

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DEL ADITIVO BACTERIANO  
EN LA REPARACIÓN DEL PROCESO DE FISURACIÓN CONTROLADA  
DEL CONCRETO”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER  
ASENJO ALARCÓN, DENNIS EDINSSON**

**ASESOR:**

**DR. MOSQUEIRA MORENO, MIGUEL ÁNGEL**

**CO-ASESOR:**

**DR. RIVERA JACINTO, MARCO ANTONIO**

**CAJAMARCA – PERÚ**

**2019**

## AGRADECIMIENTO

A Dios, por permitirme cumplir mis metas, por ayudarme a superar los momentos difíciles y por la bendición que me brinda a cada instante de mi vida.

A mi madre Sra. Susana Alarcón Núñez por darme la vida, por haberme enseñado el valor del trabajo y el esfuerzo, y por su constante sacrificio de sacarnos adelante.

A mi hermano Dr. José Ander, por su motivación constante de estudiar y salir adelante, por su apoyo, especialmente durante mi periodo universitario.

A mi padre Sr. Segundo Asenjo, por su apoyo brindando para culminar mi carrera universitaria.

Al quien en vida fue, Mg. en Ing. Héctor Pérez Loayza Q.D.D.G. y E.P.D., por brindarme su amistad, su orientación y enseñanzas durante mi periodo universitario y en la primera etapa del presente trabajo de investigación.

Al Dr. Miguel Mosqueira, por brindarme su amistad, enseñanzas y por su apoyo en la culminación del presente trabajo de investigación.

Al Dr. Marco Rivera, por brindarme su amistad, enseñanzas y por su apoyo en la realización del presente trabajo de investigación.

A la Universidad Nacional de Cajamarca, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil, a mis maestros por haberme instruido y permitido ser parte del desarrollo profesional durante los 5 años de mi carrera.

Finalmente, agradezco infinitamente a todos aquellos que me apoyaron en la realización de la presente tesis, familiares y amigos, haciendo una mención especial a la Ing. July Díaz por su apoyo en el desarrollo de la presente tesis; al MCs. Blgo. Omar Pairazaman por sus aportes en la presente investigación; a la Q.F. Silvia Chilón, encargada del Laboratorio de Microbiología; Sr. Marcial encargado de Laboratorio de Suelos; y al Ing. German encargado de Laboratorio de Ensayo de Materiales.

## **DEDICATORIA**

A mi Madre Sra. Susana Alarcón

A mi hermano el Dr. José Ander

A mi hijo Fabián.

A mi Padre Sr. Segundo Asenjo

A toda la comunidad científica, especialmente de mi alma mater, la Universidad Nacional de Cajamarca "Norte de la Universidad Peruana".

## CONTENIDO

<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>I</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>II</b>
<b>CONTENIDO</b> .....	<b>III</b>
<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	<b>IX</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>XII</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS</b> .....	<b>XVIII</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES</b> .....	<b>XXI</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>XXII</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>XXIII</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.</b> .....	<b>24</b>
1.1. Planteamiento del problema.....	24
1.2. Formulación del problema .....	25
1.3. Hipótesis de investigación.....	25
1.4. Variables de la investigación.....	25
1.4.1. Variables independientes.....	25
1.4.2. Variables dependientes.....	25
1.5. Operacionalización de variables.....	26
1.6. Justificación de la investigación.....	26
1.7. Alcances y delimitación de la investigación .....	26
1.7.1. Alcances .....	26
1.7.2. Delimitación.....	27
1.8. Limitaciones .....	27
1.9. Objetivos .....	28
1.9.1. Objetivo general .....	28
1.9.2. Objetivos específicos.....	28
1.10. Descripción general de los contenidos .....	28
1.10.1. Capítulo I. Introducción .....	28
1.10.2. Capítulo II. Marco Teórico.....	29
1.10.3. Capítulo III. Materiales y métodos.....	29
1.10.4. Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados.....	29
1.10.5. Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones .....	29
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>30</b>
2.1. Antecedentes teóricos.....	30
2.1.1. Antecedentes Nacionales.....	30

2.1.2.	Antecedentes Internacionales.....	30
2.2.	Bases Teóricas.....	36
2.2.1.	Aditivo Bacteriano .....	36
2.2.1.1.	Bacterias del género <i>Bacillus</i> .....	36
2.2.1.1.1.	<i>Bacillus endophyticus</i> .....	37
2.2.1.1.2.	<i>Bacillus gelatini</i> .....	37
2.2.1.1.3.	<i>Bacillus firmus</i> .....	38
2.2.1.1.4.	<i>Bacillus smithii</i> .....	38
2.2.1.1.5.	<i>Bacillus farraginis</i> .....	39
2.2.1.1.6.	<i>Bacillus cirroflagelosus</i> .....	40
2.2.1.2.	Bacterias del género <i>Paenibacillus</i> .....	40
2.2.1.2.1.	<i>Paenibacillus lactis</i> .....	41
2.2.1.3.	Bacterias del género <i>Brevibacillus</i> .....	42
2.2.1.3.1.	<i>Brevibacillus laterosporus</i> .....	42
2.2.1.3.2.	<i>Brevibacillus brevis</i> .....	42
2.2.1.4.	Endospora bacteriana.....	43
2.2.1.5.	Fundamento de las pruebas de identificación bacteriana.....	44
2.2.1.5.1.	Crecimiento en agar Nutritivo.....	44
2.2.1.5.2.	Tinción de Endospora.....	44
2.2.1.5.3.	Temperatura.....	45
2.2.1.5.4.	Acidez y Alcalinidad (pH).....	46
2.2.1.5.5.	Prueba de Catalasa.....	47
2.2.1.5.6.	Prueba de Voges-Proskauer (VP).....	47
2.2.1.5.7.	Pruebas con el medio de cultivo SIM.....	48
2.2.1.5.8.	Prueba de Citrato de Simmons.....	49
2.2.1.5.9.	Prueba de Ureasa.....	50
2.2.1.5.10.	Prueba de Lecitinasas.....	50
2.2.1.5.11.	Pruebas de fermentación de Hidratos de Carbono.....	51
2.2.1.5.12.	Software de identificación bacteriana (ABIS).....	51
2.2.1.5.13.	Turbidez estándar .....	52
2.2.2.	Agregados.....	52
2.2.2.1.	Agregado Fino.....	52
2.2.2.1.1.	Contenido de humedad .....	52
2.2.2.1.2.	Granulometría.....	52
2.2.2.1.3.	Peso unitario.....	52

2.2.2.1.4. Pesos Específicos.....	53
2.2.2.1.5. Absorción.....	53
2.2.2.1.6. Módulo de fineza .....	54
2.2.2.2. Agregado Grueso.....	54
2.2.2.2.1. Contenido de humedad. ....	54
2.2.2.2.2. Granulometría. ....	54
2.2.2.2.3. Tamaño máximo nominal (TMN).....	54
2.2.2.2.4. Peso unitario.....	55
2.2.2.2.5. Peso específico.....	55
2.2.3. Agua. ....	55
2.2.4. Cemento Portland.....	55
2.2.4.1. Tipos de cemento Portland.....	55
2.2.4.2. Composición química del cemento. ....	56
2.2.4.3. Propiedades físicas del cemento.....	57
2.2.4.4. Hidratación del cemento.....	58
2.2.5. Carbonato de Calcio (CaCO <sub>3</sub> ).....	59
2.2.6. Concreto. ....	60
2.2.6.1. Concreto en estado fresco .....	61
2.2.6.1.1. Trabajabilidad. ....	61
2.2.6.1.2. Sangrado (exudación). ....	62
2.2.6.1.3. Segregación.....	63
2.2.6.1.4. Contracción. ....	63
2.2.6.2. Concreto endurecido. ....	63
2.2.6.2.1. Curado.....	63
2.2.6.2.2. Extensibilidad. ....	63
2.2.6.2.3. Resistencia. ....	64
2.2.6.2.4. Peso unitario (Densidad).....	64
2.2.7. Diseño de mezcla de concreto.....	64
2.2.8. Causas de la fisuración del concreto. ....	66
2.2.8.1. Fisuración del concreto endurecido.....	66
2.2.8.1.1. Retracción por secado.....	66
2.2.8.1.2. Tensiones de origen térmico. ....	66
2.2.8.1.3. Reacciones químicas.....	67
2.2.8.1.4. Meteorización. ....	67
2.2.8.1.5. Corrosión de las armaduras.....	67

2.2.8.1.6. Prácticas constructivas inadecuadas. ....	68
2.2.8.1.7. Sobrecargas durante la construcción.....	68
2.2.8.1.8. Errores de diseño y detallado .....	68
2.2.8.1.9. Cargas aplicadas externamente. ....	69
2.2.9. Ensayo en las muestras de concreto. ....	70
2.2.9.1. Ensayos de resistencia a la compresión en testigos de concreto .....	70
2.2.10. Evaluación de la fisuración .....	70
<b>CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS. ....</b>	<b>71</b>
3.1. Ubicación geográfica de la investigación.....	71
3.2. Tipo, nivel y diseño de la investigación.....	71
3.3. Procedimiento Experimental. ....	72
3.3.1. Material biológico. ....	72
3.3.1.1. Muestreo bacteriano. ....	72
3.3.1.2. Aislamiento bacteriano.....	74
3.3.1.3. Identificación bacteriana. ....	82
3.3.1.3.1. Pruebas para la identificación .....	83
3.3.1.3.1.1. Prueba de la catalasa.....	83
3.3.1.3.1.2. Prueba de Voges-Proskauer (VP).....	84
3.3.1.3.1.3. Pruebas de Movilidad, Producción de H <sub>2</sub> S e Indol en Medio SIM. ....	85
3.3.1.3.1.4. Prueba de Citrato de Simmons. ....	86
3.3.1.3.1.5. Prueba de Ureasa. ....	87
3.3.1.3.1.6. Prueba de Lecitinasa.....	88
3.3.1.3.1.7. Pruebas de fermentación de Hidratos de Carbono. ....	89
3.3.1.3.1.8. Análisis de pH. ....	91
3.3.1.4. Conteo bacteriano por el método de turbidez estándar .....	92
3.3.2. Agregados.....	94
3.3.2.1. Cantera .....	94
3.3.2.1.1. Ubicación .....	94
3.3.2.1.2. Geología.....	95
3.3.2.2. Análisis de agregado fino y agregado grueso.....	96
3.3.3. Cemento. ....	97
3.3.4. Agua. ....	98
3.3.5. Diseño de mezcla. ....	98
3.3.6. Elaboración de especímenes de concreto .....	98
3.3.6.1. Instrumentos y aparatos utilizados .....	99

3.3.6.1.1. Probetas prismáticas.....	99
3.3.6.1.2. Probetas cilíndricas .....	100
3.3.6.2. Procedimiento.....	102
3.3.7. Variables de estudio .....	107
3.3.7.1. Asentamiento del concreto bacteriano en estado fresco.....	107
3.3.7.2. Peso unitario del concreto bacteriano en estado fresco.....	107
3.3.7.3. Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días .....	108
3.3.7.4. Módulo de elasticidad del concreto con aditivo bacteriano. ....	110
3.3.8. Técnicas e instrumentos de recopilación de información .....	110
3.3.9. Técnicas e instrumentos de procesamiento y análisis de resultados. ....	111
3.3.9.1. Análisis de los resultados .....	111
3.3.9.2. Evaluación de los resultados .....	112
3.4. Tratamiento y Análisis de datos y presentación de resultados.....	113
3.4.1. Especies de cepas bacterianas obtenidas.....	113
3.4.2. Probetas prismáticas .....	115
3.4.2.1. Diseño de mezcla 1 .....	115
3.4.2.2. Evaluación de reparación del fisuramiento. ....	115
3.4.3. Probetas cilíndricas .....	119
3.4.3.1. Diseño de mezcla 2 .....	119
3.4.3.2. Propiedades del concreto.....	119
3.4.3.2.1. Código: C° normal .....	120
3.4.3.2.2. Código: C° 2b .....	123
3.4.3.2.3. Código: Piedra 4 2b .....	126
3.4.3.2.4. Análisis comparativo de las tres series de probetas.....	129
3.4.3.2.5. Análisis estadístico en SPSS.....	130
<b>CAPITULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>131</b>
4.1. Reparación del fisuramiento.....	131
4.2. Resistencia mecánica.....	131
4.3. Contrastación de la hipótesis.....	132
<b>CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. ....</b>	<b>134</b>
5.1. Conclusiones .....	134
5.2. Recomendaciones.....	135
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>	<b>136</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>150</b>
I. Anexo I: Ficha técnica cemento Tipo I Co. ....	150



