del concreto bacteriano con *Bacillus megaterium*, lo que lo hace más resistente mecánicamente y duradero en el tiempo.

Se ha observado que las bacterias *Bacillus megaterium* poseen la capacidad de formar biofilms y generar carbonato de calcio, lo que les permite sellar fisuras y grietas presentes en el concreto. Estos biofilms actúan como agentes curativos, estimulando la formación de nuevos materiales de calcificación que rellenan los espacios vacíos y restauran la integridad estructural del concreto.

Sin embargo, es importante destacar que se requiere de más investigación y pruebas para comprender completamente los mecanismos involucrados en la interacción entre las bacterias y el concreto, así como para evaluar su efecto a largo plazo en diferentes condiciones ambientales. No obstante, los resultados obtenidos hasta ahora son alentadores y abren nuevas posibilidades para la mejora de los materiales de construcción a través de la biotecnología.

Conclusiones

El desarrollo de un bio-concreto con bacterias *Bacillus megaterium* ha demostrado ser una solución altamente efectiva para mejorar la capacidad de autosellado del concreto con resistencia $f'c=210$ kg/cm². La incorporación de estas bacterias ha logrado un impresionante incremento del 80% en la capacidad de autocuración, lo que resulta en una mayor durabilidad y menor necesidad de mantenimiento en las estructuras de concreto.

Se ha logrado desarrollar un diseño de mezcla exitoso para el concreto experimental con concentraciones de 1×10^5 cel/ml y 1×10^6 cel/ml de bacterias. Estos diseños han demostrado ser altamente efectivos en la mejora de las propiedades del concreto, incluyendo su resistencia y durabilidad. La incorporación de una concentración de 1×10^5 cel/ml de bacterias ha demostrado resultados prometedores, con mejoras significativas en la resistencia y una mayor capacidad de autocuración del concreto.

La incorporación de bacterias *Bacillus megaterium* con concentración de 1×10^5 cel/ml ha demostrado tener un impacto positivo en la resistencia a la compresión del concreto. Se observó un aumento del 5.9% a los 7 días en comparación con el patrón, un incremento del 16% a los 14 días, un aumento del 29.3% a los 28 días, un incremento del 39.3% a los 56 días y, finalmente, un notable aumento del 74.5% a los 84 días, con un valor promedio impresionante de 367 Kg/cm². Estos resultados indican que la presencia de *Bacillus megaterium* contribuye significativamente a mejorar la resistencia del concreto a lo largo del tiempo.

Con respecto a la resistencia a flexión, se observó una mejora de hasta un 22% en el concreto bacteriano a los 28 días. El valor promedio de resistencia a flexión del concreto bacteriano con una concentración de 1×10^5 cel/ml fue de 42.76 Kg/cm², en comparación con los 34.97 Kg/cm² del concreto patrón. Los estudios y pruebas realizadas han revelado que la presencia de estas bacterias en el concreto promueve la formación de productos de calcificación, lo cual fortalece la matriz del material y mejora sus propiedades mecánicas.

El análisis económico revela que el concreto bacteriano exhibe un costo total de S/. 135.32, en comparación con los S/. 327.78 del concreto convencional. Aunque su precio inicial es ligeramente superior, el concreto bacteriano demuestra ser una inversión más rentable a largo plazo gracias a los menores costos asociados al mantenimiento de fisuras. En virtud de estas

consideraciones, queda claro que la elección del concreto bacteriano no solo aporta ventajas económicas sino también beneficios técnicos significativos para proyectos de construcción.

La hipótesis de que la incorporación de bacterias *Bacillus megaterium* mejora la capacidad autorreparable del concreto convencional $f'c$ 210 kg/cm² ha sido confirmada de manera positiva. La adición de estas bacterias ha demostrado una mejora significativa en la capacidad de autocuración del concreto, permitiendo la reparación de fisuras y restaurando la integridad estructural del material. Esto proporciona una mayor durabilidad y reduce la necesidad de costosas reparaciones, lo que respalda la eficacia de las bacterias *Bacillus megaterium* en la mejora de la capacidad autorreparable del concreto convencional.

Recomendaciones

Implementar la incorporación de bacterias *Bacillus megaterium* en el concreto convencional con una concentración adecuada, como 1×10^5 cel/ml, para mejorar su capacidad autorreparable.

Monitorear y evaluar continuamente la eficacia del concreto autorreparable con bacterias *Bacillus megaterium* a lo largo del tiempo, mediante inspecciones periódicas y pruebas de desempeño. Esto permitirá identificar cualquier necesidad de ajuste en la concentración de bacterias o en el diseño de mezcla, y optimizar así la capacidad autorreparable del concreto.

Se recomienda llevar a cabo estudios adicionales que incorporen diversas técnicas de análisis. Por ejemplo, se pueden realizar análisis de imágenes SEM (Microscopía Electrónica de Barrido) para examinar la microestructura y morfología del concreto. Estas imágenes brindarán información detallada sobre cómo las bacterias interactúan con los componentes del concreto, permitiendo una mejor comprensión de los mecanismos de autocuración y los cambios en la estructura interna del material.

Al seguir estas recomendaciones en futuras investigaciones, se podrá avanzar en el conocimiento y la aplicación de las bacterias *Bacillus megaterium* en el campo de la mejora de la capacidad autorreparable del concreto.

Referencias

- [1] S. Prabhath Ranjan Kumar, R. Vighnesh, G. Karthikeyan, y S. Maiyuri, “Self healing of microcracks in linings of irrigation canal using coir fibre reinforced bio-concrete”, *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, vol. 8, núm. 11, pp. 3275–3280, sep. 2019, doi: 10.35940/ijitee.K2534.0981119.
- [2] M. P. Smitha, D. Suji, M. Shanthi, y A. Adesina, “Application of bacterial biomass in biocementation process to enhance the mechanical and durability properties of concrete”, *Cleaner Materials*, vol. 3, mar. 2022, doi: 10.1016/j.clema.2022.100050.
- [3] V. Nagarajan, T. Karthik Prabhu, M. Gowri Shankar, y P. Jagadesh, “A Study on the Strength of the Bacterial Concrete Embedded with Bacillus Megaterium”, *International Research Journal of Engineering and Technology*, vol. 04, núm. 12, 2017, [En línea]. Disponible en: www.irjet.net
- [4] A. K. Parashar y A. Gupta, “Experimental study of the effect of bacillus megaterium bacteria on cement concrete”, *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 1116, núm. 1, p. 012168, abr. 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1116/1/012168.
- [5] M. Alazhari, T. Sharma, A. Heath, R. Cooper, y K. Paine, “Application of expanded perlite encapsulated bacteria and growth media for self-healing concrete”, *Constr Build Mater*, vol. 160, pp. 610–619, ene. 2018, doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2017.11.086.
- [6] S. Basha *et al.*, “Subsurface endospore-forming bacteria possess bio-sealant properties”, *Sci Rep*, vol. 8, núm. 1, dic. 2018, doi: 10.1038/s41598-018-24730-3.
- [7] A. N. Ruiz Humareda y E. P. Valverde Tapia, “Incorporación de bacterias Bacillus Subtilis para mejorar la capacidad autorreparable del concreto $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, Lima – 2020”, Universidad Cesar Vallejo, Lima, 2020. Consultado: el 13 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/65432>
- [8] Mx arq, “Bioconcreto, el concreto que se auto-repara - Noticias de Arquitectura”, *Buscador de Arquitectura*, 2015. Consultado: el 5 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://noticias.arq.com.mx/Detalles/20001.html#.YqxQx6KZM2p>
- [9] N. Giraldo Mora, “Autorreparación de fisuras en concreto rígido para pavimentos mediante la adición de bacterias bioprecipitadoras de carbonato de calcio - estado del arte y diseño experimental”, Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2017. Consultado: el 5 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/60199>

- [10] C. Ponce de León, S. Huamani, y E. Sánchez, “Los beneficios del uso de bacterias en el concreto autorregenerante”, *ASOCIACIONES PUCP*, pp. 36–38, 2015. Consultado: el 5 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.chilecubica.com/materiales-de-construccion/bio-concreto/>
- [11] O. E. Daza-Sánchez y F. Guarnizo-Trujillo, “Revisión bibliográfica entre el concreto auto reparable y el concreto convencional”, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, 2021. Consultado: el 6 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/25914>
- [12] *NTP 400.012 “AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global”*. Perú, 2013.
- [13] *NTP 339.185 “AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado”*. Perú, 2013.
- [14] *NTP 400.017 “AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (Peso Unitario) y los vacíos en los agregados”*. Perú, 2011.
- [15] *NTP 400.021 “AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (Peso Específico) y absorción del agregado grueso”*. Perú, 2013. [En línea]. Disponible en: www.inacal.gob.pe
- [16] *NTP 339.035 “CONCRETO. Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland”*. Perú, 2009.
- [17] *NTP 339.082 “CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación del tiempo de fraguado de mezclas por medio de la resistencia a la penetración”*. Perú, 2011.
- [18] *NTP 339.033: Concreto. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en campo*. 2015.
- [19] *NTP 339.034 “CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas”*. Perú, 2015.
- [20] *NTP 339.078 “CONCRETO. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo”*. Perú, 2012.
- [21] *ASTM C 469: Concreto. Método Estándar de Ensayo para módulo de elasticidad estático y relación de poisson del concreto en compresión*. 1995.
- [22] *UNE-EN 12390-8 Profundidad de penetración de agua bajo presión*. 2009. [En línea]. Disponible en: www.aenor.es

- [23] NTP 334.094: CEMENTOS. Método normalizado para determinar el cambio de longitud en morteros de cemento Portland expuestos a soluciones sulfatadas. 2017.
- [24] M. A. Galicia Pérez y M. A. Velásquez Curo, “Análisis comparativo de la resistencia a la compresión de un concreto adicionado con ceniza de rastrojo de maíz elaborado con agregados de la canteras de Cunyac y Vicho con respecto a un concreto patrón de calidad $f'c=210$ KG/CM2.”, Cusco, Perú, 2016. Consultado: el 6 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/348>
- [25] J. N. Akhtar, R. A. Khan, R. A. Khan, M. N. Akhtar, y J. K. Nejem, “Influence of Natural Zeolite and Mineral additive on Bacterial Self-healing Concrete: A Review”, *Civil Engineering Journal (Iran)*, vol. 8, núm. 5. Salehan Institute of Higher Education, pp. 1069–1085, el 1 de mayo de 2022. doi: 10.28991/CEJ-2022-08-05-015.

Anexos

Anexo 1: Informe del ensayo de contenido de humedad del agregado fino de la cantera La Victoria - Pátapo.



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



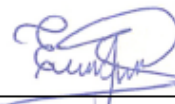
Tesista : Oblitas Benavides José Efrén
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Mejoramiento de la capacidad autorreparable del concreto f'c 210 kg/cm² con la incorporación de bacterias Bacillus Megaterium
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 14 de Septiembre del 2022

ENSAYO : Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado
REFERENCIA : NORMA N.T.P. 339.185 - 2002

Muestra : Agregado Fino
Cantera : La Victoria - Pátapo

Número de determinación		I
Código de tara		T-1
Peso muestra húmeda + peso de tara	g.	585.8
Peso muestra seca + peso de tara	g.	577.0
Peso de agua	g.	8.8
Peso de tara	g.	85.8
Peso neto muestra seca	g.	491.2
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	1.79





Tesista

Anexo 2: Informe del análisis granulométrico del agregado fino de la cantera La Victoria-Pátapo.