II.	Anexo II: Propiedades de los agregados. ....	151
2.1.	AGREGADO FINO. ....	151
2.1.1.	Granulometría.....	151
2.1.2.	Peso Unitario .....	153
2.1.3.	Contenido de humedad.....	155
2.1.4.	Peso específico y absorción del agregado fino.....	155
2.1.5.	Materiales que pasan el tamiz N°200 del agregado fino .....	155
2.1.6.	Tabla resumen. Propiedades del agregado fino.....	156
2.2.	AGREGADO GRUESO. ....	156
2.2.1.	Granulometría.....	156
2.2.2.	Peso Unitario .....	158
2.2.3.	Contenido de humedad.....	159
2.2.4.	Peso específico y absorción del agregado grueso. ....	160
2.2.5.	Materiales finos que pasan el tamiz N°200 del agregado grueso.....	160
2.2.6.	Tabla resumen. Propiedades del agregado grueso .....	160
2.3.	Panel fotográfico de obtención y análisis de los agregados. ....	161
III.	Anexo III: Diseño de Mezcla. ....	162
3.1.	Diseños de mezcla de concreto .....	162
3.2.	Diseño de mezcla de mortero .....	168
3.3.	Tablas y gráficos utilizados en los diseños. ....	169
IV.	Anexo IV: Elaboración y análisis de probetas Prismáticas.....	172
4.1.	Elaboración del aditivo bacteriano .....	172
4.2.	Evaluación microscópica del proceso de reparación de las fisuras. ....	176
V.	Anexo V: Elaboración y análisis de probetas Cilíndricas .....	179
5.1.	Elaboración de aditivo bacteriano .....	179
5.2.	Elaboración de probetas cilíndricas.....	180
5.3.	Ensayos a compresión .....	183
5.4.	Resultados de ensayos a compresión. ....	187
5.5.	Análisis estadístico en Microsoft Excel .....	210
5.6.	Análisis estadístico en IBM SPSS Statistics. ....	227
VI.	Anexo VI: Constancia de uso de laboratorio. ....	232
VII.	Anexo VII: Guía práctica del uso del aditivo bacteriano. ....	233

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de variables. ....	26
Tabla 2: Cambio de la resistencia a la compresión de acuerdo a la cantidad de bacterias.....	34
Tabla 3: Valores de esfuerzo a la compresión: varias proporciones de mezcla a los 7 y 28 días. .....	35
Tabla 4: Límites de composición aproximados para el cemento Portland (Tipo I). .	56
Tabla 5: Compuestos principales del cemento Portland. ....	57
Tabla 6: Clases de mezclas según su asentamiento.....	62
Tabla 7: Tipo, nivel y diseño de la investigación.....	71
Tabla 8: Codificación y selección (color amarillo) de cepas bacterianas para su identificación y aplicación en la experimentación. ....	77
Tabla 9: Caldo de cultivo Voges-Proskauer (pH = 6.9). ....	84
Tabla 10: Composición SIM medio.. ....	85
Tabla 11: Composición medio Citrato de Simmons.. ....	86
Tabla 12: Composición medio Ureasa.. ....	87
Tabla 13: Composición medio Lecitinasa.....	88
Tabla 14: Medio base. Prueba de fermentación de azúcares.....	89
Tabla 15: Composición de la turbidez estándar de McFarland. ....	92
Tabla 16: Resumen de las propiedades del agregado fino. ....	97
Tabla 17: Resumen de las propiedades del agregado grueso. ....	97
Tabla 18: Normas y características físicas y químicas del cemento. ....	98
Tabla 19: Composición del medio de cultivo.....	102
Tabla 20: Composición de la mezcla por probeta con aditivo bacteriano incluido en la mezcla. .....	103
Tabla 21: Composición de la mezcla por probeta con aditivo agregado superficialmente .....	103
Tabla 22: Fuentes de variación en la resistencia del concreto.....	112
Tabla 23: Tabla de resultados de las pruebas de identificación bacteriana con las especies obtenidas. ....	114
Tabla 24: Evaluación de la reparación del fisuramiento en porcentaje.....	119
Tabla 25: Principales propiedades del concreto (código: C° Normal). ....	120
Tabla 26: Principales propiedades del concreto (código: C° 2b). ....	123
Tabla 27: Principales propiedades del concreto (código: Piedra 4 2b). ....	126
Tabla 28: Ficha técnica cemento Tipo I Co. (Cementos Pacasmayo, 2018).....	150
Tabla 29: Análisis granulométrico del agregado fino (ensayo n° 01). ....	151
Tabla 30: Análisis granulométrico del agregado fino (ensayo n° 02). ....	152
Tabla 31: Análisis granulométrico del agregado fino (ensayo n° 03). ....	153
Tabla 32: Cálculo del peso específico del agua (Agregado fino).....	154
Tabla 33: Peso unitario suelto (Agregado fino). ....	154
Tabla 34: Peso unitario seco compactado. (Agregado fino). ....	154
Tabla 35: Contenido de humedad. (Agregado fino).....	155
Tabla 36: Peso específico y absorción del agregado fino. ....	155
Tabla 37: Materiales que pasan el tamiz N° 200 del agregado fino.....	155
Tabla 38: Tabla resumen. Propiedades del agregado fino.....	156
Tabla 39: Análisis granulométrico del agregado grueso (ensayo n° 01). ....	156
Tabla 40: Análisis granulométrico del agregado grueso (ensayo n° 02). ....	157
Tabla 41: Análisis granulométrico del agregado grueso (ensayo N° 03). ....	158
Tabla 42: Cálculo del peso específico del agua (Agregado grueso). ....	159
Tabla 43: Peso unitario seco suelto (Agregado grueso). ....	159
Tabla 44: Peso unitario seco compactado (Agregado grueso). ....	159
Tabla 45: Contenido de humedad. (Agregado fino).....	159

Tabla 46: Peso específico y absorción del agregado grueso. ....	160
Tabla 47: Materiales finos que pasan el tamiz N°200 del agregado grueso.....	160
Tabla 48: Tabla resumen. Propiedades del agregado fino.....	160
Tabla 49: Resistencia promedio o Resistencia media requerida. ....	169
Tabla 50: Consistencia y asentamiento del concreto.....	169
Tabla 51: Selección de asentamiento. ....	169
Tabla 52: Volumen unitario de agua. ....	169
Tabla 53: Contenido de aire atrapado.....	170
Tabla 54: Relación agua cemento por resistencia. ....	170
Tabla 55: Modulo de Finura de la combinación de agregados.....	170
Tabla 56: Fluidez recomendada para morteros. ....	170
Tabla 57: Deformación unitaria & Esfuerzo a la compresión a la edad de 28 días (Código: C° Normal 11). ....	187
Tabla 58: Deformación unitaria & Esfuerzo a la compresión a la edad de 28 días (Código: C° Normal 12). ....	187
Tabla 59: Deformación unitaria & Esfuerzo a la compresión a la edad de 28 días (Código: C° Normal 13). ....	189
Tabla 60: Deformación unitaria & Esfuerzo a la compresión a la edad de 28 días (Código: C° Normal 14). ....	189
Tabla 61: Deformación unitaria & Esfuerzo a la compresión a la edad de 28 días (Código: C° Normal 15). ....	191
Tabla 62: Deformación unitaria & Esfuerzo a la compresión a la edad de 28 días (Código: Piedra 4 2b 11). ....	193
Tabla 63: Deformación unitaria & Esfuerzo a la compresión a la edad de 28 días (Código: Piedra 4 2b 12). ....	193
Tabla 64: Deformación unitaria & Esfuerzo a la compresión a la edad de 28 días (Código: Piedra 4 2b 13). ....	195
Tabla 65: Deformación unitaria & Esfuerzo a la compresión a la edad de 28 días (Código: Piedra 4 2b 14). ....	195
Tabla 66: Deformación unitaria & Esfuerzo a la compresión a la edad de 28 días (Código: Piedra 4 2b 15). ....	197
Tabla 67: Deformación unitaria & Esfuerzo a la compresión a la edad de 28 días (Código: C° 2b 11). ....	199
Tabla 68: Deformación unitaria & Esfuerzo a la compresión a la edad de 28 días (Código: C° 2b 12). ....	199
Tabla 69: Deformación unitaria & Esfuerzo a la compresión a la edad de 28 días (Código: C° 2b 13). ....	201
Tabla 70: Deformación unitaria & Esfuerzo a la compresión a la edad de 28 días (Código: C° 2b 14). ....	201
Tabla 71: Deformación unitaria & Esfuerzo a la compresión a la edad de 28 días (Código: C° 2b 15). ....	203
Tabla 72: Deformación unitaria & Esfuerzo a la compresión a la edad de 28 días (Código: Piedra 4 2b 11). ....	205
Tabla 73: Deformación unitaria & Esfuerzo a la compresión a la edad de 28 días (Código: Piedra 4 2b 12). ....	205
Tabla 74: Deformación unitaria & Esfuerzo a la compresión a la edad de 28 días (Código: Piedra 4 2b 13). ....	207
Tabla 75: Deformación unitaria & Esfuerzo a la compresión a la edad de 28 días (Código: Piedra 4 2b 14). ....	207
Tabla 76: Deformación unitaria & Esfuerzo a la compresión a la edad de 28 días (Código: Piedra 4 2b 15). ....	209

Tabla 77: Datos estadísticos de ensayo de Compresión. (Código: C° Normal) .....	210
Tabla 78: Tabla de Frecuencias de Ensayo a Compresión. (Código: C° Normal) .....	211
Tabla 79: Tabla de Frecuencias de Deformación Unitaria. (Código: C° Normal). .....	211
Tabla 84: Intervalo del 95% de confianza para la media. Resistencia a compresión. (Código: C° Normal). .....	212
Tabla 85: Intervalo del 95% de confianza para la media. Deformación unitaria. (Código: C° Normal). .....	213
Tabla 86: Promedio 2, 3 y 5 ensayos consecutivos. Esfuerzo a Compresión. (Código: C° Normal). .....	213
Tabla 87: Promedio 2, 3 y 5 ensayos consecutivos. Deformación Unitaria. (Código: C° Normal). .....	214
Tabla 88: Datos estadísticos de ensayo de Compresión. (Código: Piedra 4 2b). .....	216
Tabla 89: Tabla de Frecuencias de Ensayo a Compresión. (Código: Piedra 4 2b). .....	217
Tabla 90: Tabla de Frecuencias de Deformación Unitaria. (Código: Piedra 4 2b). .....	217
Tabla 95: Intervalo del 95% de confianza para la media. Resistencia a compresión. (Código: Piedra 4 2b). .....	218
Tabla 96: Intervalo del 95% de confianza para la media. Deformación unitaria. (Código: Piedra 4 2b). .....	218
Tabla 97: Promedio 2, 3 y 5 ensayos consecutivos. Esfuerzo a Compresión. (Código: Piedra 4 2b). .....	219
Tabla 98: Promedio 2, 3 y 5 ensayos consecutivos. Deformación Unitaria. (Código: Piedra 4 2b). .....	219
Tabla 99: Datos estadísticos de ensayo de Compresión. (Código: C° 2b). .....	222
Tabla 100: Tabla de Frecuencias de Ensayo a Compresión. (Código: C° 2b). .....	222
Tabla 101: Tabla de Frecuencias de Deformación Unitaria. (Código: C° 2b). .....	222
Tabla 106: Intervalo del 95% de confianza para la media. Resistencia a compresión. (Código: C° 2b). .....	224
Tabla 107: Intervalo del 95% de confianza para la media. Deformación unitaria. (Código: C° 2b). .....	224
Tabla 108: Promedio 2, 3 y 5 ensayos consecutivos. Esfuerzo a Compresión. (Código: C° 2b). .....	224
Tabla 109: Promedio 2, 3 y 5 ensayos consecutivos. Deformación Unitaria. (Código: C° 2b). .....	225
Tabla 110 : Análisis Descriptivo en IBM SPSS Statistics 22 .....	229
Tabla 111: Pruebas de normalidad en IBM SPSS Statistics 22.....	229
Tabla 112: Prueba estadística ANOVA en IBM SPSS Statistics 22.....	230
Tabla 113: Comparaciones múltiples en IBM SPSS Statistics 22. ....	231

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Detalle de cómo las bacterias rellenan los huecos con caliza.....	30
Figura 2:(a) Concreto antes de la curación, (b)Concreto después de la curación. ....	34
Figura 3: Estructura de una bacteria del género <i>Bacillus</i> .....	37
Figura 4:Las células teñidas con Gram de la cepa 12DX (a) de <i>Bacillus endophyticus</i> y la cepa 2DT T (b) se cultivaron en agar nutriente durante 48 horas. ....	37
Figura 5:Bacterias <i>Bacillus firmus</i> son varillas largas de < 0.9 µm. de diámetro, las esporas son elipsoidales y no causan abultamiento de los esporangios.....	38
Figura 6:Micrografías electrónicas de barrido de <i>Bacillus smithii</i> DSM 4216 <sup>T</sup> . (Bosma et al., 2016) .....	39
Figura 7: Células de <i>Bacillus farraginis</i> en medio agar plata después de 2 días de incubación a 30°C. ....	40
Figura 8: Morfología del género <i>Paenibacillus</i> . En el recuadro superior derecho se observa la forma de la endospora .....	41
Figura 9: Estructura de la endospora.....	43
Figura 10: Desarrollo de Endosporas .....	44
Figura 11: Disposición de la endospora bacteriana.....	45
Figura 12:Procedimiento de la tinción de espora. ....	45
Figura 13: Tinción de esporas de <i>Bacillus subtilis</i> . La flecha indica esta estructura en verde. Microscopía de campo claro (100x).....	45
Figura 14: Tiras medidoras de PH.....	47
Figura 15: Burbujeo catalasa positivo, carencia de burbujeo catalasa negativo. ....	47
Figura 16: Reacción positiva: un color rojo rosado en la superficie. Reacción negativa: falta de color rojo rosado. ....	48
Figura 17: Reacción positiva: Presencia de turbidez difusa en el medio. Reacción negativa: Presencia de crecimiento solo en el sitio de punción. ....	48
Figura 18: Reacción positiva: Precipitado de color negro. Reacción negativa: No presenta variación.....	49
Figura 19: Reacción positiva: Presenta un color rojo. Reacción negativa: No presenta variación. ....	49
Figura 20: Reacción positiva: Presenta una tendencia hacia el color azul. Reacción negativa: No presenta variación en su color original (verde). ....	50
Figura 21: Reacción positiva: Presenta una coloración rojo cereza. Reacción negativa: No presenta variación en su color original (rojo claro).....	50
Figura 22:Izquierda. Lecitinasas positiva. Derecha lecitinasas negativo. ....	51
Figura 23: Resultado negativo, sin crecimiento. B: Resultado positivo con presencia de gas (se pueden ver las burbujas dentro de la campana de Durham) y turbidez. C: Resultado positivo con mayor presencia de gas y turbidez. (se pueden ver las burbujas dentro de la campana de Durham) .....	51
Figura 24: (izquierda) Micrografía electrónica de barrido de un polvo de cemento con aumento de 1000X y (derecha) distribución del tamaño de las partículas del cemento portland. ....	58
Figura 25: Adaptación del proceso de autoreparación con aditivo bacteriano mediante la precipitación de CaCO <sub>3</sub> .....	60
Figura 26: Variación de las proporciones usadas en concreto, en volumen absoluto. Las barras 1 y 3 representan mezclas ricas con agregados de pequeño tamaño. Las barras 2 y 4 representan mezclas pobres con agregados gruesos grandes.....	61
Figura 27:Procedimiento esquemático de la prueba de Slump. ....	62
Figura 28: Formas que adopta la mezcla en la prueba de Slump. ....	62
Figura 29: Agua de exudación en la superficie del concreto recién colado en la losa. ....	63
Figura 30: Patrones de fisuración típicos en ángulos o esquinas reentrantes.....	69

Figura 31: Patrón de fisuración típico en el extremo entallado de una viga bajo cargas de servicio. ....	69
Figura 32: Zona de extracción de muestra de concreto viejo. ....	73
Figura 33: Zona de muestreo Campus UNC, (se extrajo muestras de tierra). ....	73
Figura 34: Zona de muestreo Campus UNC, (se extrajo muestras de roca). ....	73
Figura 35: Rocas utilizadas para muestreo. ....	73
Figura 36: Roca 1 utilizada para la extracción de muestra. ....	73
Figura 37: Roca 2 utilizada para la extracción de muestra. ....	73
Figura 38: Roca 3 fracturada, utilizada para la extracción de muestra. ....	74
Figura 39: Muestras en suspensión de roca, concreto y suelo. ....	74
Figura 40: Frascos estériles hirviendo para eliminar bacterias no resistentes a altas temperaturas. ....	74
Figura 41: a) Agar nutritivo utilizado para la preparación de placas de cultivo Petri.      b)	
Pesado de Agar nutritivo para la elaboración de placas Petri. ....	75
Figura 42: a) Agar nutritivo para el cultivo de las muestras. b) Material dentro del autoclave para esterilizar. c) Licuado de medio para verterlo en placas Petri. ....	75
Figura 43: a) Esterilización del aza circular para el sembrado en placas Petri. b) Placas luego la incubación (24 horas), preparadas para la prueba de coloración de endospora. ....	76
Figura 44: Coloración de endospora; a) preparación de lámina portaobjetos con cepas bacterianas. b) proceso de adición de verde malaquita, alcohol cetona y safranina c) flameado de láminas d) análisis en microscopio de endosporas. ....	76
Figura 45: a) Proceso de incubación de las 47 cepas bacterianas en viales estériles. b) Preparación de viales estériles para la conservación de las 45 cepas bacterianas. ....	77
Figura 46: Calcita Pura "c". Descripción: Bacilos cortos con espora ovalada central deformante (100x). ....	78
Figura 47: Tierra "1a". Descripción: Bacilos medianos en cadena con espora central esférica deformante. (100x). ....	78
Figura 48: C° "2b". Descripción: Bacilos cortos en cadena con espora central ovalada deformante. (100x). ....	78
Figura 49: C° "2a". Descripción: Bacilos cortos con espora central ovalada deformante. (100x). ....	78
Figura 50: Tierra "1b". Descripción: Bacilos cortos con espora ovalada central deformante (100x). ....	79
Figura 51: Piedra 4 "2b". Descripción: Bacilos cortos en cadena con espora central ovalada deformante. (100x). ....	79
Figura 52: Piedra 4 "1a". Descripción: Bacilos cortos en cadena con espora central ovalada deformante (100x). ....	79
Figura 53: Piedra Calcita "3b". Descripción: Bacilos cortos con espora ovalada central deformante (100x). ....	79
Figura 54: Piedra Calcita "3a". Descripción: Bacilos cortos con espora ovalada central deformante (100x). ....	80
Figura 55: Piedra 3 "1a". Descripción: Bacilos cortos con espora central ovalada deformante. (100x). ....	80
Figura 56: Piedra 3 "1b". Descripción: Bacilos cortos con espora ovalada central deformante (100x). ....	80
Figura 57: Piedra 1 "2b". Descripción: Bacilos cortos con espora ovalada central deformante. (100x). ....	80
Figura 58: Piedra 1 "2a". Descripción: Bacilos largos en cadena con espora central esférica (100x). ....	81
Figura 59: Piedra 2 "2b". Descripción: Bacilos cortos con espora central ovalada. (100x). ....	81

Figura 60: Piedra 2 "2a". Descripción: Bacilos cortos con espora central esférica deformante. (100x).	81
Figura 61: Vial 4 "b". Descripción: Bacilos cortos con espora ovalada central deformante (100x).	81
Figura 62: Vial 1 "b". Descripción: Bacilos cortos con espora central deformante ovalada. (100x).	82
Figura 63: Preparación de 17 placas Petri para la reactivación e identificación bacteriana.	82
Figura 64: Proceso de incubación de las 17 cepas bacterianas en placas Petri.	82
Figura 65: Reactivos utilizados en las pruebas de identificación bacteriana: de izquierda a derecha: 1. Agar Agar, 2. Glucosa monohidratada, 3. Sulfato de magnesio, 4. Cloruro de sodio, 5. Fosfato de sodio di básico, 6. Peptona.	83
Figura 66: Prueba de la catalasa positiva presenta un burbujeo. Prueba de catalasa negativa no presenta reacción.	84
Figura 67: a) medio de cultivo preparado y listo para la prueba de VP. b) No se presentó una tinción rosada indicadora de la presencia de acetoina, resultado negativo.	84
Figura 68: a) Medio de cultivo SIM. b) Tubos estériles con medio de cultivo y cepas bacterianas.	86
Figura 69: a) Medio de cultivo de Citrato De Simmons. b) Tubos estériles con medio de cultivo y cepas bacterianas.	87
Figura 70: Prueba de Citrato con resultados positivos.	87
Figura 71: a) Medio de cultivo Ureasa. b) Tubos estériles con medio de cultivo y cepas bacterianas que presentan un resultado negativo.	88
Figura 72: a) Preparación de medio de Lecitinasa. b) Placas estériles con medio de lecitinasa y cepas bacterianas.	89
Figura 73: Incubación de tubos con prueba de azúcares (Manitol, Arabinosa, Xilosa y Glucosa).	90
Figura 74: Prueba de manitol.	90
Figura 75: Prueba de arabinosa.	90
Figura 76: Prueba de glucosa.	91
Figura 77: Prueba de xilosa.	91
Figura 78: Prueba fermentación de hidratos de carbono, producción de gas positiva.	91
Figura 79: Procedimiento para la preparación y el control de calidad de la turbidez estándar de McFarland	93
Figura 80: Comparación de la turbidez estándar de 0.5 de McFarland con una suspensión bacteriana	94
Figura 81: Líneas de fondo para ver la turbidez de una suspensión de inóculo en comparación con la turbidez de McFarland.	94
Figura 82: Ubicación de la cantera La Victoria - Huayrapongo.	95
Figura 83: Cemento Portland compuesto Tipo I Co.	98
Figura 84: Molde prismático de 7.5x2.5x2.5 cm de láminas portaobjetos (a=7.5cm, b=2.5cm y c=2.5cm).	99
Figura 85: De izquierda a derecha: espátula, fuente de aluminio, frascos de plástico, probeta graduada de vidrio, moldes prismáticos elaborados a base de láminas porta objetos.	99
Figura 86: Viales 20ml y jeringa de 5ml.	100
Figura 87: Moldes cilíndrico para ensayo en concreto de acero y de plástico de 6"x12" de 4 mm de espesor.	100
Figura 88: De izquierda a derecha: martillo de goma, badilejo, cono de Abrams y varilla compactadora, cucharón.	101
Figura 89: Trompo mezclador de concreto de capacidad de 120lts eléctrico marca Bauker	101
Figura 90: Proceso de esterilización de los moldes con rayos UV en la Cámara de flujo laminar.	102

Figura 91: Proceso de elaboración de la mezcla. A) mezcla de materiales solidos arena y cemento. B) Adición de agua. C) Adición de aditivo Bacteriano. ....	103
Figura 92: Probeta prismática enrasada. ....	104
Figura 93: Probetas de concreto con adiciones bacterianas y sin adiciones bacterianas listas para el proceso de fragua. ....	104
Figura 94: Curado estándar de concreto bacteriano. ....	104
Figura 95: Elaboración de probetas cilíndricas de concreto bacteriano. ....	106
Figura 96: Curado de las probetas de concreto. ....	106
Figura 97: Ensayo de asentamiento de concreto bacteriano.....	107
Figura 98: Ensayo peso unitario del concreto bacteriano en estado fresco. ....	108
Figura 99: Esquema de los patrones de tipos de fracturas ....	109
Figura 100: Ensayo a compresión de concreto bacteriano. Izquierda: tesista. Derecha: Encargado de laboratorio. ....	109
Figura 101: Fisura 1 con aumentos de 10x, 50x y 100x de zoom. ....	116
Figura 102: Fisura 2 con aumentos de 10x y 50x.....	117
Figura 103: Fisura 3 con aumentos de 10x y 50x.....	118
Figura 104: Absorción del agregado grueso.....	161
Figura 105: Peso específico del agregado grueso. ....	161
Figura 106: Agregado sumergido para determinar peso específico aparente.....	161
Figura 107: Determinación del agregado fino en la condición de las SSS. ....	161
Figura 108: Peso unitario del agregado fino. ....	161
Figura 109: Análisis granulométrico.....	161
Figura 110: Conteo de esporas bacterianas por el método del tubímetro de Mc Farland para el (a) Pesaje de Cloruro de Bario (b) Pesaje de ácido sulfúrico (c) Frasco de ácido sulfúrico utilizado en la prueba (d) Tesista realizando el diseño del tubímetro de Mc Farland.....	172
Figura 111: Incubación para la reactivación bacteriana de las 17 cepas obtenidas.....	172
Figura 112: Materiales utilizados para la elaboración de caldo nutritivo para la incorporación en el concreto (de izquierda a derecha: 1. Urea, 2. bicarbonato de sodio, 3. cloruro de calcio, 4. cloruro de amonio y 5. caldo BHI).....	172
Figura 113: Aditivo bacteriano en concentraciones de 0.21 ml, 2 ml y 4 ml.....	173
Figura 114: Esterilización de los moldes prismáticos con rayos UV en la Cabina de flujo laminar.....	173
Figura 115: Proceso de elaboración de la mezcla. ....	173
Figura 116: Probetas de concreto con adiciones bacterianas y sin adiciones bacterianas en proceso de fragua. ....	173
Figura 117: Probetas de concreto a las 24 horas de edad.....	173
Figura 118: Probetas desencofradas. ....	174
Figura 119: Proceso de curado de probetas prismáticas de concreto. ....	174
Figura 120: Proceso de fisuramiento de las probetas prismáticas de concreto con y sin aditivo bacteriano incorporado.....	174
Figura 121: Probetas prismáticas esterilizadas en autoclave sin aditivo bacteriano a los 7 días de edad preparadas para el proceso de inyección de aditivo bacteriano. ....	174
Figura 122: Probetas prismáticas fisuradas preparadas para el proceso de análisis de precipitación de carbonato de calcio a nivel microscópico. ....	175
Figura 123: Proceso de aplicación de aditivo bacteriano en probetas prismáticas fisuradas. ...	175
Figura 124: Proceso de incubación de aditivo bacteriano (cepas bacterianas) superficialmente por inyección por un periodo de 24 horas. ....	175
Figura 125: Probeta Piedra 4 2b 2. (a) vista interna de la fisura inducida (b) vista de discontinuidades y fisuras con contracción y secado presentes en el concreto. Evaluación a los 14 días. ....	176