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

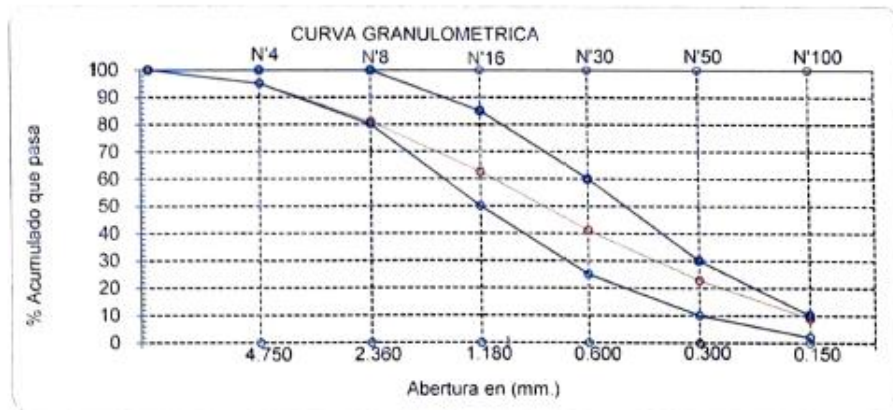


Tesista : Oblitas Benavides José Efrén
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Mejoramiento de la capacidad autorreparable del concreto f_c 210 kg/cm² con la incorporación de bacterias *Bacillus Megaterium*
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 14 de Septiembre del 2022

Ensayo : Análisis granulométrico por tamizado del agregado fino
Referencia : Norma ASTM C-136 ó N.T.P. 400.012

Muestra : Agregado Fino **P. Inicial H.** 500 **% de**
Cantera : La Victoria - Pátapo **P. Inicial S.** 491 **Humedad =** 1.79

Malla		Peso Ret.	(% Ret.)	(% Acum. Ret.)	(% Acum. Que Pasa)	Especificaciones:	
Pulg.	(mm.)						
1/2"	12.700	0	0.0	0.0	100.0	100	100
3/8"	9.500	0	0.0	0.0	100.0	100	100
Nº 04	4.750	23.5	4.8	4.8	95.2	95	100
Nº 08	2.360	69.8	14.2	19.0	81.0	80	100
Nº 16	1.180	90.6	18.4	37.4	62.6	50	85
Nº 30	0.600	105.6	21.5	58.9	41.1	25	60
Nº 50	0.300	89.4	18.2	77.1	22.9	10	30
Nº 100	0.150	68.7	14.0	91.1	8.9	2	10
Fondo		43.6	8.9	100.0	0.0		
Módulo de Fineza				2.884			
Abertura de malla de referencia				9.500			



[Handwritten Signature]
Tesisista

Anexo 3: Informe del ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado fino de la cantera La Victoria-Pátapo.



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Oblitas Benavides José Efrén
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Mejoramiento de la capacidad autorreparable del concreto f_c 210 kg/cm² con la incorporación de bacterias Bacillus Megaterium
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 14 de Septiembre del 2022

ENSAYO : AGREGADO. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado
REFERENCIA : Norma ASTM C-29 ó N.T.P. 400.017

Muestra : Agregado Fino
Cantera : La Victoria - Pátapo

PESO UNITARIO SUELTO

Molde de ensayo		
Número de determinación		A
Peso de molde de ensayo vacío + peso muestra contenida	g	19201.5
Peso de molde de ensayo vacío	g	10729
Peso neto muestra contenida	g	8472.5
Volumen del molde de ensayo	m ³	0.00544
Peso unitario suelto húmedo	kg/m ³	1556
Peso unitario suelto seco	kg/m ³	1529

PESO UNITARIO COMPACTADO

Molde de ensayo		
Número de determinación		A
Peso de molde de ensayo vacío + peso muestra húmeda	g	20449
Peso de molde de ensayo vacío	g	10729
Peso neto muestra contenida	g	9720
Volumen del molde de ensayo	m ³	0.00544
Peso unitario compactado húmedo	kg/m ³	1786
Peso unitario compactado seco	kg/m ³	1754





Tesista

Anexo 4: Informe del ensayo de peso específico y absorción del agregado fino de la cantera La Victoria-Pátapo.



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Oblitas Benavides José Efrén
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Mejoramiento de la capacidad autorreparable del concreto f'c 210 kg/cm² con la incorporación de bacterias Bacillus Megaterium
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 14 de Septiembre del 2022

ENSAYO AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino.
REFERENCIA : NTP 400.022

Muestra : Agregado Fino
Cantera : La Victoria - Pátapo

A.- Datos de la arena

1.- Peso de la Muest. Sat. Sup. Seca	g	500.0
2.- Peso de la Muest. Sat. Sup. Seca + Peso frasco + Peso del agua.	g	973.0
3.- Peso de la Muest. Sat. Sup. Seca + Peso del frasco.	g	659.5
4.- Peso del Agua.	g	313.5
5.- Peso del Frasco	g	159.5
6.- Peso de la Muest. secada ahorno + Peso del frasco.	g	655.1
7.- Peso de la Muest. seca en el horno.	g	495.6
8.- Volumen del frasco.	cm ³	500.0

B.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE LA ARENA.	g/cm ³	2.657
B.- PESO ESPECIFICO DE LA MASA S.S.S.	g/cm ³	2.681
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	g/cm ³	2.722
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN.	%	0.89





Tesista

Anexo 5: Informe del ensayo de contenido de humedad del agregado grueso de la cantera
Tres Tomas-Ferreñafe



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Oblitas Benavides José Efrén
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Mejoramiento de la capacidad autorreparable del concreto f_c 210 kg/cm² con la incorporación de bacterias Bacillus Megaterium
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque
Fecha de emisión : Chiclayo, 14 de Septiembre del 2022

ENSAYO : Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado
REFERENCIA : NORMA N.T.P. 339.185 - 2002

Muestra : Agregado Grueso
Cantera : Tres Tomas - Ferreñafe

Número de determinación		1
Código de tara		T-1
Peso muestra húmeda + peso de tara	g.	1084.8
Peso muestra seca + peso de tara	g.	1080.9
Peso de agua	g.	3.9
Peso de tara	g.	93.8
Peso neto muestra seca	g.	987.1
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	0.40





Tesista

Anexo 6: Informe del análisis granulométrico del agregado grueso de la cantera Tres Tomas - Ferreñafe.



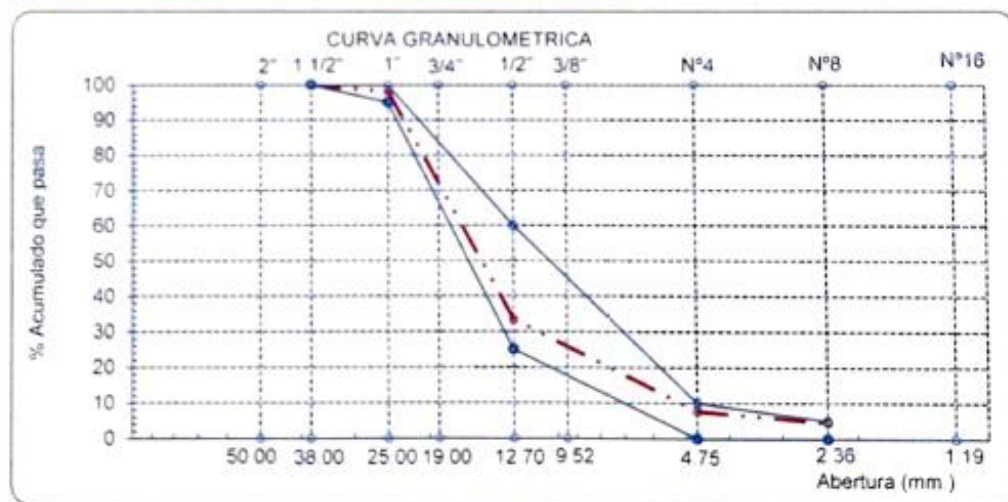
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Oblitas Benavides José Efrén
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Mejoramiento de la capacidad autorreparable del concreto $f'c$ 210 kg/cm² con la incorporación de bacterias Bacillus Megaterium
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 14 de Septiembre del 2022

Muestra : Agregado Grueso **P. Inicial H.** 13981.2 **% de**
Cantera : Tres Tomas - Ferreñafe **P. Inicial S.** 13926 **Humedad =** 0.40

Malla	Pulg.	(mm.)	(% Ret.)	(% Acum. Ret.)	(% Acum. Que Pasa)	Especificaciones USO 57	
2"		50.00	0.0	0.0	100.0		
1 1/2"		38.00	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1"		25.00	1.8	1.8	98.2	95.0	100.0
3/4"		19.00	19.1	20.9	79.1		
1/2"		12.70	45.7	66.7	33.3	25.0	60.0
3/8"		9.52	11.5	78.2	21.8		
N° 04		4.75	14.1	92.3	7.7	0.0	10.0
N° 08		2.36	3.2	95.5	4.5	0.0	5.0
N° 16		1.19	0.1	95.5	4.5		
Fondo			4.5	99.9	0.1		
Tamaño Máximo			1"	25.00			
Tamaño Máximo Nominal			3/4"	19.00			




Tesisista

Anexo 7: Informe del ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado grueso de la cantera Tres Tomas-Ferreñafe.



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Oblitas Benavides José Efrén
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Mejoramiento de la capacidad autorreparable del concreto f'c 210 kg/cm² con la incorporación de bacterias Bacillus Megaterium
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 14 de Septiembre del 2022

ENSAYO : AGREGADO. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado
REFERENCIA : Norma ASTM C-29 ó N.T.P. 400.017

Muestra : Agregado Grueso
Cantera : Tres Tomas - Ferreñafe

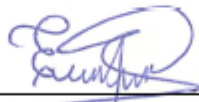
PESO UNITARIO SUELTO

Molde de ensayo		
Número de determinación		A
Peso de molde de ensayo vacío + peso muestra contenida	g	18163.0
Peso de molde de ensayo vacío	g	10729
Peso neto muestra contenida	g	7434.0
Volumen del molde de ensayo	m ³	0.00544
Peso unitario suelto húmedo	kg/m ³	1366
Peso unitario suelto seco	kg/m ³	1360

PESO UNITARIO COMPACTADO

Molde de ensayo		
Número de determinación		A
Peso de molde de ensayo vacío + peso muestra húmeda	g	19341.5
Peso de molde de ensayo vacío	g	10729
Peso neto muestra contenida	g	8612.5
Volumen del molde de ensayo	m ³	0.00544
Peso unitario compactado húmedo	kg/m ³	1582
Peso unitario compactado seco	kg/m ³	1576




Tesisista

Anexo 8: Informe del ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso de la cantera Tres Tomas-Ferreñafe.



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Oblitas Benavides José Efrén
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Mejoramiento de la capacidad autorreparable del concreto f_c 210 kg/cm² con la incorporación de bacterias Bacillus Megaterium
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 14 de Septiembre del 2022

ENSAYO : AGREGADOS Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso.
REFERENCIA : NTP 400.022

Muestra : Agregado Grueso
Cantera : Tres Tomas - Ferreñafe

A.- Datos de la Grava

1.- Peso de la muestra seca al horno	kg	1485
2.- Peso de la muestra saturada superficialmente seca	kg	1500
3.- peso de la muestra saturada dentro del agua + peso de la canastilla	kg	1669
4.- Peso de la canastilla	kg	734
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	kg	935

B.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE LA GRAVA.	g/cm ³	2.628
B.- PESO ESPECIFICO DE LA MASA S.S.S.	g/cm ³	2.655
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	g/cm ³	2.700
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN.	%	1.01





Tesista

Anexo 9: Informe del ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días de edad de concreto patron, concreto con concentración bacteriana de 10^5 cel/ml y concreto con concentración bacteriana de 10^6 cel/ml.



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Oblitas Benavides José Efrén
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Mejoramiento de la capacidad autorreparable del concreto f_c 210 kg/cm² con la incorporación de bacterias Bacillus Megaterium
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 18 de Noviembre del 2022
Ensayo : Resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas
Referencia : Norma N.T.P. 339.034

IDENTIFICACIÓN	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ENSAYO	DÍAS	DIÁMETRO (d) (cm)	CARGA (P) (kg)	f_c (kg/cm ²)	f_c Promedio	PORCENTAJE DE f_c DE DISEÑO (%)
CONCRETO PATRON 210 kg/cm ²	11/11/22	18/11/22	7	15	29090	165	161.67	76.99
CONCRETO PATRON 210 kg/cm ²	11/11/22	18/11/22	7	15	28050	159		
Bacteria 10^5	11/11/22	18/11/22	7	15	30390	172	174.09	82.90
Bacteria 10^5	11/11/22	18/11/22	7	15	31140	176		
Bacteria 10^6	11/11/22	18/11/22	7	15	30990	175	174.60	83.14
Bacteria 10^6	11/11/22	18/11/22	7	15	30720	174		





Tesista

Anexo 10: Diseño final de mezclas por el método del Comité 211-ACI

1. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

AGREGADO FINO

PÁTAPO; LA
CANTERA: VICTORIA

Peso específico de masa:	2.681	g/cm ³
Peso unitario suelto seco:	1529	Kg/m ³
Peso unitario seco compactado:	1754	Kg/m ³
Porcentaje de humedad:	1.79	%
Porcentaje de absorción:	0.89	%
Módulo de fineza:	2.88	

AGREGADO GRUESO

CANTERA: TRES TOMAS - FERREÑAFE

Peso específico de masa:	2.655	g/cm ³
Peso unitario suelto seco:	1360	Kg/m ³
Peso unitario seco compactado:	1576	Kg/m ³
Porcentaje de humedad:	0.40	%
Porcentaje de absorción:	1.01	%
Tamaño máximo	1	"
Tamaño máximo nominal	3/4	"

CEMENTO

Peso específico:	3110	Kg/cm ³
------------------	------	--------------------

AGUA

Agua potable de la red pública de la ciudad de Chiclayo

RESISTENCIA DE DISEÑO:

210 Kgf/cm²

2. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO

f_c = 210 Kgf/cm²

f _c	f _{cr}
<210	f _c + 70
210 - 350	f _c + 84
>350	f _c + 98

f_{cr} = 294 Kgf/cm²

3. ELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO:

slump = 3" - 4"

4. CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO:

2 %

TMN: 3/4 "

Sin exposición

TAMAÑO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO	AIRE ATRAPADO %
------------------------------------	-----------------

Con exposición

TMN A. GRUESO	CONTENIDO DE AIRE TOTAL (%)
---------------	-----------------------------

3/8	9.50	3.0
1/2	12.50	2.5
3/4	19.00	2.0
1	25.00	1.5
1 1/2	37.50	1.0
2	50.00	0.5
3	75.00	0.3
6	150.00	0.2

	E. SUAVE	E. MODERADA	E. SEVERA
3/8	4.5	6.00	7.5
1/2	4.00	5.5	7.00
3/4	3.5	5.00	6.5
1	3.00	4.5	6.00
1 1/2	2.5	4.5	5.5
2	2.00	4.00	5.00
3	1.5	3.5	4.5
6	1.00	3.00	4.00

5. VOLUMEN UNITARIO DE AGUA:

205 Lt/m³

ASENTAMIENTO	TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADO GRUESO							
	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	197	184	174	166	154	-

6. RELACIÓN AGUA CEMENTO:

f'cr	a/c
280	0.57
294	X
300	0.55

$$X = 0.57 + [(0.55 - 0.57) / (300 - 280)] * (294 - 280)$$

$$X = 0.556$$

7. FACTOR CEMENTO:

$$FC = \frac{\text{Volumen unitario de agua}}{\text{relación a/c}} = \frac{205}{0.556} = 368.71 \text{ Kg/m}^3$$

$$FC = 368.71 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{bls de cemento} = \frac{368.71 \text{ Kg/m}^3}{42.5 \text{ Kg/bls}} = 8.7 \text{ bls por m}^3 \text{ de concreto}$$

8. CONTENIDO DEL AGREGADO GRUESO:

Módulo de fineza del agregado fino: 2.88 % TMN: 3/4 "

TMN A. GRUESO	MODULO DE FINURA DEL AGREGADO GRUESO			
	2.4	2.6	2.8	3
3/8	0.5	0.48	0.46	0.44
1/2	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4	0.66	0.64	0.62	0.6
1	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2	0.76	0.74	0.72	0.7
2	0.78	0.76	0.74	0.72
3	0.81	0.79	0.77	0.75
6	0.87	0.85	0.83	0.81

MF	b/bo
----	------

2.8	0.62
2.88	X
3	0.6

$$X = 0.62 + [(0.6 - 0.62) / (3 - 2.8)] * (2.884 - 2.8)$$

$$b/b_o = 0.6116$$

Peso seco del agregado grueso =

b/b _o		PUSC
0.6116	X	1576

= 963.882 Kg/m³

9. CÁLCULO DE VOLÚMENES ABSOLUTOS:

Cemento:	368.71 / 3110 =	0.119	m ³
Agua:	205 / 1000 =	0.205	m ³
Aire		0.02	m ³
Agregado grueso:	963.88 / (2.655 * 1000) =	0.363	m ³
		0.707	m³

10. CONTENIDO DE AGREGADO FINO:

$$AF = 1 - 0.707 = 0.293 \text{ m}^3$$

Peso del agregado fino seco = 0.293 * (2.681 * 1000) = 786.61 Kg/m³

11. VALORES DE DISEÑO: CONDICIONES SECAS.

Cemento:	368.71 Kg/m ³
Agua:	205 Lt/m ³
Agregado fino:	786.61 Kg/m ³
Agregado grueso:	963.882 Kg/m ³

12. CORRECCIÓN POR HUMEDAD DEL AGREGADO:

$$PH = PS * (1 + \%H)$$

PHAF =	786.61 * (1 + 1.79 %) =	800.689	Kg/m ³
PHAG =	963.88 * (1 + 0.4 %) =	967.737	Kg/m ³

13. APORTE DE HUMEDAD DEL AGREGADO:

$$AP = PS * (\%H - \% A)$$

APAF =	786.61 * (1.79 % - 0.89 %) =	7.079	Lt/m ³
APAG =	963.88 * (0.4 % - 1.01 %) =	-5.880	Lt/m ³
Aporte total (APT):			<u>1.200</u> Lt/m ³

Añade agua a la mezcla

14. AGUA EFECTIVA:

$$AE = AD - (APT)$$

AE =	205 - (1.2) =	203.800	Lt/m ³
------	---------------	---------	-------------------

15. CONDICIONES HÚMEDAS:

Cemento:	368.71	Kg/m ³
Agua:	203.800	Lt/m ³
Agregado fino húmedo:	800.689	Kg/m ³
Agregado grueso húmedo:	967.737	Kg/m ³

Resumen:***VALORES DE DISEÑO:
CONDICIONES SECAS***

Cemento:	368.71	Kg/m ³	α/c
Agua:	205.00	Lt/m ³	0.556
Agregado fino seco:	786.61	Kg/m ³	
Agregado grueso seco:	963.88	Kg/m ³	
Peso unitario:	<u>2324</u>	Kg/m ³	

VALORES DE DISEÑO: CONDICIONES HÚMEDAS

Cemento:	368.71	Kg/m ³	α/c
Agua:	203.80	Lt/m ³	0.553
Agregado fino húmedo:	800.69	Kg/m ³	
Agregado grueso húmedo:	967.74	Kg/m ³	
Peso unitario:	<u>2341</u>	Kg/m ³	

16. PROPORCIONES EN PESO**Sin corregir (peso seco):**

C	:	AF	:	AG	/	Agua	
<u>369</u>	:	<u>787</u>	:	<u>964</u>			
369		369		369			
1	:	2.13	:	2.61	/	23.6	Lt/bolsa

Corregida por humedad:

C	:	AF	:	AG	/	Agua	
<u>369</u>	:	<u>801</u>	:	<u>968</u>			
369		369		369			
1	:	2.17	:	2.62	/	23.5	Lt/bolsa

17. MATERIALES POR TANDA DE UNA BOLSA

Cemento:	42.5	Kg/bls
Agua:	23.5	Lt/bls
Agregado fino húmedo:	92.29	Kg/bls
Agregado grueso húmedo:	<u>111.55</u>	Kg/bls
Peso por tanda:	269.8	Kg/bls

18. AJUSTE DE PROPORCIONES

a) VALORES DE DISEÑO: CONDICIONES SECAS

Cemento:	368.71	Kg/m ³
Agua:	205.00	Lt/m ³
Agregado fino:	786.61	Kg/m ³
Agregado grueso:	963.88	Kg/m ³

b) Relación a/c = 0.556

c) Volúmenes iniciales

Cemento:	0.119	m ³
Agua:	0.205	m ³
Agregado fino:	0.293	m ³
Agregado grueso:	0.363	m ³

d) Nuevos pesos

Asentamiento de diseño: 3-4 " 4 "

Asentamiento obtenido: 5.5 "

sobra = 1.5 "

Quitar = 7.5 Lt de agua

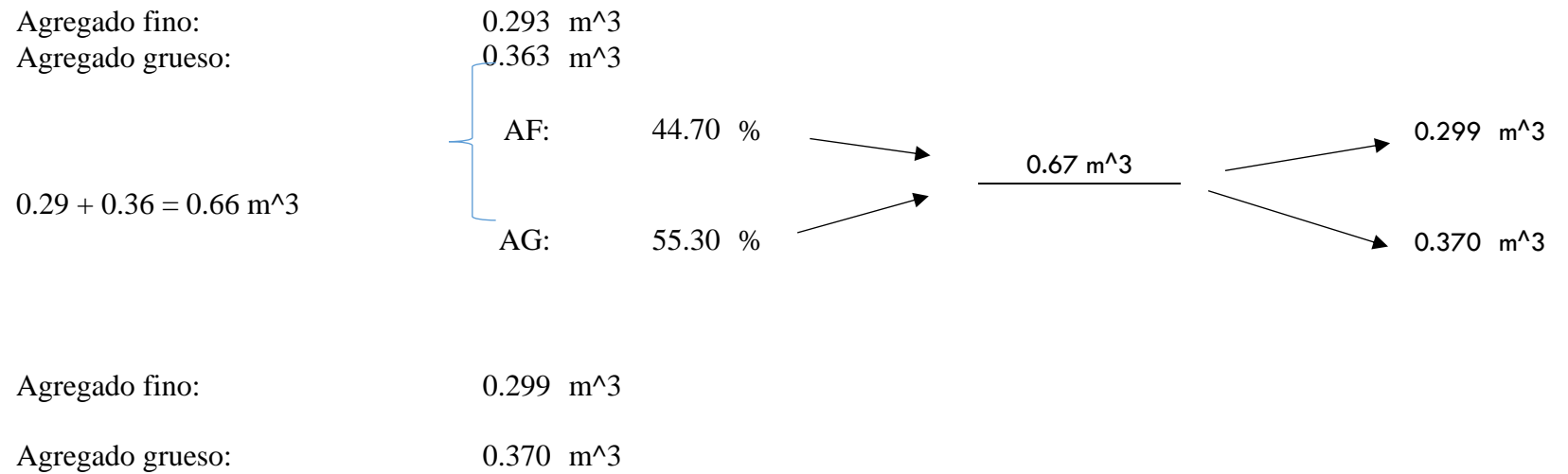
<u>Agua:</u>	205	-	7.5	=	197.50	Lt
<u>Cemento</u>	197.5	/	0.556	=	355.22	Kg