Figura 126: Probeta Piedra 4 2b 2. (a) vista interna de la fisura inducida (b) vista de discontinuidades y fisuras con contracción y secado presentes en el concreto. Evaluación a los 28 días. ....	176
Figura 127: Probeta C° 2b 1. (a) vista interna de la fisura inducida (b) vista de discontinuidades y fisuras con contracción y secado presentes en el concreto. Evaluación a los 14 días. ....	176
Figura 128: Probeta C° 2b 1. (a) vista interna de la fisura inducida (b) vista de discontinuidades y fisuras con contracción y secado presentes en el concreto. Evaluación a los 28 días. ....	176
Figura 129: Probeta Piedra 4 2b con 0.21 ml de Aditivo Bacteriano. (a) vista interna de la fisura inducida (b) vista de discontinuidades y fisuras superficiales presentes en el concreto. Evaluación a los 3 días. ....	177
Figura 130: Probeta Piedra 4 2b con 0.21 ml de Aditivo Bacteriano. (a) vista interna de la fisura inducida (b) vista de discontinuidades y fisuras superficiales presentes en el concreto. Evaluación a los 28 días. ....	177
Figura 131: Probeta Piedra 4 2b con 2 ml de Aditivo Bacteriano. (a) vista interna de la fisura inducida (b) vista de discontinuidades y fisuras superficiales presentes en el concreto. Evaluación a los 14 días. ....	177
Figura 132: Probeta Piedra 4 2b con 2 ml de Aditivo Bacteriano. (a) vista interna de la fisura inducida (b) vista de discontinuidades y fisuras superficiales presentes en el concreto. Evaluación a los 28 días. ....	177
Figura 133: Probeta C° 3b 0.21 ml de Aditivo Bacteriano. (a) vista interna de la fisura inducida (b) vista de discontinuidades y fisuras superficiales presentes en el concreto. Evaluación a los 14 días. ....	178
Figura 134: Probeta C° 3b 0.21 ml de Aditivo Bacteriano. (a) vista interna de la fisura inducida (b) vista de discontinuidades y fisuras superficiales presentes en el concreto. Evaluación a los 28 días. ....	178
Figura 135: Probeta C° 3b 2 ml de Aditivo Bacteriano. (a) vista interna de la fisura inducida (b) vista de discontinuidades y fisuras superficiales presentes en el concreto. Evaluación a los 14 días. ....	178
Figura 136: Probeta C° 3b 2 ml de Aditivo Bacteriano. (a) vista interna de la fisura inducida (b) vista de discontinuidades y fisuras superficiales presentes en el concreto. Evaluación a los 28 días. ....	178
Figura 137: Esterilización de agar nutritivo. ....	179
Figura 138: Placas Petri sin y con agar nutritivo. Incubación de cepas bacterianas. ....	179
Figura 139: Incubación después de 24 horas. ....	179
Figura 140: Frascos con medio de cultivo. ....	179
Figura 141: Esterilización del medio de cultivo en autoclave. ....	179
Figura 142: 1. Medio de cultivo esterilizado y placas Petri con medio de cultivo. 2. Incubación de aditivo bacteriano por 24 horas. ....	180
Figura 143: Mezclado de los materiales en trompo mezclador. ....	180
Figura 144: Supervisión del Doctor Marco Rivera durante la elaboración de concreto con aditivo bacteriano. ....	180
Figura 145: Incorporación de aditivo bacteriano al agua de mezcla. ....	181
Figura 146: Proceso de medida del Slump de concreto bacteriano. ....	181
Figura 147: Izquierda: Medida del Slump de concreto bacteriano. Derecha: Llenado de moldes de concreto. ....	181
Figura 148: Probetas cilíndricas en proceso de fragua. ....	182
Figura 149: Desencofrado de probetas cilíndricas. ....	182
Figura 150: Curado de probetas cilíndricas. ....	182
Figura 151: Probetas cilíndricas a los 28 días antes del ensayo a compresión. ....	183
Figura 152: Ruptura de probetas cilíndricas a los 28 días. Vista de tipos y modos de falla. ....	183

Figura 153: Ruptura de probetas cilíndricas a los 28 días. Izquierda: Tesista. Derecha: Encargado de laboratorio. ....	183
Figura 154: Ruptura de probetas cilíndricas a los 28 días. Vista general de todas las probetas ensayadas.....	184
Figura 155: Ruptura de probetas cilíndricas a los 14 días. Vista de tipos y modos de falla. ....	184
Figura 156: Ruptura de probetas cilíndricas a los 14 días. Izquierda: Tesista. Derecha: Encargado de laboratorio. ....	184
Figura 157: Ruptura de probetas cilíndricas a los 7 días. Vista de tipos y modos de falla. ....	185
Figura 158: Ruptura de probetas cilíndricas a los 7 días. Izquierda: Tesista. Derecha: Encargado de laboratorio. ....	185
Figura 159: Ruptura de probetas cilíndricas a los 7 días. Tesista. ....	185
Figura 160: Sustentación privada, de izquierda a derecha: Vocal: Ing. Marcos Mendoza Linares. Co-asesor: Dr. Marco Rivera Jacinto. Secretario: Ing. Marco Hoyos Saucedo. Presidente: M. Cs. Ing. Hugo Miranda Tejada. Asesor: Dr. Ing. Miguel Mosqueira Moreno. Tesista: Bach. Ing. Dennis Asenjo Alarcón. ....	186

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Diagrama comparativo de la resistencia a la compresión entre los 7 y 28 días vs cantidad de bacterias..	34
Gráfico 2: Gráfico del esfuerzo a la compresión de concreto bacteriano vs dosificación de cel./ml de bacteria (M30).	35
Gráfico 3: Diagrama de flujo del procedimiento experimental.	72
Gráfico 4: Resistencia a la Compresión vs Peso Unitario del concreto fresco. (C° Normal).	121
Gráfico 5: Resistencia a la Compresión vs Peso Unitario del concreto endurecido. (C° Normal).	121
Gráfico 6: Variación de valores de $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> ) a las edades de 7,14 y 28 días (C° Normal).	122
Gráfico 7: Variación del $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> ) a las edades de 7,14 y 28 días en porcentaje % (C° Normal)	122
Gráfico 8: Resistencia a la Compresión vs Peso unitario del concreto fresco (C° 2b).	124
Gráfico 9: Resistencia a la Compresión vs Peso unitario del concreto endurecido (C° 2b).	124
Gráfico 10: Variación de valores de $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> ) a las edades de 7,14 y 28 días (C° 2b).	125
Gráfico 11: Variación del $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> ) a las edades de 7,14 y 28 días en porcentaje % (C° 2b)	125
Gráfico 12: Resistencia a la Compresión vs Peso unitario del concreto fresco (Piedra 4 2b).	127
Gráfico 13: Resistencia a la Compresión vs Peso unitario del concreto endurecido (Piedra 4 2b).	127
Gráfico 14: Variación de valores de $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> ) a las edades de 7,14 y 28 días (Piedra 4 2b).	128
Gráfico 15: Variación del $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> ) a las edades de 7,14 y 28 días en porcentaje % (Piedra 4 2b)	128
Gráfico 19: Análisis Comparativo Global de $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> ) a las edades de 7,14 y 28 días de las tres series de probetas.	129
Gráfico 24: Histograma comparativo de la variación del $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> ) a la edad de 28 días.	129
Gráfico 25: Histograma comparativo de la variación del $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> ) en porcentaje a la edad de 28 días.	130
Gráfico 26: Diagramas de caja y bigotes para comparar grupos según resistencia a la compresión en IBM SPSS Statistics (kg/cm <sup>2</sup> ).	130
Gráfico 27: Curva de distribución granulométrica. Agregado fino (ensayo n° 01).	151
Gráfico 28: Curva de distribución granulométrica. (ensayo n° 02).	152
Gráfico 29: Curva de distribución granulométrica. (ensayo N° 02).	153
Gráfico 30: Curva de distribución granulométrica. del agregado grueso (ensayo n° 01).	157
Gráfico 31: Curva de distribución granulométrica del agregado grueso (ensayo n° 02).	157
Gráfico 32: Curva de distribución granulométrica del agregado grueso (ensayo N° 03).	158
Gráfico 33: Resistencia a la compresión vs relación agua-cemento. (Rivera,2002)	171
Gráfico 34: Resistencia a la compresión vs Contenido de cemento. (Rivera,2002)	171
Gráfico 35: Esfuerzo a compresión vs Deformación unitaria a la edad de 28 días (Código: C° Normal 11).	188
Gráfico 36: Esfuerzo a compresión vs Deformación unitaria a la edad de 28 días (Código: C° Normal 12).	188
Gráfico 37: Esfuerzo a compresión vs Deformación unitaria a la edad de 28 días (Código: C° Normal 13).	190
Gráfico 38: Esfuerzo a compresión vs Deformación unitaria a la edad de 28 días (Código: C° Normal 14).	190
Gráfico 39: Esfuerzo a compresión vs Deformación unitaria a la edad de 28 días (Código: C° Normal 15).	192