Relación a/c = **0.556** Se mantiene

e) Volúmenes corregidos

Cemento:	0.114	m ³
Agua:	0.1975	m ³
Contenido de aire:	0.020	m ³
	<hr/>	
	0.332	m ³
 Volumen total del agregado:	 0.668	 m³

Volúmenes originales:



f) Condiciones secas

Cemento:	355.22 Kg	=	8.4 bolsas/m ³
Agua:	197.50 Lt		
Agregado fino:	800.794 Kg/m ³		
Agregado grueso:	981.263 Kg/m ⁴		

g) CORRECCIÓN POR HUMEDAD DEL AGREGADO:

$$PH = PS * (1 + \%H)$$

PHAF =	800.79 * (1 + 1.79 %) =	815.128 Kg/m ³
PHAG =	981.26 * (1 + 0.4 %) =	985.188 Kg/m ⁴

h) APORTE DE HUMEDAD DE LOS AGREGADO

$$AP = PS * (\%H - \% A)$$

APAF =	800.79 * (1.79 % - 0.89 %) =	7.207 Lt
APAG =	981.26 * (0.4 % - 1.01 %) =	-5.986 Lt
Aporte total (APT):		<u>1.221 Lt</u>

añade agua a la mezcla

i) AGUA EFECTIVA

$$AE = AD - (APT)$$

$$AE = 197.5 - (1.221) = 196.279 \text{ Lt}$$

j) CONDICIONES HÚMEDAS:

Cemento:	355.22 Kg
Agua:	196.279 Lt
Agregado fino húmedo:	815.128 Kg/m ³
Agregado grueso húmedo:	985.188 Kg/m ³

k) Resumen:***VALORES DE DISEÑO:
CONDICIONES SECAS***

Cemento:	355.22	Kg	α/c 0.556
Agua:	197.50	Lt	
Agregado fino seco:	800.79	Kg/m ³	
Agregado grueso seco:	981.26	Kg/m ³	
Peso unitario:	<u>2335</u>	Kg/m ³	

VALORES DE DISEÑO: CONDICIONES HÚMEDAS

Cemento:	355.22	Kg	α/c 0.553
Agua:	196.28	Lt	
Agregado fino húmedo:	815.13	Kg/m ³	
Agregado grueso húmedo:	985.19	Kg/m ³	
Peso unitario:	<u>2352</u>	Kg/m ³	

1) PROPORCIONES EN PESO

Sin corregir (peso seco):

C	:	AF	:	AG	/	Agua	
<u>355</u>	:	<u>801</u>	:	<u>981</u>			
355		355		355			
1	:	2.25	:	2.76	/	23.6	Lt/bolsa

Corregida por humedad:

C	:	AF	:	AG	/	Agua	
<u>355</u>	:	<u>815</u>	:	<u>985</u>			
355		355		355			
1	:	2.29	:	2.77	/	23.5	Lt/bolsa

m) MATERIALES POR TANDA DE UNA BOLSA

Cemento:	42.5	Kg/bls
Agua:	23.5	Lt/bls
Agregado fino húmedo:	97.53	Kg/bls
Agregado grueso húmedo:	<u>117.9</u>	Kg/bls
Peso por tanda:	281.4	Kg/bls

Anexo 11: Ficha Técnica de Bacteria - Empresa de Laboratorios Gen Lab.



Jr. Cápac Yupanqui N° 2434 Lince – Lima 14 Perú
 ☎: 203-7500 Telefax: (51-1) 203-7501
 e-mail: ventas@genlabperu.com
www.genlabperu.com



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS



Estándar de Referencia Microbiológico Cualitativo KWIK-STIK™	
KWIK-STIK™ son estándares microbiológicos (cepas) cualitativas derivadas de la ATCC.	
PRESENTACIÓN	Tambor de 2 dispositivos: Cada dispositivo contiene: 1 pellet liofilizado + 1 hisopo inoculador + 1 ampolla con fluido hidratante.
MARCA	Microbiologics®
PROCEDENCIA	EE.UU.
CARACTERÍSTICAS	
	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño "todo en uno" reduce contaminación. • Microorganismo liofilizado (pellet) de disolución instantánea. • Microorganismo liofilizado de tercer pasaje. • Amplia variedad de microorganismos disponibles. • Etiqueta de identificación despegable en cada dispositivo. • Para aseguramiento de la calidad, validación de técnicas y control de calidad en investigación. • Almacenamiento en refrigeración (de 2-8°C). • Fecha de vencimiento no menor de 6 meses. • Fabricante en cumplimiento con: <ul style="list-style-type: none"> ○ ISO 13485. ○ ISO/IEC 17025. ○ ISO 17034. ○ FDA (Establecimiento Registrado). ○ CE Mark.
APLICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA	
<ul style="list-style-type: none"> • Para fines de cultivos. • Control de calidad de rutina. • Verificación y validación. • Control de calidad de sistemas de identificación y kits de ensayo. • Control de calidad a la prueba de sensibilidad a los antimicrobianos. 	
INCLUYE	
<ul style="list-style-type: none"> • Instrucciones de uso ilustradas. • Certificado de análisis detallado: <ul style="list-style-type: none"> ○ Características microscópicas. ○ Características macroscópicas. ○ Identificación microbiana a nivel proteómica con la técnica MALDI-TOF. • Hoja de datos de seguridad. 	

Fuente: GenLab

Anexo 12: Hoja de Seguridad - Empresa de Laboratorios Gen Lab.

Líquido hidratante para hisopos KWIK-STIK™

Ficha de datos de seguridad

Texto completo de las frases R y H: consultar la sección 16

SECCIÓN 4: Primeros auxilios

4.1. Descripción de los primeros auxilios necesarios

Primeros auxilios tras la inhalación	: No se necesitan primeros auxilios específicos para esta vía de exposición.
Primeros auxilios tras el contacto con la piel	: Lavar con agua y jabón. Acudir al médico si aparece o persiste la irritación.
Primeros auxilios tras el contacto con los ojos	: Enjuagar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Retirar las lentes de contacto si las lleva y resulta fácil hacerlo. Seguir enjuagando. Si la irritación persiste, solicitar atención médica.
Primeros auxilios tras la ingestión	: Evitar el contacto mano-boca. En caso de ingestión, solicitar atención médica.

4.2. Principales síntomas y efectos (agudos y retardados)

Síntomas/lesiones tras la inhalación	: Ninguno previsto en condiciones de manipulación normal del producto.
Síntomas/lesiones tras el contacto con la piel	: Puede causar irritación.
Síntomas/lesiones tras el contacto con los ojos	: Puede causar irritación.
Síntomas/lesiones tras la ingestión	: Puede ser nocivo si se ingiere.

4.3. Atención médica inmediata y tratamiento especial, si es necesario

No se dispone de información adicional

SECCIÓN 5: Medidas de lucha contra incendios

5.1. Medios de extinción

Medios de extinción adecuados	: Emplear los medios de extinción adecuados para el tipo de incendio.
Medios de extinción inadecuados	: Ninguno.

5.2. Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

Peligro de incendio	: Ninguno conocido.
Peligro de explosión	: Ninguno conocido.

5.3. Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios

Protección durante la lucha contra incendios : El personal de lucha contra incendios debe utilizar equipo de protección completo.

SECCIÓN 9: Propiedades físicas y químicas

9.1. Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

Estado físico	: Líquido. Cada unidad contiene un depósito de líquido hidratante.
Color	: Incoloro
Olor	: Inodoro
Umbral olfativo	: No hay datos disponibles
pH	: No hay datos disponibles
Velocidad de evaporación relativa (acetato de butilo = 1)	: No hay datos disponibles
Punto de fusión	: No hay datos disponibles
Punto de congelación	: No hay datos disponibles
Punto de ebullición	: No hay datos disponibles
Punto de inflamación	: No hay datos disponibles
Temperatura de autoignición	: No hay datos disponibles
Temperatura de descomposición	: No hay datos disponibles
Inflamabilidad (sólido, gas)	: No hay datos disponibles
Presión de vapor	: No hay datos disponibles
Densidad de vapor relativa a 20 °C	: No hay datos disponibles
Densidad relativa	: No hay datos disponibles
Solubilidad	: No hay datos disponibles
Log Pow	: No hay datos disponibles
Viscosidad, cinemática	: No hay datos disponibles
Viscosidad, dinámica	: No hay datos disponibles
Propiedades explosivas	: No hay datos disponibles
Propiedades oxidantes	: No hay datos disponibles
Límites explosivos	: No hay datos disponibles

9.2. Otra información

No se dispone de información adicional

Fuente: GenLab

Anexo 13: Método de cultivo - Empresa de Laboratorios Gen Lab.

2. The following information lists which method should be used to grow the various microorganism species. Descriptions of methods follow the microorganism list.

Microorganism	Method	Notes
<i>Acetobacter</i> species	Method 80	
<i>Achromobacter</i> species	Method 1	
<i>Acinetobacter</i> species	Method 1	
<i>Actinobacillus</i> species	Method 3	
<i>Actinomyces</i> species	Method 4	
<i>Aerococcus</i> species	Method 1	
<i>Aeromonas</i> species	Method 2	Exceptions are <i>Aeromonas hydrophila</i> , Microbiologics 0870 and <i>Aeromonas salmonicida</i> .
<i>Aeromonas hydrophila</i> , Microbiologics 0870	Method 31	
<i>Aeromonas salmonicida</i>	Method 32	
<i>Aggregatibacter</i> species	Method 3	
<i>Alcaligenes</i> species	Method 1	
<i>Alicyclobacillus</i> species	Method 12	An exception is <i>Alicyclobacillus acidoterrestris</i> .
<i>Alicyclobacillus acidoterrestris</i>	Method 45	
<i>Alloiococcus</i> species	Method 2	
<i>Alternaria</i> species	Method 5	
<i>Amylomyces</i> species	Method 5	
<i>Aneurinibacillus</i> species	Method 1	
<i>Aquaspirillum</i> species	Method 20	
<i>Arcanobacterium</i> species	Method 34	
<i>Arthrobacter</i> species	Method 21	
<i>Aspergillus</i> species	Method 5	An exception is <i>Aspergillus flavus</i> .
<i>Aspergillus flavus</i>	Method 46	
<i>Aureobasidium</i> species	Method 5	
<i>Bacillus</i> species	Method 49	
<i>Bacteroides</i> species	Method 4	

Method 49

Media	Tryptic Soy Agar (Soybean Casein Digest Agar), Nonselective Sheep Blood Agar, Standard Methods Agar (Plate Count Agar) or Nutrient Agar
Temperature	35°C
Atmosphere	Aerobic
Growth Time	24 to 48 hours

Note: Some *Bacillus* spp. demonstrate better recovery on subculture when the stock organism growth is maintained at room temperature rather than 2° to 8°C.

Fuente: GenLab

Anexo 14: Certificado de calidad del cemento Portland Tipo I.



Pacasmayo

CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.
 Calle La Colonia Nro. 150 Urb. El Vivero de Monterrico Santiago de Surco - Lima
 Carretera Panamericana Norte Km. 666 Pacasmayo - La Libertad
 Teléfono 317 - 6000



G-CC-F-04
 Versión 04

Planta: Pacasmayo

Cemento Portland Tipo I

12 de agosto de 2022

Periodo de despacho 01 de julio de 2022 - 31 de julio de 2022

REQUISITOS NORMALIZADOS

NTP 334.009 Tablas 1 y 3

QUÍMICOS

Requisitos	Especificación	Resultado de ensayos
MgO (%)	6.0 máx.	2.0
SO ₃ (%)	3.0 máx.	2.8
Pérdida por ignición (%)	3.5 máx.	2.8
Residuo insoluble (%)	1.5 máx.	0.6

FÍSICOS

Requisitos	Especificación	Resultado de ensayos
Contenido de aire del mortero (volumen %)	12 máx.	8
Superficie específica (cm ² /g)	2600 mín.	4030
Expansión en autoclave (%)	0.80 máx.	0.05
Densidad (g/cm ³)	A	3.11
Resistencia a la compresión (MPa)		
1 día	A	15.8
3 días	12.0 mín.	28.1
7 días	19.0 mín.	34.7
28 días *	28.0 mín.	43.3
Tiempo de fraguado Vicat (minutos)		
Inicial	45 mín.	109
Final	375 máx.	230

A No específica

* Requisito opcional

El (a) RC 28 días corresponde al mes de junio del 2022

Certificamos que el cemento descrito arriba, al tiempo de envío, cumple con los requisitos químicos y físicos de la NTP 334.009.2020.

Ing. Dennis R. Rodas Lavado

Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por:

Distribuidora Norte Pacasmayo S. R. L.

Fuente: Distribuidora de materiales.

Anexo 15: Hoja Técnica Sikadur-32 Gel.

CONSTRUYENDO CONFIANZA



HOJA DE DATOS DEL PRODUCTO

Sikadur®-32 Gel

PUENTE DE ADHERENCIA EPOXICO

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Es un adhesivo de dos componentes a base de resinas epóxicas seleccionadas, libre de solventes.

USOS

Sikadur®-32 Gel debe ser utilizado sólo por profesionales expertos.

- Como adhesivo estructural de concreto fresco con concreto endurecido.
- Como adhesivo entre elementos de concreto, piedra, mortero, acero, fierro, fibrocemento, madera.
- Adhesivo entre concreto y mortero.
- En anclajes de pernos en concreto o roca, donde se requiere una puesta en servicio rápida (24 horas).

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

- Fácil de aplicar.
- Libre de solventes.
- No es afectado por la humedad.
- Altamente efectivo, aún en superficies húmedas.
- Trabajable a bajas temperaturas.
- Alta resistencia a tracción.

CERTIFICADOS / NORMAS

Cumple la norma ASTM C-881, Standard Especification for Epoxy-Resin-Base Bonding System for Concrete.

Está certificado como producto no tóxico por el Instituto de Salud Pública de Chile.

USGBC VALORACIÓN LEED

Sikadur®-32 Gel cumple con los requerimientos LEED. Conforme con el LEED V3 IEQc 4.1 Low-emitting materials - adhesives and sealants.

Contenido de VOC < 70 g/L (menos agua)

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

Empaques	Juego de 1 kg. Juego de 5 kg.
Color	Líquido denso color gris (Mezcla A+B)
Vida Útil	2 años
Condiciones de Almacenamiento	El producto puede ser almacenado en su envase original cerrado, sin deterioro en un lugar fresco, seco y bajo techo durante dos años a una temperatura entre 5°C y 30°C. Acondicione el material a 18°C a 30°C antes de usar.
Densidad	1,6 kg/litro

INFORMACIÓN TÉCNICA

Resistencia a la Compresión	1 Día	60 MPa	(ASTM D 695)
	10 Días	80 MPa	

Hoja De Datos Del Producto
Sikadur®-32 Gel
Diciembre 2019, Versión 01.01
020204030010000135

Resistencia a Flexión	10 Días	34 MPa	(ASTM C580)
Resistencia a la Adherencia	> 13 MPa		(ASTM C 882)
	Fuerza de arrancamiento de anclaje en concreto H25 (fe A63-42H, 012mm, L=12cm)		
	6.000 kgf		

INFORMACIÓN DE APLICACIÓN

Proporción de la Mezcla	A : B = 2 : 1 (en peso)
Consumo	Como puente de adherencia, el consumo aproximado es de 0.3 a 0.5 kg/m ² , dependiendo de la rugosidad y temperatura de la superficie.
Duración de la Mezcla	25 minutos.

INSTRUCCIONES DE APLICACIÓN

PREPARACIÓN DEL SUSTRATO

CONCRETO

Al momento de aplicar Sikadur®-32 Gel el concreto debe encontrarse limpio, libre de polvo, partes sueltas o mal adheridas, sin impregnaciones de aceite, grasa, pintura, entre otros. Debe estar firme y sano con respecto a sus resistencias mecánicas.

La superficie de concreto debe limpiarse en forma cuidadosa hasta llegar al concreto sano, eliminando totalmente la lechada superficial. Esta operación se puede realizar con chorro de agua y/o arena, escobilla de acero, y otros métodos. La superficie a unir debe quedar rugosa.

METALES

Deben encontrarse limpios, sin óxido, grasa, aceite, pintura, entre otros. Se recomienda un tratamiento con chorro de arena a metal blanco o en su defecto utilizar métodos térmicos o físicos químicos.

MEZCLADO

Mezclar totalmente las partes A y B en un tercer recipiente limpio y seco, revolver en forma manual o mecánica con un taladro de bajas revoluciones (máx. 600 r.p.m.) durante 3–5 minutos aproximadamente, hasta obtener una mezcla homogénea. Evitar el aire atrapado.

En caso que el volumen a utilizar sea inferior al entregado en los envases, se pueden subdividir los componentes respetando en forma rigurosa las proporciones indicadas en Datos Técnicos.

MÉTODO DE APLICACIÓN / HERRAMIENTAS

La colocación de Sikadur®-32 Gel se realiza con brocha, rodillo o pulverizado sobre una superficie preparada. En superficies húmedas asegurar la aplicación restregando con la brocha. El concreto fresco debe ser vaciado antes de 3 horas a 20°C o 1 hora a 30°C de aplicado el Sikadur®-32 Gel. En todo caso, el producto debe encontrarse fresco al vaciar la mezcla sobre él.

LIMPIEZA DE HERRAMIENTAS

Limpie las herramientas con diluyente a la piroxilina.

NOTAS

Todos los datos técnicos recogidos en esta hoja técnica se basan en ensayos de laboratorio. Las medidas de los datos actuales pueden variar por circunstancias fuera de nuestro control.

Hoja De Datos Del Producto
Sikadur®-32 Gel
Diciembre 2019, Versión 01.01
020204030010000135



RESTRICCIONES LOCALES

Nótese que el desempeño del producto puede variar dependiendo de cada país. Por favor, consulte la hoja técnica local correspondiente para la exacta descripción de los campos de aplicación del producto

ECOLOGÍA, SALUD Y SEGURIDAD

Para información y asesoría referente al transporte, manejo, almacenamiento y disposición de productos químicos, los usuarios deben consultar la Hoja de Seguridad del Material actual, la cual contiene información médica, ecológica, toxicológica y otras relacionadas con la seguridad.

NOTAS LEGALES

La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados. Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web www.sika.com.pe.

Hoja De Datos Del Producto
Sikadur®-32 Gel
Diciembre 2019, Versión 01.01
020204030010000135

3 / 3

Sikadur-32Gel-es-PE-(12-2019)-1-1.pdf

CONSTRUYENDO CONFIANZA



Fuente: Pag. Web de distribuidora.

Anexo 16: Hoja Técnica SikaRep-500.

CONSTRUYENDO CONFIANZA



HOJA DE DATOS DEL PRODUCTO

SikaRep®-500

MORTERO REFORZADO CON FIBRAS PARA REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Sika Rep®-500 es un mortero predosificado de alta calidad, de un componente listo para usar con solo agregar agua, tiene características tixotrópicas que permite ser usado sobre cabeza sin escurrir, está basado en aglomerantes cementicios, fibras sintéticas, microsílíce, aditivos especiales y agregados inertes de granulometría controlada.

USOS

- Reparación estructural de elementos de concreto.
- Reconstrucción de concreto en aplicaciones verticales, horizontales y cielo raso.
- Reparación de vigas, losas, muros y pavimentos, estanques de agua potable, obras hidráulicas, túneles, puentes, canales y obras de concreto en general.

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

- Fácil de aplicar con propiedades tixotrópicas y buena trabajabilidad incluso en aplicación sobre cabeza.
- Buena adherencia a concreto, acero, piedra, albañilería.
- Buena estabilidad dimensional.
- Módulo de Elasticidad y Coeficiente de Expansión térmica similar al concreto.
- Alta resistencia a compresión, flexión y tracción.
- Alta resistencia al desgaste.
- Rápida puesta en servicio.

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

Empaques	Bolsa de 30 kg.
Apariencia / Color	Polvo color gris
Vida Útil	9 meses
Condiciones de Almacenamiento	Sika Rep® -500 debe mantenerse en sitio fresco, seco y bajo techo, en estas condiciones se puede almacenar en su envase cerrado original durante 9 meses.

INFORMACIÓN TÉCNICA

Resistencia a la Compresión	<ul style="list-style-type: none"> • 1 día 250 kgf/cm² • 3 días 450 kgf/cm² • 7 días 500 kgf/cm² USGBC VALORACIÓN LEED Sika Rep® PE cumple con los requerimientos LEED. Conforme con el LEED V3 IEQc 4.1 Low-emitting materials - adhesives and sealants. Contenido de VOC < 70 g/L (menos agua)
------------------------------------	---

INFORMACIÓN DE APLICACIÓN

Hoja De Datos Del Producto
 SikaRep®-500
 Diciembre 2019, Versión 01.01
 020302040030000173

Consumo

1 bolsa equivale a 16 litros de mezcla preparada.

INSTRUCCIONES DE APLICACIÓN**CALIDAD DEL SUSTRATO PRE-TRATAMIENTO**

La superficie debe estar limpia, libre de grasa y polvo, cemento u otras materias extrañas, antes de la aplicación del producto humedezca la superficie evitando empozamiento.

MEZCLADO

Agregar entre 0.14 – 0.16 litros de agua por kilo de Sika Rep® -500 (El porcentaje de agua puede variar según la consistencia requerida), mezclar manual o mecánicamente hasta obtener consistencia uniforme. Aplicar los productos antes de transcurridos 20 minutos de su preparación.

APLICACIÓN

- Colocar con temperaturas mayores a 5°C.
- Aplicar con llana plana en áreas pequeñas.
- Espesor mínimo de aplicación: 5 mm.
- Aplicar en capas subsecuentes de espesor no mayor a 20 mm cada una. La primera capa debe ser restregada sobre la superficie para asegurar la adherencia y la compactación de la mezcla. La segunda capa debe ser aplicada cuando la primera haya endurecido. Debe dejar una terminación superficial rugosa o peinada en la primera capa para mejorar anclaje de la capa siguiente. Terminar con llana o una esponja húmeda.

TRATAMIENTO DE CURADO

Mantener el producto húmedo por lo menos durante los tres primeros días; en tiempo caluroso proteger del sol directo y del viento.

NOTAS

Todos los datos técnicos recogidos en esta hoja técnica se basan en ensayos de laboratorio. Las medidas de los datos actuales pueden variar por circunstancias fuera de nuestro control.

RESTRICCIONES LOCALES

Nótese que el desempeño del producto puede variar dependiendo de cada país. Por favor, consulte la hoja técnica local correspondiente para la exacta descripción de los campos de aplicación del producto

ECOLOGÍA, SALUD Y SEGURIDAD

Para información y asesoría referente al transporte, manejo, almacenamiento y disposición de productos químicos, los usuarios deben consultar la Hoja de Seguridad del Material actual, la cual contiene información médica, ecológica, toxicológica y otras relacionadas con la seguridad.