Gráfico 40: Esfuerzo a compresión vs Deformación unitaria a la edad de 28 días (Código: Piedra 4 2b 11).	194
Gráfico 41: Esfuerzo a compresión vs Deformación unitaria a la edad de 28 días (Código: Piedra 4 2b 12).	194
Gráfico 42: Esfuerzo a compresión vs Deformación unitaria a la edad de 28 días (Código: Piedra 4 2b 13).	196
Gráfico 43: Esfuerzo a compresión vs Deformación unitaria a la edad de 28 días (Código: Piedra 4 2b 14).	196
Gráfico 44: Esfuerzo a compresión vs Deformación unitaria a la edad de 28 días (Código: Piedra 4 2b 15).	198
Gráfico 45: Esfuerzo a compresión vs Deformación unitaria a la edad de 28 días (Código: C° 2b 11).	200
Gráfico 46: Esfuerzo a compresión vs Deformación unitaria a la edad de 28 días (Código: C° 2b 12).	200
Gráfico 47: Esfuerzo a compresión vs Deformación unitaria a la edad de 28 días (Código: C° 2b 13).	202
Gráfico 48: Esfuerzo a compresión vs Deformación unitaria a la edad de 28 días (Código: C° 2b 14).	202
Gráfico 49: Esfuerzo a compresión vs Deformación unitaria a la edad de 28 días (Código: C° 2b 15).	204
Gráfico 50: Esfuerzo a compresión vs Deformación unitaria a la edad de 28 días (Código: Piedra 4 2b 11).	206
Gráfico 51: Esfuerzo a compresión vs Deformación unitaria a la edad de 28 días (Código: Piedra 4 2b 12).	206
Gráfico 52: Esfuerzo a compresión vs Deformación unitaria a la edad de 28 días (Código: Piedra 4 2b 13).	208
Gráfico 53: Esfuerzo a compresión vs Deformación unitaria a la edad de 28 días (Código: Piedra 4 2b 14).	208
Gráfico 54: Esfuerzo a compresión vs Deformación unitaria a la edad de 28 días (Código: Piedra 4 2b 15).	210
Gráfico 55: Histograma: Esfuerzo a Compresión. (Código: C° Normal).	211
Gráfico 56: Histograma: Deformación Unitaria. (Código: C° Normal).	212
Gráfico 57: Promedio de 2 ensayos consecutivos de resistencia a la compresión. (Código: C° Normal).	214
Gráfico 58: Promedio de 3 y 5 ensayos consecutivos a Compresión. (Código: C° Normal).	215
Gráfico 59: Promedio de 2 ensayos consecutivos. Deformación unitaria. (Código: C° Normal).	215
Gráfico 60: Promedio de 3 y 5 ensayos consecutivos. Deformación unitaria. (Código: C° Normal).	216
Gráfico 61: Histograma: Esfuerzo a Compresión. (Código: Piedra 4 2b).	217
Gráfico 62: Histograma: Deformación Unitaria. (Código: Piedra 4 2b).	218
Gráfico 63: Promedio de 2 ensayos consecutivos de resistencia a la compresión. (Código: Piedra 4 2b).	220
Gráfico 64: Promedio de 3 y 5 ensayos consecutivos a Compresión. (Código: Piedra 4 2b).	220
Gráfico 65: Promedio de 2 ensayos consecutivos. Deformación unitaria. (Código: Piedra 4 2b).	221
Gráfico 66: Promedio de 3 y 5 ensayos consecutivos. Deformación unitaria. (Código: Piedra 4 2b).	221
Gráfico 67: Histograma: Esfuerzo a Compresión. (Código: C° 2b).	223
Gráfico 68: Histograma: Deformación Unitaria. (Código: C° 2b).	223

Gráfico 69: Promedio de 2 ensayos consecutivos de resistencia a la compresión. (Código: C° 2b). .....	225
Gráfico 70: Promedio de 3 y 5 ensayos consecutivos a Compresión. (Código: C° 2b). .....	226
Gráfico 71: Promedio de 2 ensayos consecutivos. Deformación unitaria. (Código: C° 2b). ....	226
Gráfico 72: Promedio de 3 y 5 ensayos consecutivos. Deformación unitaria. (Código: C° 2b). .....	227
Gráfico 73: Diagramas de caja y bigotes para comparar grupos según deformación en IBM SPSS Statistics (mm x 10 <sup>-3</sup> ).....	230

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Proceso bioquímico de precipitación de $\text{CaCO}_3$ . .....	59
Ecuación 2: Módulo de fineza de la combinación de agregados. ....	66
Ecuación 3: Módulo de elasticidad .....	110

## RESUMEN

En la ciudad de Cajamarca, existen diversos tipos de construcciones que presentan fallas en su comportamiento estructural y en su tiempo de vida útil debido a la presencia de fisuras y/o grietas, lo que se traduce como un corto tiempo de duración de las mismas y por ende un mayor costo de mantenimiento y reparación. En la presente investigación se buscó la obtención de un tipo especial de concreto con adiciones de aditivo bacteriano, se había previsto que dicho compuesto alargue la vida útil de las estructuras de concreto mediante la autoreparación de dichas estructuras sin la intervención de la mano del hombre, lo cual beneficiaría enormemente al sector construcción y el medio ambiente. En el presente trabajo se presenta el proceso de muestreo, aislamiento e identificación bacteriana para la producción de aditivo bacteriano y su posterior incorporación en probetas de concreto de  $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$  las mismas que fueron sometidas a ensayos de compresión elaborados de acuerdo a las normas de elaboración y curado de especímenes de concreto NTP 339.183, ensayo a compresión de probetas NTP 339.078; las cuales fueron ensayadas a los 7, 14 y 28 días de edad; y de probetas prismáticas que fueron utilizadas en la evaluación de la reparación del fisuramiento a nivel microscópico. Se aislaron e identificaron en total 17 cepas bacterianas que tenían presencia de endospora, en una primera etapa estas cepas se incorporaron a la mezcla de mortero en una concentración de aproximadamente  $3 \times 10^8$  cepas bacterianas por ml diluidas en caldo nutritivo, la aplicación se realizó tanto en la superficie de la probeta prismática de mortero como a la mezcla durante la elaboración de la misma; de las cuales 2 cepas precipitaron carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), las cuales fueron cepas de *Paenibacillus lactis* con una similaridad de acuerdo al software ABIS del 80.2% y *Bacillus firmus* con una similaridad de acuerdo al software ABIS del 83.4%. Estas dos últimas en la misma concentración de aproximadamente  $3 \times 10^8$  cepas bacterianas por ml, se utilizaron para la elaboración de probetas cilíndricas, las cuales conformaron dos tipos de aditivo bacteriano que fue añadido a la mezcla de concreto. La incorporación de aditivo bacteriano se realizó superficialmente, y por otro lado se incorporó a la mezcla mortero, obteniendo resultados similares, ya que en ambos casos se observó la precipitación de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ); para la mezcla de concreto se optó por incorporar el aditivo bacteriano directamente a la mezcla. Finalmente, se calculó el porcentaje de reparación de las fisuras en el concreto; en la fisura 1 (2mm) de las cepas de *Paenibacillus lactis* repararon la fisura en un 70%; en la fisura 2 (1mm) las mismas cepas repararon la fisura en un 80.6%, y en la fisura 3 (1mm) las cepas de *Bacillus firmus* repararon la fisura en un 68.3% a los 28 días; también se evaluó la resistencia a la compresión de los especímenes de bioconcreto, así como de concreto sin adiciones y se observó que el aditivo bacteriano aumenta la resistencia a compresión, en el caso de las cepas de *Paenibacillus lactis* en un 35.68% y en el caso de las cepas de *Bacillus firmus* en un 14.08% en comparación con el concreto sin adiciones, quedando determinada la influencia de la incorporación del aditivo bacteriano, siendo positiva en el proceso de reparación de la fisuración controlada del concreto y su resistencia mecánica, ya que mejora considerablemente dichos parámetros.

### Palabras clave:

Bacteria, *Bacillus*, *Paenibacillus*, *Brevibacillus*, Bioconcreto, precipitación de calcita, carbonato de calcio, fisuras, resistencia a la compresión.

## ABSTRACT

In Cajamarca city, there are several types of buildings that have flaws in their structural behavior and lifetime due to the presence of fissures and/or cracks, which translates as a short time of life of them and therefore a higher cost of maintenance and repair. In the present investigation we sought to obtain a special type of concrete with additions of bacterial additive, it was foreseen that this compound would extend the useful life of the concrete structures through the self-repair of the structures without the intervention of the human hand, which would greatly benefit the construction sector and the environment. In the present work the process of sampling, isolation and bacterial identification for the production of bacterial additive and its subsequent incorporation in concrete specimens of  $f'c = 250 \text{ kg / cm}^2$ , the same ones that were subjected to compression test elaborated according to the norms of elaboration and curing of specimens of concrete NTP. 339.183., compression test of specimens. NTP 339.034; which were tested at 7, 14 and 28 days of age; and of prismatic specimens that were used in the evaluation of crack repair at the microscopic level. A total of 17 bacterial strains that had the presence of endospore were isolated and identified, in a first stage these strains were incorporated into the mortar mixture in a concentration of approximately  $3 \times 10^8$  bacterial strains per ml diluted in nutrient broth, the application was carried out both, in the surface of the prismatic mortar specimen as to the mixture during its elaboration; of which 2 strains precipitated calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ), which were strains of *Paenibacillus lactis* with a similarity according to the ABIS software of 80.2% and *Bacillus firmus* with a similarity according to the ABIS software of 83.4%. These last two in the same concentration of approximately  $3 \times 10^8$  bacterial strains per ml, were used for the preparation of cylindrical specimens, which formed two types of bacterial additive that was added to the concrete mixture. The bacterial additive update was carried out superficially, and on the other hand it was incorporated into the mortar mixture, obtaining similar results, because in both cases the precipitation of calcium carbon ( $\text{CaCO}_3$ ) was found; for the concrete mixture it was decided to incorporate the bacterial additive directly into the mixture. Finally, the percentage of repair of cracks in concrete was calculated; in fissure 1 (2mm) of the *Paenibacillus lactis* strains repaired the fissure by 70%; in fissure 2 (1mm) the same strains repaired the fissure in 80.6%, and in fissure 3 (3mm) the strains of *Bacillus firmus* repaired the fissure in 68.3% at 28 days; the compressive strength of the bioconcrete specimens, as well as concrete without additions was also evaluated and it was observed that the bacterial additive increases the compressive strength, in the case of *Paenibacillus lactis* strains by 35.68% and in the case of *Bacillus firmus* strains by 14.08% compared with concrete without additions, the influence of the incorporation of the bacterial additive was determined, being positive in the repair process of the controlled cracking of concrete and its mechanical resistance, because it improves considerably those parameters.

### Keywords:

Bacterium, *Bacillus*, *Paenibacillus*, *Brevibacillus*, Bioconcreto, calcite precipitation, calcium carbonate, fissures, compressive strength.



## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.**

La sociedad avanza a pasos agigantados, la misma que exige que cada vez se tengan nuevos y mejores materiales de construcción que brinden una durabilidad adecuada.

En el presente trabajo se muestra el proceso de muestreo, aislamiento, elaboración y análisis comparativo de un total de 17 cepas bacterianas, su posterior aplicación en la mezcla de diseño de concreto y su adición superficial en probetas de concreto previamente elaboradas, en la cuales se buscó estudiar y analizar los beneficios que pueden aportar en el momento que aparezcan las fisuras o grietas en el concreto convencional, con la finalidad de repararlas automáticamente sin la intervención de la mano del hombre.

Si se proyecta a futuro los beneficios en cuanto a mantenimiento y reparación de estructuras de concreto que este nuevo material nos puede brindar estaríamos dando un paso gigantesco en el ámbito de las construcciones ecológicas, que guarden una armonía con el medio ambiente y disminuyan el detrimento contra el mismo.

### **1.1.Planteamiento del problema.**

En las estructuras de concreto las fisuras pueden indicar importantes problemas estructurales y deslucir el aspecto de las construcciones monolíticas. (ACI, 2001). La fisuración del concreto es atribuible a numerosas causas. Las fisuras pueden sólo afectar la apariencia de una estructura (funcional), pero también pueden indicar fallas estructurales significativas o falta de durabilidad. Las fisuras pueden representar la totalidad del daño, pero también pueden señalar problemas de mayor magnitud. Su importancia depende del tipo de estructura, como así también de la naturaleza de la fisuración. Por ejemplo, fisuras que pueden ser aceptables para un edificio residencial pueden no serlo para una estructura para almacenamiento de líquidos (ACI, 1993).

Debido a factores externos e internos que provocan fisuras en todas las estructuras de concreto, provocando la disminución de su vida útil, y por ende un costo elevado a largo plazo de las mismas.

Por lo tanto, se prevé que con esta nueva tecnología se podrá desarrollar, mediante el uso de un proceso microbiano selectivo del relleno de las grietas, un concreto “especial” denominado “Concreto Bacteriano” o “Bioconcreto”, en el cual las bacterias se introducen en los morteros y el concreto, con la finalidad de mitigar el fisuramiento del concreto. (Mohanasundharam et. al,2014).

Las propiedades de control del bioconcreto se estudiaron mediante la realización de ensayos de resistencia a la compresión y control de agrietamiento.

## **1.2. Formulación del problema**

El problema de investigación se sintetizó con la siguiente pregunta:

*¿Cómo influye la incorporación del aditivo bacteriano en la reparación del proceso de fisuración controlada del concreto?*

## **1.3. Hipótesis de investigación**

Hipótesis general: *La incorporación del aditivo bacteriano en el proceso de fisuración controlada del concreto, influye reparando el fisuramiento estructural y mejora su resistencia mecánica.*

## **1.4. Variables de la investigación**

### **1.4.1. Variables independientes**

✓ El “Aditivo” bacteriano

### **1.4.2. Variables dependientes.**

✓ Porcentaje de reparación del fisuramiento  
✓ Resistencia a la compresión

## 1.5. Operacionalización de variables

VARIABLES	TIPO	INDICADOR
“Aditivo” bacteriano	Independiente	%
Porcentaje de reparación del fisuramiento	Dependiente	Disminuye, constante, aumenta
Resistencia a la Compresión	Dependiente	Disminuye, constante, aumenta

*Tabla 1: Operacionalización de variables.*

## 1.6. Justificación de la investigación

Las características de crecimiento en la industria de la construcción en el Perú, mencionan que el sector construcción crecerá 3.3 %, según proyecciones del Banco Central de Reserva (BCR,2017); lo que amerita que se introduzcan nuevos materiales sustentables, que perduren en el tiempo, que se economicen en su aplicación, mantenimiento y que guarden una relación de armonía con el medio ambiente.

La utilización de bioconcreto implica que los problemas de durabilidad pueden abordarse en una forma diferente en el diseño de estructuras de concreto. El bioconcreto sería ideal para la construcción, por ejemplo, de túneles subterráneos de residuos peligrosos, puentes, carreteras, presas, viaductos, etc. pues ningún ser humano tendría que ingresar a la edificación para reparar grietas que en este ocurren. (Jonkers, 2007), evitando así, poner en riesgo la vida del hombre.

Al ser la presente investigación un tema novedoso se proyecta como la base para las futuras investigaciones que personas afines puedan desarrollar tanto a nivel de nuestra universidad, regional, nacional e internacional.

## 1.7. Alcances y delimitación de la investigación

### 1.7.1. Alcances

La investigación se centró en crear las condiciones adecuadas para las bacterias, con la finalidad de que estas puedan producir tanta calcita como sea posible y en la optimización de la distribución de alimentos para las bacterias. Además, también se analizó la capacidad de autoreparación de bioconcreto.

Finalizando el presente trabajo de investigación, se obtuvo un nuevo concreto, que se fundamenta en la interrelación con el medio ambiente, y el aspecto ecológico que será una proyección a las construcciones del futuro; se deja la base para una nueva línea de investigación, así como para las construcciones del futuro dentro el campo de la ingeniería civil a nivel global.

Esta investigación está dirigida a los miembros de la comunidad científica, representantes del rubro de la construcción civil, ingenieros, estudiantes y demás personas afines.

### **1.7.2. Delimitación.**

La presente investigación se realizó utilizando agregados de la cantera del Rio Mashcon (La Victoria) ubicada a orillas del rio del mismo nombre, Cemento Portland Tipo I Co, aditivo bacteriano, y agua del campus universitario, materiales representativos de la localidad de Cajamarca, por lo que el estudio se circunscribe a la localidad de Cajamarca con los factores climáticos que esta presenta.

Esta tesis se inició en la segunda semana del mes de julio del 2018, por lo que la información y normativa obtenida de las NTP, Normas ASTM o recomendaciones ACI, pueden variar respecto a los siguientes años.

En la presente investigación no se evaluó la interacción del aditivo bacteriano con el concreto reforzado con acero, ni tampoco se evaluó el módulo de ruptura del concreto.

Todos los estudios referentes al diseño de la mezcla de concreto fueron realizados en el laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca y los ensayos para obtener el aditivo bacteriano se realizaron en el Laboratorio de Microbiología de la misma universidad.

### **1.8. Limitaciones**

En Perú, aún no ha sido estudiado el bioconcreto, la escasa información en nuestro medio se convierte en una limitante.

La presente investigación también estuvo limitada por el uso de un solo tipo de cemento, agregado grueso y fino obtenido de una sola cantera.

Al no evaluar la interacción del aditivo bacteriano con el acero, esto se convierte en una limitante.

No contar con ciertos equipos de laboratorio como un microscopio electrónico de barrido, ciertos medios de cultivo, instrumentos de medición de fisuras, entre otros, se convierte en una limitante.

Según Jonkers, et al, (2007); no hay límite para el largo de la grieta que este material puede reparar, desde centímetros a kilómetros. Para el ancho, sin embargo, sí hay límite: las grietas no deben tener una amplitud mayor a 8 milímetros.

## **1.9. Objetivos**

### **1.9.1. Objetivo general**

✓ Determinar la influencia de la incorporación del aditivo bacteriano en el proceso de reparación de la fisuración controlada del concreto.

### **1.9.2. Objetivos específicos**

✓ Aislar e identificar bacterias que produzcan la precipitación de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

✓ Determinar la resistencia a la compresión de los testigos de bioconcreto.

✓ Calcular el porcentaje de reparación de las fisuras en el concreto.

## **1.10. Descripción general de los contenidos**

### **1.10.1. Capítulo I. Introducción**

En este capítulo se manifiesta los aspectos generales de la presente investigación en cuanto a la proyección de la misma de acuerdo al contexto y problema a tratar, basado en una hipótesis general, resaltando la justificación, alcances, los objetivos y descripción de los contenidos de los capítulos siguientes.

### **1.10.2. Capítulo II. Marco Teórico**

En este capítulo se expone en estado de arte las investigaciones más resaltantes hasta la fecha sobre la elaboración de concreto autorreparable, enmarcando las conclusiones a las que arribaron las mismas. Además, se exponen los fundamentos teóricos que sirvieron para el desarrollo de la presente investigación.

### **1.10.3. Capítulo III. Materiales y métodos**

Se expone la ubicación geográfica de la realización de la investigación, así como los procedimientos detallados y ordenados cronológicamente, además de los métodos utilizados; y también el análisis estadístico de los datos obtenidos.

### **1.10.4. Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados.**

Se describe, explica y se discute los resultados obtenidos en concordancia a los objetivos preestablecidos, además se contrasta los resultados obtenidos con trabajos expuestos en el marco teórico.

### **1.10.5. Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones**

Se exponen las conclusiones que se obtuvieron de acuerdo a los objetivos que tuvo la investigación además se resaltan las recomendaciones principales que deben tener los futuros investigadores que deseen ampliar los conocimientos del tema en cuestión.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes teóricos

#### 2.1.1. Antecedentes Nacionales.

No se encontraron antecedentes nacionales referentes al presente tema de investigación

#### 2.1.2. Antecedentes Internacionales.

**Jonkers, et al, (2007)**, en Delft, Holanda; trabajaron con el concreto incorporándole una bacteria que permanece latente en sus esporas y si al concreto le es producida una fisura por la que entra humedad, estas bacterias salen de su letargo, en combinación con el agua y más nutrientes, producen piedra caliza reparando así los agujeros y fisuras de la pieza dañada.



*Figura 1: Detalle de cómo las bacterias rellenan los huecos con caliza.  
(Jonkers et. al, 2007)*

**Mohanasundharam et. al, (2014)**, en Tamil Nadu, India; presentaron un trabajo experimental en concreto, como una nueva técnica que se desarrolló mediante el uso de un proceso microbiano selectivo del taponamiento en las fisuras del concreto, tal pensamiento tendió a conducir al desarrollo de un concreto muy especial conocido como concreto bacteriano donde las bacterias se indujeron en los morteros y concreto para curar las fallas. En este estudio, las bacterias de *Bacillus sphaericus* se utilizaron en una concentración de  $1 \times 10^6$  células/ml.

Las propiedades de control de concreto normal y concreto bacteriano se estudiaron mediante la realización de varias pruebas tales como resistencia a la compresión,

fractura y prueba de resistencia a la flexión con diversos grados de 30 megapascales (M30), 20 megapascales (M20) y 25 megapascales (M25). Este estudio mostró un aumento significativo en la resistencia, y también se observó la precipitación de carbonato de calcio en las microfisuras que el concreto presentaba.

El porcentaje de aumento en la prueba de resistencia a la compresión a los 7 días de curado fueron 6,22%, 4,23% y 4,85% para grado M20, M25 y M30 de concreto respectivamente. Del mismo modo, a los 28 días de curado, son de 7,62%; 5,02% y 6,92% para un grado de M20, M25 y M30 de concreto respectivamente. La resistencia a la fractura de especímenes cilíndricos al final de 7 días registro un aumento porcentual de 9,04%, 13,62% y 10,73% para grado M20, M25 y M30 de concreto respectivamente. Del mismo modo, durante 28 días de curado fueron de 3,07%; 1,41%; 1,82% para grado M20, M25 y M30 de resistencia del concreto respectivamente.

**Ardeshana et. al, (2016)** en Kalol, India; presentaron un trabajo de investigación que describe que existen millones de bacterias, y algunas de ellas pueden ser utilizados en la industria de la construcción para la mejora de la construcción en general. Recientemente, se encontró que producen la precipitación mineral microbiana como resultado de actividades metabólicas de dichos microorganismos que son favorables en el concreto, ya que mejoraron el comportamiento general del hormigón, el proceso puede ocurrir dentro o fuera de la célula microbiana o incluso a cierta distancia del concreto. Se obtuvieron los siguientes resultados

- La resistencia del concreto se incrementó cerca del 19% al 22,62% mediante la incorporación de las bacterias de *Bacillus* y *Escherichia coli* en él.
- La resistencia del concreto fue mejorada en una concentración de  $10^6$  y  $10^7$  células/ml. de agua en el concreto.
- La durabilidad del concreto fue mejorada en comparación al concreto convencional con la incorporación de *Bacillus* y *Sporosarcina pasteurii* en él.
- En general mejoró el rendimiento del concreto con el uso de bacterias y se supuso que conducirá a mejorar las prácticas de construcción en un futuro próximo.



**Salmabanu et. al, (2015)** en Jaipur, India; presentaron un trabajo en hormigón (concreto) con la utilización de adiciones bacterianas, el cual tuvo las siguientes conclusiones:

- La reparación de las grietas en el hormigón, se dio cuando bacterias produjeron carbonato de calcio como un cristal que bloqueo las grietas y lo repararon.
- Encontraron que las bacterias mejoran las propiedades de hormigón convencional tales como aumento la resistencia a la flexión de 13.75% en 3 días, 14.28% en 7 días y 18.35% en 28 días. La precipitación de carbonato de calcio disminuyo la permeabilidad de agua y el ancho de grietas de 0.5 mm a 0,35 mm.
- La resistencia a la compresión aumento en un 30.76% en 3 días, 46.15% en 7 días y el 32.21% en 28 días y con matemática modal se encontró que el hormigón (concreto) bacteriano mostro un mejor valor de la resistencia a la tensión en comparación con el hormigón normal para el mismo grado de resistencia de hormigón.
- Se observó que las grietas en el concreto que contiene agregado de peso ligero, se autorepararon, además, que el ancho de las grietas reparadas fue inferior a 0.46 mm hormigón bacteriano.

**Manikandan et. al, (2015)** en Tamil Nadu, India; presentaron una investigación que mostro la importancia de la precipitación de calcita por *Bacillus subtilis*, la cual fue eficaz en el sellado de las grietas presentes en el hormigón (concreto). Además, se confirmó que este nuevo concreto bacteriano, en el cual se produce la precipitación de calcita, es no sólo factible, sino también rentable. Finalmente se concluyó que el desarrollo de concreto bacteriano servirá de base para una alternativa de alta calidad como sellador de concreto en última instancia conducirán a la mejora en la durabilidad de materiales de construcción.

**Ravindranatha et. al, (2015)** en Manipal, India; concluyeron que las ventajas de la utilización de bacterias de *Bacillus flexus* como un aditivo en concreto bacteriano, son las siguientes:

- Con la utilización de este aditivo bacteriano significativamente se obtiene una mayor resistencia en comparación con el concreto sin aditivo bacteriano, el cual fue de más del 40% en resistencia a la compresión, más 30% en resistencia a la flexión y un aumento del 10% en la resistencia a la fractura después de 28 días de curado.
- Brinda protección contra la corrosión de refuerzo de acero por crack puente.
- Se obtiene mejor resistencia al agua ácida suave y productos químicos agresivos.
- Da mayor trabajabilidad y mejora la relación agua-cemento, y se obtiene menor densidad del concreto.

**PradeepKumar et. al, (2015)** en Tamil Nadu, India; presentaron un trabajo titulado "Un trabajo experimental en concreto mediante la adición de *Bacillus Subtilis*", el cual concluyó en lo siguiente:

- La bacteria *Bacillus subtilis* se puede aislar en el laboratorio siendo segura y rentable.
- La resistencia a la compresión es 33.32 MPa, es decir máxima, cuando la adición de *Bacillus Subtilis* es de 30 ml.
- La propiedad autoreparación se logra con éxito en concreto bacteriano.
- La tecnología del concreto bacteriano ha demostrado ser mejor que muchas de las tecnologías convencionales, debido a su carácter respetuoso con el medio ambiente y naturaleza.
- La aplicación de hormigón microbiano a construcción también puede simplificar algunos de los procesos de construcción y revolucionar las formas del proceso constructivo. A continuación, se muestra una imagen del antes y después del proceso de autoreparación.