NOTAS LEGALES

La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados. Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A.C. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A.C. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web www.sika.com.pe. La presente edición anula y reemplaza la edición anterior, misma que deberá ser desvirtuada.

Hoja De Datos Del Producto
SikaRep®-500
Diciembre 2019, Versión 01.01
020302040030000173

2 / 2

SikaRep-500-es-PE-(12-2019)-1-1.pdf

CONSTRUYENDO CONFIANZA

Fuente: Pag. Web de distribuidora.

Anexo 17: Características de Microscopio Para Medir Fisuras Del Concreto.

Microscopio Para Medir Fisuras Del Concreto



Rango de aumento: 40

Uso: De bolsillo

Tipo de objetivo: Fisuras

Cabezal: Monocular

Número de objetivos: 1

Tipo de zoom: Manual

- Visor provisto de regla milimetrada para mejor precisión
- Iluminación LED para lugares con poca visibilidad
- Funciona con baterías 2xAA

Fuente: Pag. Web de compras mercado libre.

Anexo 18: Ensayo de asentamiento, evidencia fotográfica.

ENSAYO DE ASENTAMIENTO DEL CONCRETO



Figura 81: Asentamiento alcanzado del concreto patrón.



Figura 82: Asentamiento alcanzado del bioconcreto de 1×10^5 cel/ml.



Figura 83: Asentamiento alcanzado del bioconcreto de 1×10^6 cel/ml.

Fuente: Propia

Anexo 19: Control de temperatura del concreto fresco, evidencia fotográfica.

CONCRETO FRESCO, CONTROL DE TEMPERATURA



Figura 84: Temperatura alcanzada del concreto patrón.



Figura 85: Temperatura alcanzada del bioconcreto de 1×10^5 cel/ml.



Figura 86: Temperatura alcanzada del bioconcreto de 1×10^6 cel/ml.

Fuente: Propia

Anexo 20: Ensayos de resistencia a la compresión de concreto a la edad de 7 días.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN – 7 días



Figura 87: Ensayo de compresión a concreto patrón.



Figura 88: Ensayo de compresión a bioconcreto de 1×10^5 cel/ml.



Figura 89: Ensayo de compresión a bioconcreto de 1×10^6 cel/ml.

Fuente: Propia

Anexo 21: Ensayos de resistencia a la compresión de concreto a la edad de 14 días.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN – 14 días



Figura 90: Ensayo de compresión a concreto patrón.



Figura 91: Ensayo de compresión a bioconcreto de 1×10^5 cel/ml.cel/ml.



Figura 92: Ensayo de compresión a bioconcreto de 1×10^6 cel/ml.

Fuente: Propia

Anexo 22: Ensayos de resistencia a la compresión de concreto a la edad de 28 días.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN – 28 días



Figura 93: Ensayo de compresión a concreto patrón.



Figura 94: Ensayo de compresión a bioconcreto de 1×10^5 cel/ml.



Figura 95: Ensayo de compresión a bioconcreto de 1×10^6 cel/ml.

Fuente: Propia

Anexo 23: Ensayos de resistencia a la compresión de concreto a la edad de 56 días.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN – 56 días



Figura 96: Ensayo de compresión a concreto patrón.



Figura 97: Ensayo de compresión a bioconcreto de 1×10^5 cel/ml.



Figura 98: Ensayo de compresión a bioconcreto de 1×10^6 cel/ml.

Fuente: Propia

Anexo 24: Ensayo de elasticidad del concreto.

ENSAYO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO



Figura 99: Tesista ensayando concreto patrón.



Figura 100: Tesista ensayando concreto bacteriano 1×10^5 cel/ml.



Figura 101: Tesista ensayando concreto bacteriano 1×10^6 cel/ml.

Anexo 25: Ensayo de permeabilidad del concreto. evidencia fotográfica.

ENSAYO DE PERMEABILIDAD CONCRETO – Patrón



Figura 102: Tesista con los especímenes ya pulidos.



Figura 103: Tesista con las probetas ya ensayadas para medir la profundidad de penetración.



Figura 104: Distancia más lejana que el agua logra penetrar en el concreto patrón (1A).



Figura 105: Distancia más lejana que el agua logra penetrar en el concreto patrón (1B).



Figura 106: Distancia más lejana que el agua logra penetrar en el concreto patrón (2A).



Figura 107: Distancia más lejana que el agua logra penetrar en el concreto patrón (2B).

Fuente: Propia

Anexo 26: Ensayo de permeabilidad de bioconcreto – 1×10^5 cel/ml evidencia fotográfica.

ENSAYO DE PERMEABILIDAD BIOCONCRETO – 1×10^5 cel/ml.



Figura 108: Testista con los especímenes puestos a presión.



Figura 109: Testista retirando probetas de la máquina después de 72 horas.



Figura 110: Distancia más lejana que el agua logra penetrar en el bioconcreto – 1×10^5 cel/ml. (1A).



Figura 111: Distancia más lejana que el agua logra penetrar en el bioconcreto – 1×10^5 cel/ml. (1B).



Figura 112: Distancia más lejana que el agua logra penetrar en el bioconcreto – 1×10^5 cel/ml. (2A).



Figura 113: Distancia más lejana que el agua logra penetrar en el bioconcreto – 1×10^5 cel/ml. (2B).

Fuente: Propia

Anexo 27: Ensayo de permeabilidad de bioconcreto – 1×10^6 cel/ml evidencia fotográfica.

ENSAYO DE PERMEABILIDAD BIOCONCRETO – 1×10^6 cel/ml.



Figura 114: Tesista colocando agua para eliminar burbujas de los tanques.



Figura 115: Tesista con los especímenes puestos a presión.



Figura 116: Distancia más lejana que el agua logra penetrar en el bioconcreto – 1×10^6 cel/ml. (1A).



Figura 117: Distancia más lejana que el agua logra penetrar en el bioconcreto – 1×10^6 cel/ml.. (1B).



Figura 118: Distancia más lejana que el agua logra penetrar en el bioconcreto – 1×10^6 cel/ml. (2A).



Figura 119: Distancia más lejana que el agua logra penetrar en el bioconcreto – 1×10^6 cel/ml. (2B).

Fuente: Propia

Anexo 28: Ensayo de tiempo de fraguado.

ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO



Figura 120: Tesista varillando mortero ya pasado por la malla N°4.



Figura 121: Tesista con muestras (patrón, bioconcreto– 1×10^5 cel/ml, bioconcreto– 1×10^6 cel/ml)



Figura 122: Tesista retirando exceso de agua, conforme a norma.

Fuente: Propia

*Anexo 29: Ensayo Expansión por Sulfatos.***ENSAYO EXPANSIÓN POR SULFATOS**

Figura 123: Tesista retirando vigas de la solución sulfatosa.



Figura 124: Tesista observando degradación de muestras.



Figura 125: Calibrando equipo de ensayo.



Figura 126: Muestra colocada para medición.



Figura 127: Tesista colocando viga en equipo.

Fuente: Propia

Anexo 30: Comparación, antes y después de vigas de concreto de 28 días de edad, fisuradas y marcadas para el control correspondiente de autosellado.

VIGAS FISURADAS PARA CONTROL DE AUTOSELLADO.



Figura 128: Viga patrón fisurada, antes.

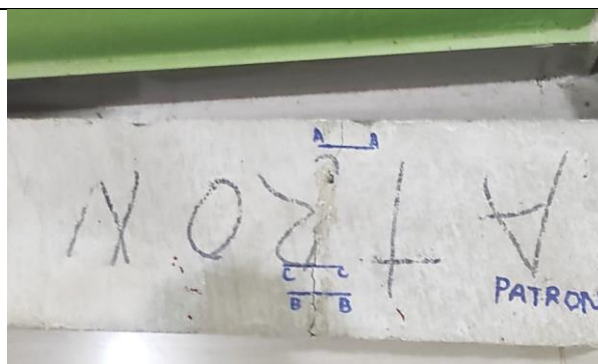


Figura 129: Viga patrón fisurada, después.



Figura 130: Viga de bioconcreto 1×10^5 cel/ml fisurada, antes.

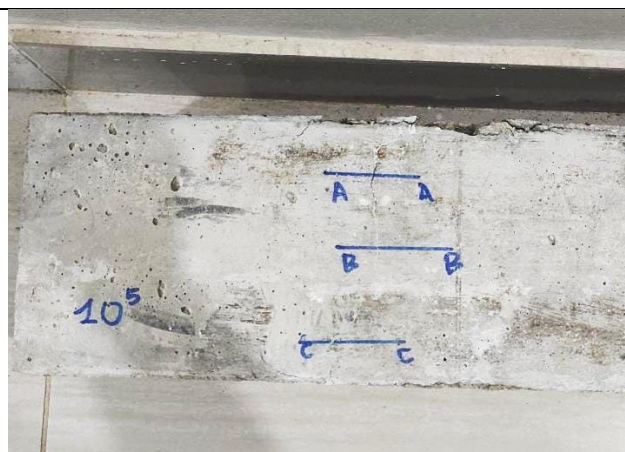


Figura 131: Viga de bioconcreto 1×10^5 cel/ml fisurada, después.

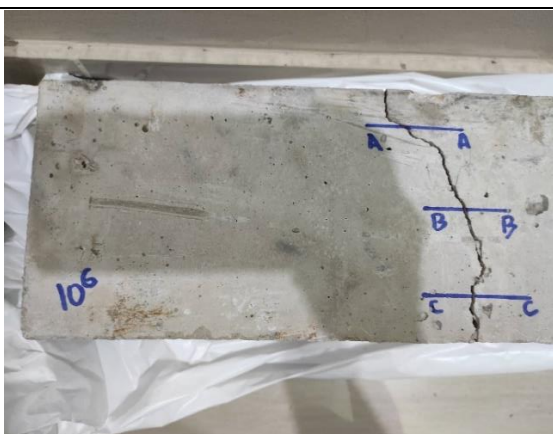


Figura 132: Viga de bioconcreto 1×10^6 cel/ml fisurada, antes.

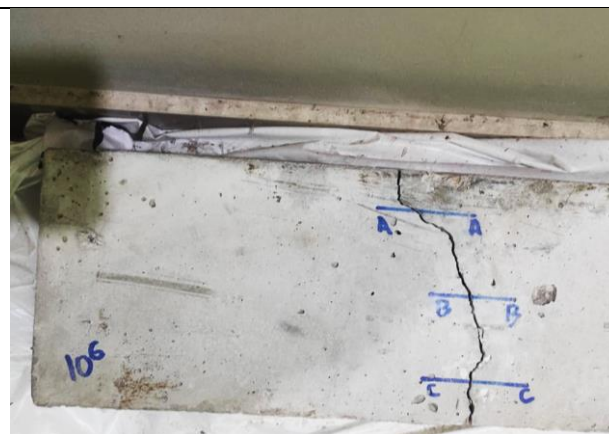


Figura 133: Viga de bioconcreto 1×10^6 cel/ml fisurada, después.

Fuente: Propia

Anexo 31: Control de fisuras a vigas - Concreto patrón.

CONTROL DE FISURAS A VIGAS DE CONCRETO PATRÓN

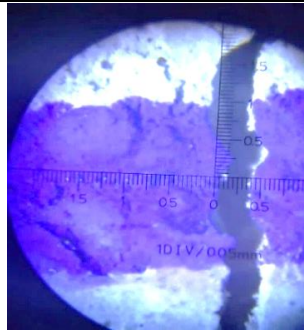


Figura 134: Sección A-A,
28 días

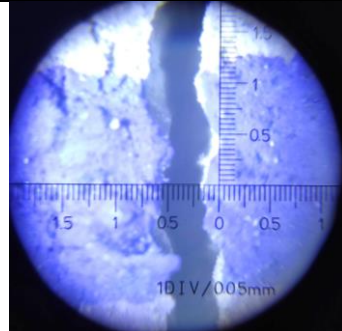


Figura 135: Sección A-A, 56
días.

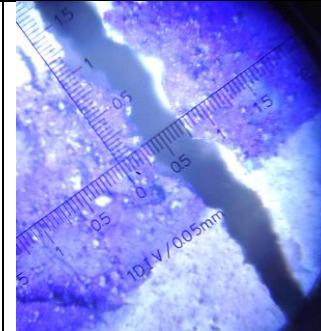


Figura 136: Sección A-A,
87 días.

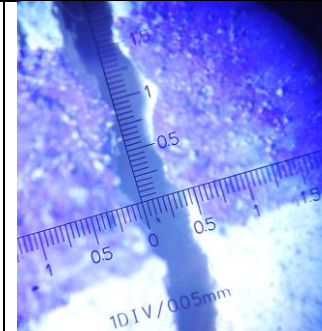


Figura 132: Sección A-A,
115 días

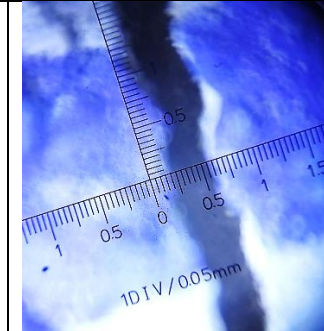


Figura 132: Sección A-A,
143 días

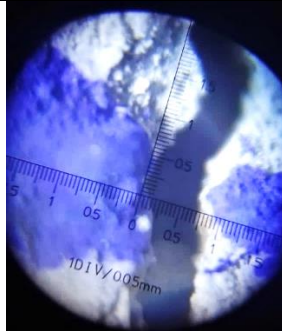


Figura 137: Sección B -B,
28 días.

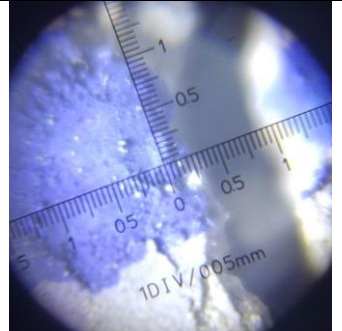


Figura 138: Sección B -B, 56
días.

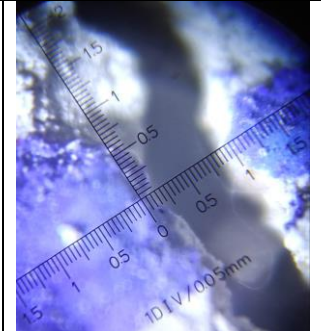


Figura 139: Sección B -
B, 87 días.

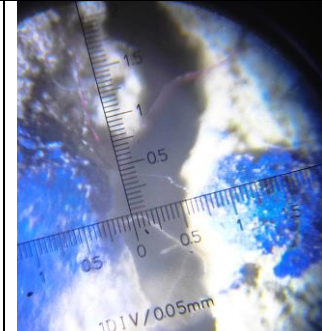


Figura 133: Sección B -B,
115 días

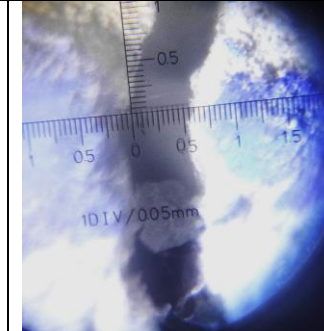


Figura 133: Sección B -B,
143 días

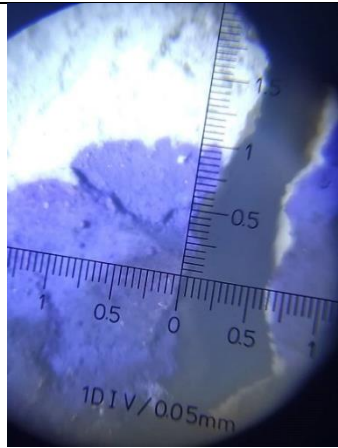


Figura 125: Sección C -C, 28 días.

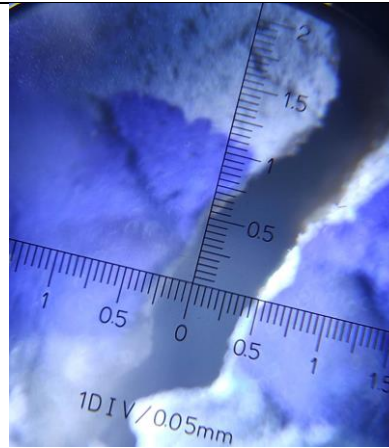


Figura 128: Sección C -C, 56 días.

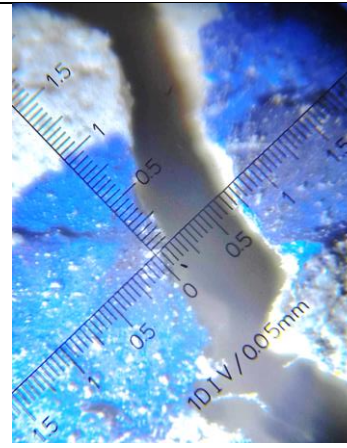


Figura 140: Sección C -C, 87 días.

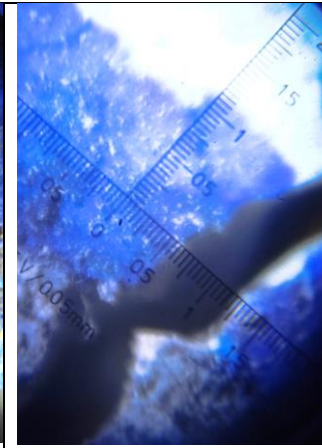


Figura 141: Sección C -C, 115 días.

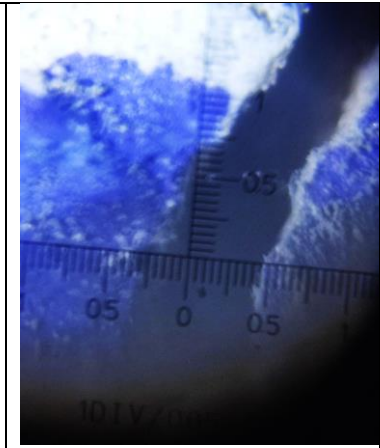


Figura 142: Sección C -C, 143 días.



Figura 143: Tesista tomando medidas de viga – concreto patrón.



Figura 144: Tesista tomando medidas de viga – concreto patrón.

Fuente: Propia

Anexo 32: Control de fisuras a vigas – Bioconcreto 1×10^5 cel/ml.

CONTROL DE FISURAS A VIGAS - BIOCONCRETO

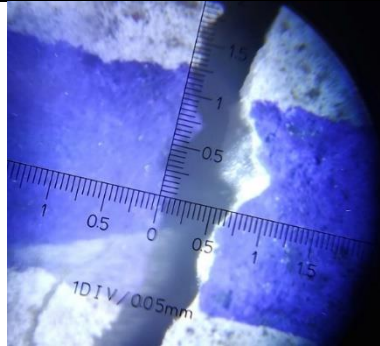


Figura 145: Sección A-A, 28 días.

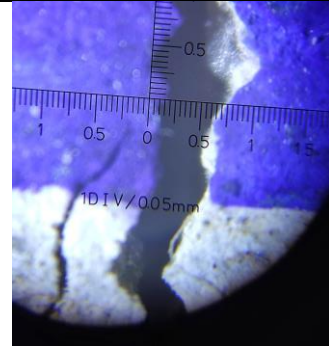


Figura 146: Sección A-A, 56 días.

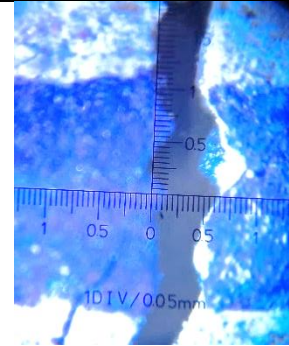


Figura 147: Sección A-A, 87 días.

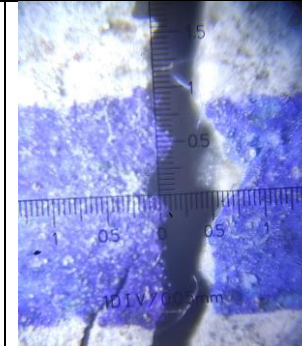


Figura 148: Sección A-A, 115 días.

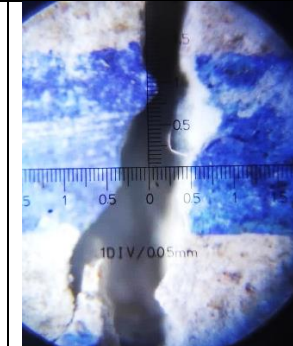


Figura 149: Sección A-A, 143 días.

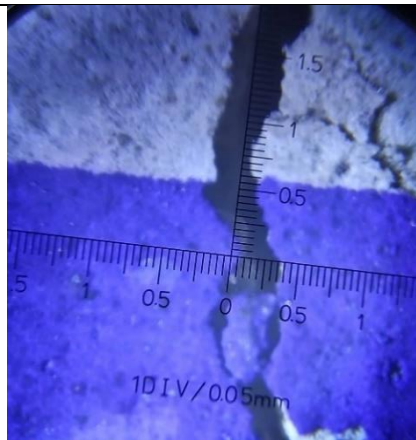


Figura 150: Sección B -B, 28 días.

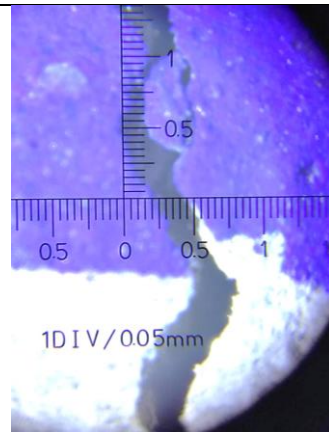


Figura 151: Sección B -B, 56 días.

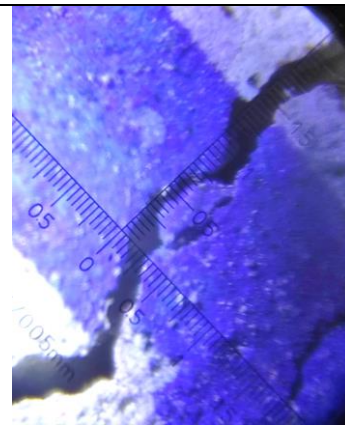


Figura 152: Sección B -B, 87 días.

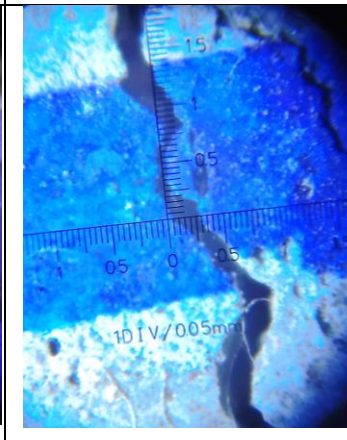


Figura 153: Sección B -B, 115 días.