Fig2(a)

Fig. 2(b)

Figura 2:(a) Concreto antes de la curación, (b) Concreto después de la curación (PradeepKumar et. al, 2015).

Koustubh et. al, (2016) en Kolhapur Maharashtra, India; presentaron un trabajo titulado "Impregnación de bacterias tipo *Bacillus subtilis* en concreto para el mejoramiento en resistencia a la compresión". El mismo que concluyo en lo siguiente:

- *Bacillus subtilis* tiene impacto positivo en el concreto en la resistencia a la compresión, el cambio en dicha resistencia con un recuento bacteriano es la siguiente:

Cambio en el recuento de bacterias (cel./ml)	Porcentaje de cambio positivo en la resistencia a la compresión (%)
$1.5 \times 10^6$	23.93
$2 \times 10^6$	26.86
$4 \times 10^6$	30.30
$6 \times 10^6$	33.80
$56 \times 10^6$	52.71

Tabla 2: Cambio de la resistencia a la compresión de acuerdo a la cantidad de bacterias. (Koustubh et. al, 2016).

- Diagrama comparativo entre 7 y 28 días. La curva de variación de resistencia a la compresión es como se muestra a continuación:

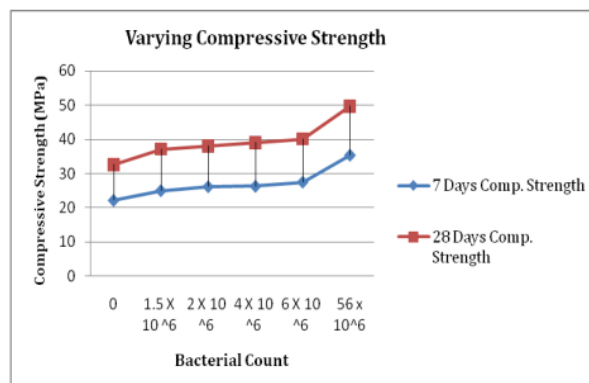


Gráfico 1: Diagrama comparativo de la resistencia a la compresión entre los 7 y 28 días vs cantidad de bacterias. (Koustubh et. al, 2016).

**Kumar et. al, (2017)** Andhra Pradesh, India; presentaron el trabajo: “Estudio experimental sobre hormigón bacteriano” el cual arribó a las siguientes conclusiones:

- Se registró que la resistencia a la compresión aumenta con adiciones bacterianas y este aumento se debe principalmente a la deposición microbiana que induce a la precipitación de carbonato de calcio en las superficies de la célula del microorganismo y dentro de los poros del mortero.
- Se observó que, en un mortero normal, la resistencia a la compresión se incrementó con el aumento en la concentración de las células bacterianas de hasta  $10^6$  células/ml. El aumento máximo a la compresión se logró en  $10^6$  células/ml.
- Es mayor el porcentaje del aumento en la resistencia a compresión de 45ml y 60ml bacteriana concreto con *Bacillus subtilis* para los 7 días en comparación al hormigón convencional, tal como se muestra:

Mix	Specimen No.	Compressive strength at 7 days (FA)			Fresh Weight	Hardened Weight	Compressive strength at 28 days (FA)		
		Load (KN)	Stress (N/mm <sup>2</sup> )	Avg			Load (KN)	Stress (N/mm <sup>2</sup> )	Avg
0 ml	1	801	35.6	32.81	8.41	8.49	841	37.37	38.82
	2	710	31.55		8.37	8.39	866	38.48	
	3	704	31.28		8.41	8.58	914	40.62	
15 ml	1	775.8	34.48	34.1	8.61	8.69	941.2	41.83	42.4
	2	779.2	34.63		8.79	8.81	960	42.66	
	3	745.2	33.12		8.71	8.77	958	42.57	
30 ml	1	840	37.33	36.37	8.62	8.63	1015	45.11	45.07
	2	777.7	34.56		8.65	8.71	1014	45.06	
	3	704	37.24		8.62	8.75	1014	45.06	
45 ml	1	864	38.4	38.70	8.81	8.83	1102	48.97	49.55
	2	898.7	39.94		8.71	8.78	1146	50.93	
	3	850	37.77		8.79	8.89	1094	48.75	
60 ml	1	892	39.64	40.58	8.67	8.79	1143	50.8	50.2
	2	945.6	42.02		8.61	8.84	1128	50.13	
	3	902	40.08		8.69	8.79	1121	49.82	

Tabla 3: Valores de esfuerzo a la compresión: varias proporciones de mezcla a los 7 y 28 días. (Kumar et. al,2017)

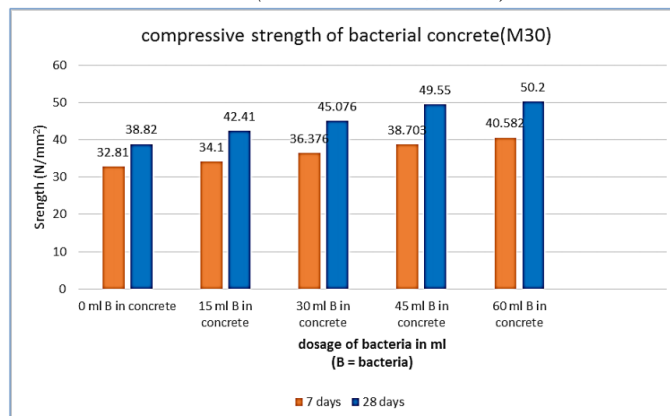


Gráfico 2: Gráfico del esfuerzo a la compresión de concreto bacteriano vs dosificación de cel./ml de bacteria (M30). (Kumar et. al,2017)

## 2.2.Bases Teóricas

### 2.2.1. Aditivo Bacteriano

El aditivo bacteriano se puede definir como una mezcla homogénea que se obtiene de la combinación de cepas bacterianas del género *Bacillus*, *Paenibacillus*, *Brevibacillus*, u otras diluidas en un medio de cultivo bacteriano de uso frecuente en todo laboratorio de bacteriología (Bhavana et. al, 2017).

#### 2.2.1.1. Bacterias del género *Bacillus*.

El género *Bacillus* pertenece a la familia *Bacillaceae*, es un género que hoy en día incluye más de 60 especies de bacterias con morfología bacilar. Este género bacteriano está formado por microorganismos bacilares Gram positivos, formadores de endosporas, quimioheterótrofos que normalmente son móviles y están rodeados de flagelos periticos. Son anaerobios o aerobios facultativos, son catalasa positivos. Las células bacterianas de este género tienen un amplio rango de tamaño que varía de 0,5 a 2,5  $\mu\text{m}$  x 1,2 a 10  $\mu\text{m}$ . Este género se encuentra comúnmente en suelos y plantas donde cumplen un papel importante en el ciclo del carbono y el nitrógeno. Son habitantes comunes de aguas frescas y estancadas, son particularmente activos en sedimentos (Koneman,2001) (Cuervo, 2010).

De acuerdo con la segunda edición del Manual Bergey de Bacteriología Sistemática (1982), taxonómicamente el género *Bacillus* pertenece a la familia *Bacillaceae*, al orden *Bacillales*, a la clase *Bacilli*, del filo *Firmicutes* en el dominio *Bacteria*. El género es claramente diverso desde el punto de vista fenotípico y genotípico. La diferenciación fenotípica entre especies del género *Bacillus* se basa en los resultados de la fermentación de lactosa, sorbitol, manitol y melobiosa, hidrólisis de la urea, y descarboxilación de la lisina (Anderson et al., 2003) (Cuervo, 2010). Actualmente, los datos de las secuencias nucleotídicas del RNA ribosomal (16S) se han empleado para dividir al género *Bacillus* en al menos cinco líneas diferentes. Entre las especies más representativas del género *Bacillus* se encuentran *B. alkalophilus*, *B. anthracis*, *B. azotoformans*, *B. brevis*, *B. cereus*,

*B. subtilis*, *B. coagulans*, *B. firmus*, *B. insolitus*, *B. licheniformis*, *B. polymyxa* y *B. turingiensis*, entre otros (Bergey & Holt, 2000) (Cuervo, 2010).

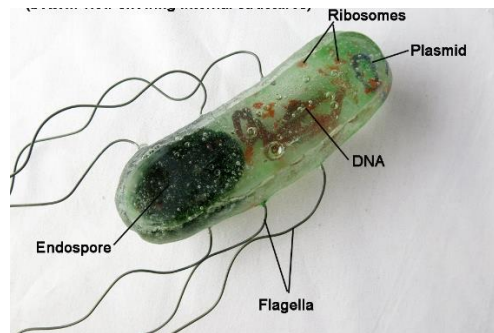


Figura 3: Estructura de una bacteria del género *Bacillus*.  
<http://userscontent2.emaze.com/images/97554662-98ba-4b78-9f9a-84fe1566cce8/44756b94-3187-43c2-ae58-7012cafc7612.jpg>

#### 2.2.1.1.1. *Bacillus endophyticus*.

Son bacterias endófitas de plantas, originalmente aisladas de tejidos vegetales, estrictamente aeróbicas, grampositivas, bacilos no móviles, que forman esporas elipsoidales que se encuentran de manera subterminal o terminal en esporangios no deformantes. Las células miden de 0.5–1.5 por 2.5–3.5  $\mu\text{m}$ , aparecen solas y en cadenas cortas o largas, estas últimas aparecen filamentosas. (Goodfellow et al., 2009).

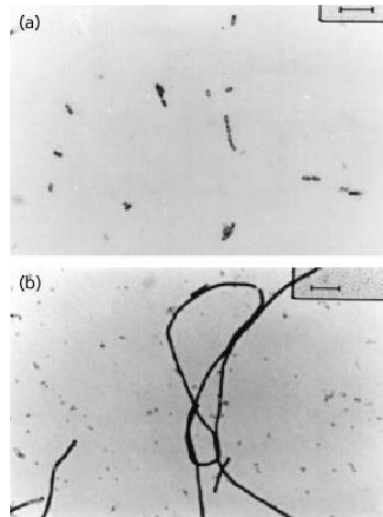


Figura 4: Las células teñidas con Gram de la cepa 12DX (a) de *Bacillus endophyticus* y la cepa 2DT T (b) se cultivaron en agar nutriente durante 48 horas. (Reva et. al, 2002).

#### 2.2.1.1.2. *Bacillus gelatini*.

Estrictamente aeróbicos, variables en Gram, levemente móviles, redondeadas, varillas rectas, 0.5–0.9  $\mu\text{m}$  por 4–10  $\mu\text{m}$ , que forman Cadenas largas y

ocasionalmente aparecen solos. Las endosporas son ovales, paracentralmente y subterminalmente; y no se hinchan los esporangios. Colonias en TSA incubadas a 30 ° C durante 4 días. Son lisos, de color crema, pero más oscuros en el centro, tienen bordes ligeramente irregulares, y son de apariencia cerosa. Superficies con textura de cáscara de huevo. Las colonias son ligeramente convexas, pero las colonias más viejas son más planas con centros cóncavos y transparentes, y los diámetros van desde 1 a 4 mm. (Goodfellow et al., 2009).

#### 2.2.1.1.3. *Bacillus firmus*.

Son bacterias anaerobias facultativas, rectas, redondeadas, móviles en forma de barras, 0.8-0.9  $\mu\text{m}$  de diámetro, que se producen individualmente, en pares, o en cadenas cortas. Las endosporas son elipsoidales o cilíndrica, se encuentran subterminalmente, paracentralmente o de forma centralizada, y puede hincharse levemente los esporangios. Colonias cultivadas de 3 d en TSA a 30 ° C son 1 – 12 mm de diámetro, amarillo cremoso a marrón anaranjado claro en color, tienen márgenes que varían de toda a finamente rhizoidal y aspectos que son de cáscara de huevo la superficie a brillante, a veces con áreas granulares o zonas en el centro. Máximo crecimiento temperatura es de 40 – 50 ° C, la temperatura óptima está entre 30 ° C y 40 ° C, y crecimiento ocurre a 20 ° C. (Goodfellow et al., 2009).