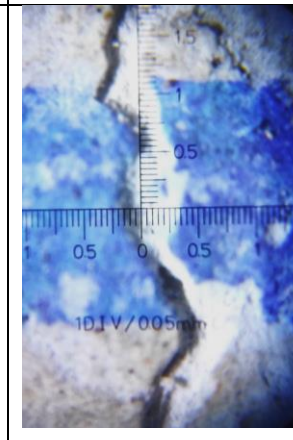


Figura 154: Sección B -B, 143 días.

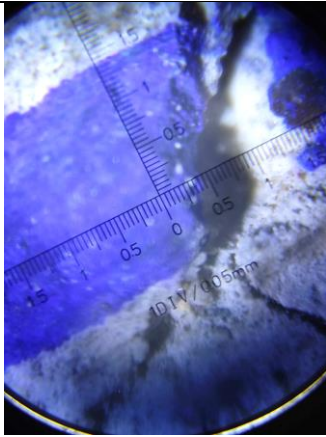


Figura 155: Sección C -C, 28 días.

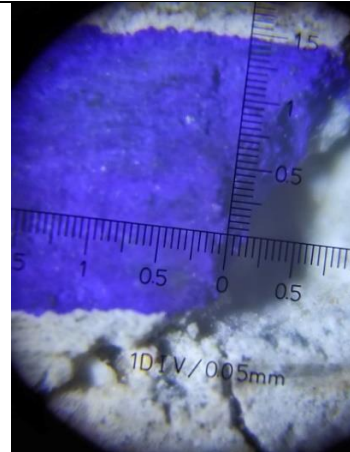


Figura 156: Sección C - C, 56 días.

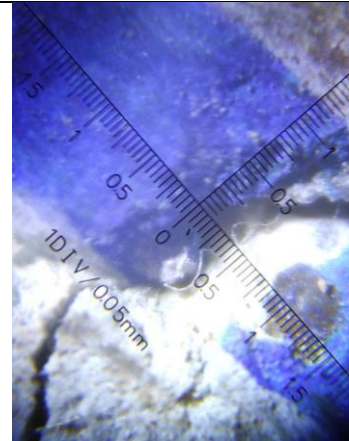


Figura 157: Sección C -C, 87 días.

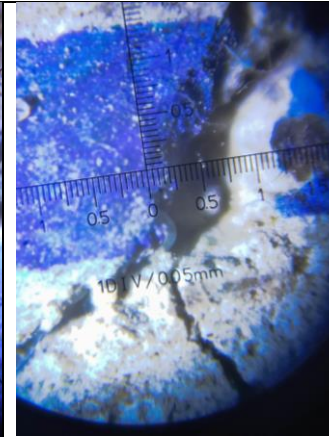


Figura 158: Sección C -C, 115 días.

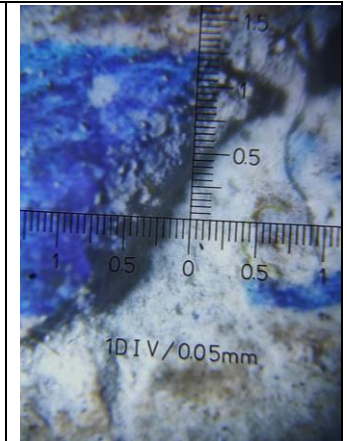


Figura 159: Sección C - C, 143 días.



Figura 160: Tesista tomando medidas de viga - bioconcreto 1×10^5 cel/ml.



Figura 161: Tesista tomando medidas de viga - bioconcreto 1×10^5 cel/ml.

Fuente: Propia

Anexo 33: Control de fisuras a vigas – Bioconcreto 1×10^6 cel/ml.

CONTROL DE FISURAS A VIGAS - BIOCONCRETO

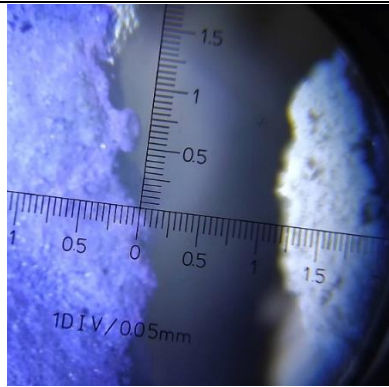


Figura 162: Sección A-A, 28 días.

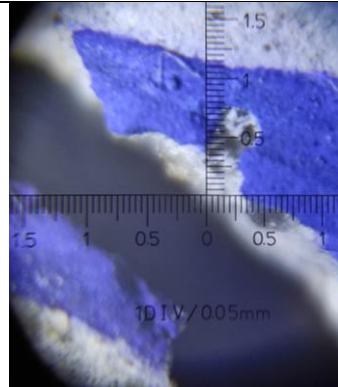


Figura 163: Sección A-A, 56 días.

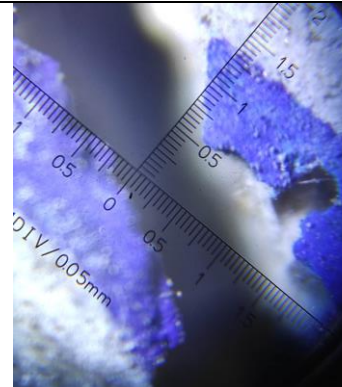


Figura 164: Sección A-A, 87 días.

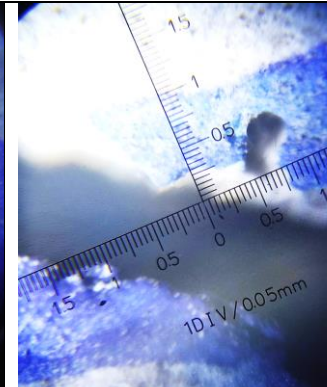


Figura 165: Sección A-A, 115 días.

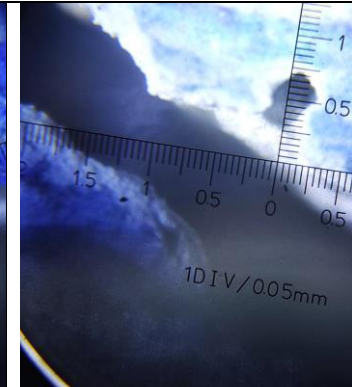


Figura 166: Sección A-A, 143 días.

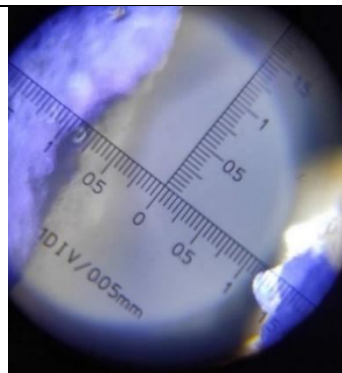


Figura 167: Sección B-B, 28 días.

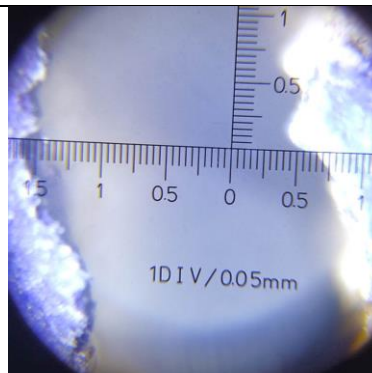


Figura 168: Sección B-B, 56 días.

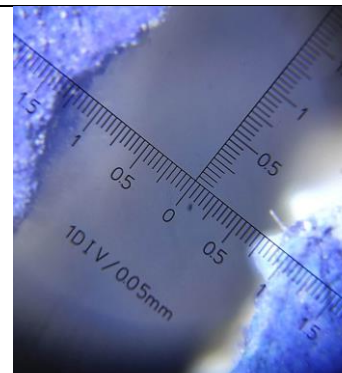


Figura 169: Sección B-B, 87 días.

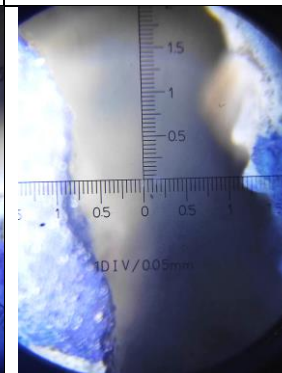


Figura 170: Sección B-B, 115 días.

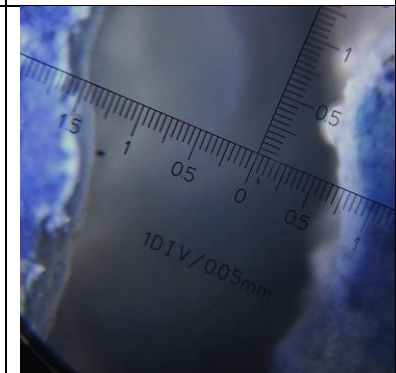


Figura 171: Sección B-B, 143 días.

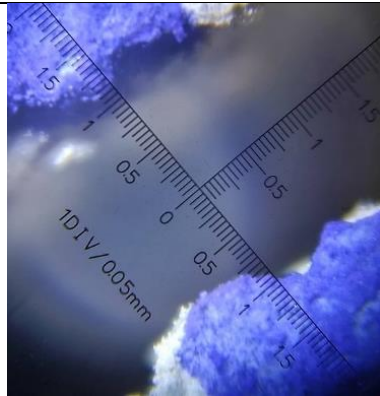


Figura 172: Sección C -C, 28 días.

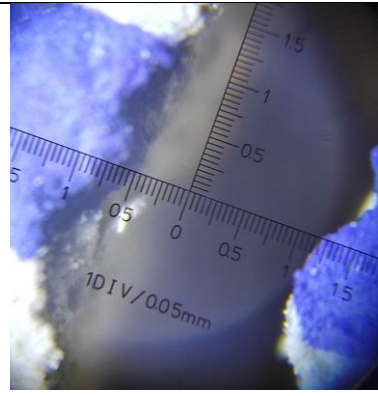


Figura 173: Sección C -C, 56 días.

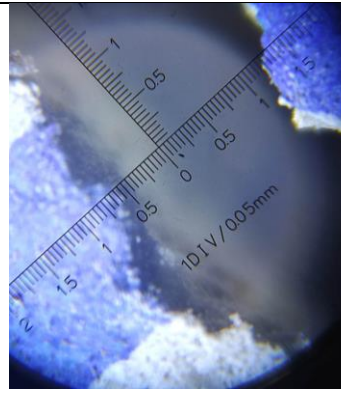


Figura 174: Sección C -C, 87 días.

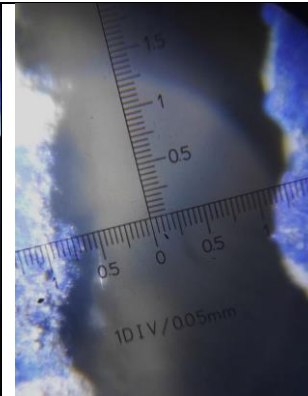


Figura 175: Sección C -C, 115 días.

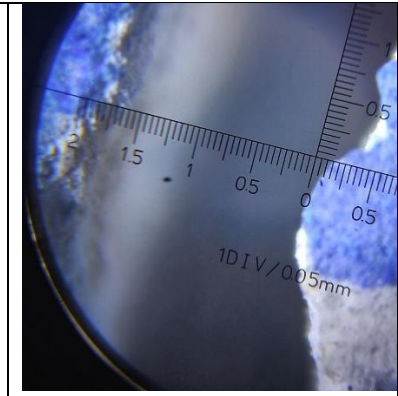


Figura 176: Sección C -C, 143 días.



Figura 177: Tesista tomando medidas de viga - bioconcreto 1×10^6 cel/ml.



Figura 178: Tesista tomando medidas de viga - bioconcreto 1×10^6 cel/ml.

Fuente: Propia