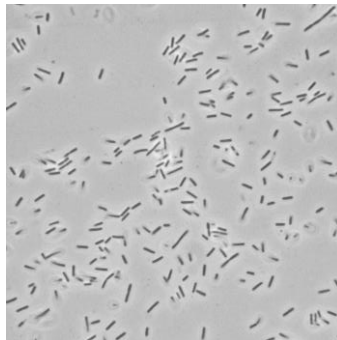


Figura 5: Bacterias *Bacillus firmus* son varillas largas de  $< 0.9 \mu\text{m}$ . de diámetro, las esporas son elipsoidales y no causan abultamiento de los esporangios. ("*Bacillus firmus*", 2018)

#### 2.2.1.1.4. *Bacillus smithii*.

Facultativamente anaeróbico, facultativamente termófilo, Gram positivas, varillas móviles de 0.8–1.0 por 5.0–6.0  $\mu\text{m}$ , formando esporas elipsoidales a cilíndricas que se encuentran terminal o subterminalmente en esporangios no hinchados o ligeramente hinchados. Las colonias son no pigmentadas, translúcidas, delgadas,

lisas, circulares de 2 mm de diámetro aproximadamente. Temperatura de crecimiento rango 25–60 o 65 °C. Catalasa y oxidasa positiva. El ácido sin gas se produce a partir de la glucosa y un rango variable de otros carbohidratos. (Goodfellow et al., 2009).

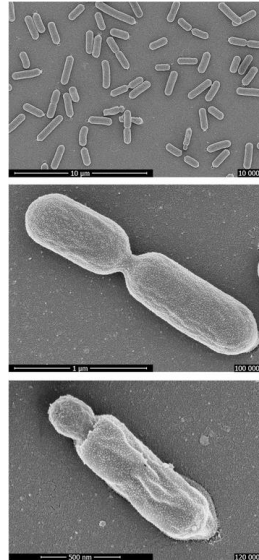


Figura 6: Micrografías electrónicas de barrido de *Bacillus smithii* DSM 4216<sup>T</sup>. (Bosma et al., 2016)

#### 2.2.1.1.5. *Bacillus farraginis*.

Las células son barras largas, rectas, redondeadas, móviles, estrictamente aeróbicas, gram-negativas, que ocurren individualmente, en pares o filamentos. El diámetro de la célula es 0.5-0.8 µm y longitud de la célula 1.2-4 µm. Las esporas son elipsoides y ocurren paracentralmente o subterminalmente en esporangios de vez en cuando levemente hinchadas. Las colonias cultivadas a 30 °C en agar nutriente son de color crema o translúcidas, ligeramente levantadas, con márgenes irregulares y superficies granulares y brillantes. El diámetro de la Colonia no es mayor que 1 mm. el buen crecimiento se produce a 30 y 45 ° c y el crecimiento débil se produce a 20 ° c. Algunas cepas son capaces de crecer a pH 9 pero ninguna crece a pH 5. El crecimiento no se inhibe en un 7% (p/v) NaCl. La catalasa-y oxidasa son positivas. (Goodfellow et al., 2009).



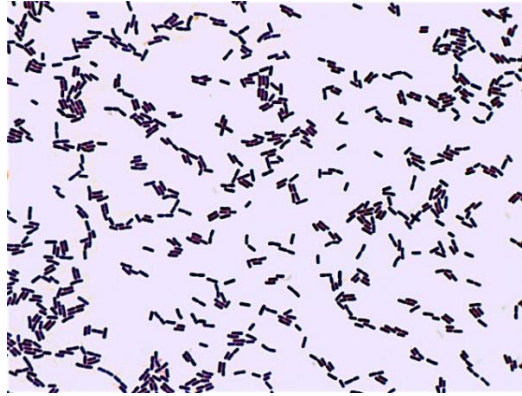


Figura 7: Células de *Bacillus farraginis* en medio agar plata después de 2 días de incubación a 30°C. ("JCM Catalogue", 2018)

#### 2.2.1.1.6. *Bacillus cirroflagelosus*.

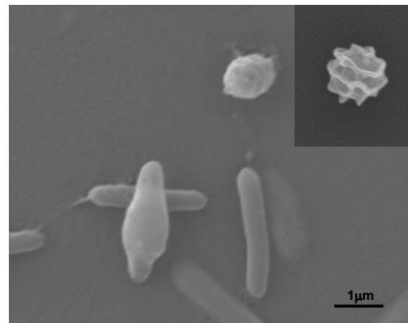
Gram-positivo, 0.5-0.6/2.0-3.5  $\mu\text{m}$ , con los penachos de flagelo. Las esporas son elipsoidales, central de paracentral, hinchando el esporangio. Características culturales: Temperatura máxima de crecimiento, 30 °C, mínimo temperatura, 10 °C. Ningún crecimiento en agar anaerobio, 5-10% NaCl o en 5.7 pH. Resultados positivos para la catalasa, hidrólisis de almidón y reducción de nitrato a nitrito resultados negativos para descomposición de caseína, descomposición de tirosina, reacción de Voges-Proskauer, resistencia a la lisozima, utilización de citrato, ácido índole, producción de glucosa, manitol, arabinosa y xilosa. (Stoica, 2018).

#### 2.2.1.2. Bacterias del género *Paenibacillus*.

En un análisis comparativo de las secuencias del gen ARNr 16S de diferentes especies del género *Bacillus*, Ash et al. (1993) definieron un nuevo género al que llamaron *Paenibacillus*. El género *Paenibacillus* fue creado con 11 especies y *Paenibacillus polymyxa* fue considerada la especie tipo del género. Desde su creación se han realizado transferencias de especies desde el género *Bacillus* y la descripción de nuevas especies de *Paenibacillus* se ha incrementado considerablemente en los últimos años, a tal punto que se ha pasado de 33 especies validadas en el año 2003, a 90 especies descritas a la fecha de escritura de esta memoria. (Rodríguez, 2008)

Las bacterias del género *Paenibacillus* son bacilos Gram variables, aerobios o anaerobios facultativos y forman endosporas (Figura 8). Están ampliamente

distribuidos en el ambiente apareciendo en suelos, agua, larvas de insectos y alimentos (Daane et al., 2002), heces de vaca (Velázquez et al., 2004), rizosfera (Rivas et al., 2005) o compost (Vaz-Moreira et al., 2007).



*Figura 8: Morfología del género Paenibacillus. En el recuadro superior derecho se observa la forma de la endospora (Rodríguez, 2008)*

Estos microorganismos son importantes desde el punto de vista económico (Chung et al., 2000) e incluyen cepas que son utilizadas en procesos de biorremediación de suelos contaminados con derivados del petróleo (Christopher et al., 2004), así como en procesos de biodesulfurización de crudos, en los que con el empleo de especies termófilas de *Paenibacillus* se ha visto que se alcanzan mayores velocidades específicas de desulfuración, menores problemas de contaminación y mejoras en la estabilidad de los biocatalizadores (Onaka et al., 2001).

#### **2.2.1.2.1. *Paenibacillus lactis*.**

Las células son barras Gram negativas o Gram variables, rectas y redondas, aeróbicas y móviles (0,6 – 0,9 por 3 – 6 µm) que ocasionalmente pueden ser ligeramente cónicas y curvadas. Las endosporas son elipsoides o cilíndricas, se localizan subterminalmente y ocasionalmente paracentralmente, y usualmente se hinchan los esporangios. Las colonias cultivadas para 4 días en TSA a 30 °C son opacas, color crema, ligeramente convexas y redondas, con bordes transparentes ásperos o esparcidos y con una textura superficial de la cáscara del huevo.

El diámetro de la Colonia es de 1 – 2 mm. la temperatura óptima de crecimiento se sitúa entre 30 y 40 °C, con máximas entre 50 y 55 °C. El pH óptimo para el crecimiento es 7,0 con pH 5.0 – 6.0 y pH 10.5 – 11.0 como mínimos y máximos, respectivamente. La producción de sulfuro de hidrógeno, la reacción de ureasa y

la hidrólisis de gelatina son negativas. El ácido se produce sin gas de varios carbohidratos. (Goodfellow et al., 2009).

### **2.2.1.3. Bacterias del género *Brevibacillus*.**

*Brevibacillus* es un género de bacterias Gram-positivas en la familia *Paenibacillaceae*. (Shida, et. al 1996)

#### **2.2.1.3.1. *Brevibacillus laterosporus*.**

Células Gram positivas, Gram negativas, y Gram variables, móviles, en forma de bastoncillos,  $0,5 - 0,9 \mu\text{m} \times 2,0 - 5,0 \mu\text{m}$ . Facultativamente anaerobios. Las cepas de esta especie exhiben comúnmente morfologías sporangial distintivas. Las esporas elipsoides están acunadas en cuerpos paraesporal (PBs) que han sido descritas como en forma de C, o que se asemejan a canoas o a las quillas de los barcos. Las esporas, con su PBs adjunto, son llevadas centralmente, paracentralmente y subterminalmente y son desplazadas lateralmente en el esporangio por el PBs, de modo que los esporangios se hinchan en formas del huso. Catalasa-positivo. Se reduce el nitrato. La caseína y la gelatina son hidrolizadas, y el almidón y la urea no son hidrolizados; el indol no se produce. Las temperaturas de crecimiento varían desde los mínimos entre  $15$  y  $20^\circ\text{C}$  hasta los máximos entre  $35$  y  $50^\circ\text{C}$ , con optima alrededor de  $30^\circ\text{C}$ . El crecimiento no se produce a pH 5,7, pero sí ocurre a pH 6,8. (Goodfellow et al., 2009).

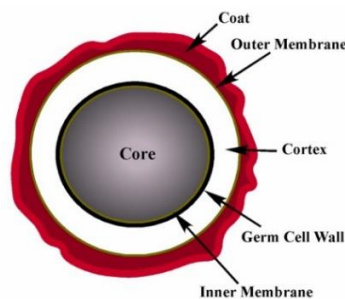
#### **2.2.1.3.2. *Brevibacillus brevis*.**

Estrictamente aeróbicos, Gram positivos o Gram variables, móviles, células en forma de bastoncillos,  $0,7-0,9 \mu\text{m} \times 3,0-5,0 \mu\text{m}$ , se la encuentra individualmente y en pares. Las esporas elipsoides nacen subterminalmente y se hinchan el esporangio. Crece en medios rutinarios como agar nutriente y agar soja Trypticase, produciendo colonias brillantes, de color crema, de  $1 - 3$  mm de diámetro después de  $24 - 36$  h. El crecimiento a  $30^\circ\text{C}$  puede ser inicialmente lento, con un crecimiento más rápido después de  $24$  h de incubación. Catalasa y oxidasa positivas. Reducción del nitrato positiva para la mayoría de las cepas. (Goodfellow et al., 2009).

#### 2.2.1.4. Endospora bacteriana.

Los microorganismos detectan y se adaptan a los cambios en su entorno. Cuando los nutrientes favorecidos se agotan, algunas bacterias pueden volverse móviles para buscar nutrientes o pueden producir enzimas para explotar recursos alternativos. Este complejo proceso de desarrollo a menudo se inicia en respuesta a la privación de nutrientes. Permite que la bacteria produzca una célula inactiva y altamente resistente para preservar el material genético de la célula en tiempos de estrés extremo (Koneman, 2001).

Las endosporas pueden sobrevivir a los ataques ambientales que normalmente matarían a la bacteria. Estas tensiones incluyen alta temperatura, alta radiación UV, desecación, daño químico y destrucción enzimática. Las extraordinarias propiedades de resistencia de las endosporas las hacen de particular importancia porque no son eliminadas fácilmente por muchos tratamientos antimicrobianos. Una variedad de diferentes microorganismos forma "esporas" o "quistes", pero las endosporas de las bacterias Gram positivas con bajo contenido de G + C son, con mucho, las más resistentes a las condiciones más duras (Koneman, 2001).



*Figura 9: Estructura de la endospora.*

(<https://micro.cornell.edu/research/epulopiscium/bacterial-endospores/>, 2018)

La resistencia de una endospora se puede explicar en parte por su estructura celular única. La capa proteica externa que rodea la espora proporciona gran parte de la resistencia química y enzimática. El centro de la endospora, el núcleo, existe en un estado muy deshidratado y alberga el ADN de la célula, los ribosomas y grandes cantidades de ácido dipicolínico. Este producto químico específico de la endospora puede representar hasta el 10% del peso seco de la espora y parece desempeñar un papel en el mantenimiento de la latencia de la espora (Koneman, 2001).

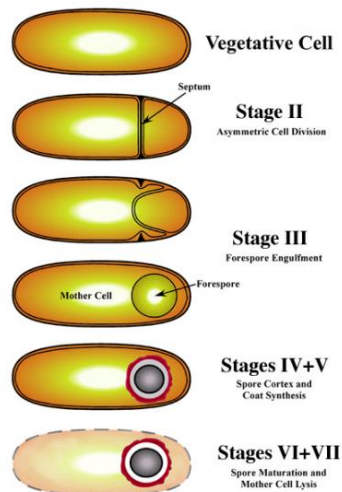


Figura 10: Desarrollo de Endosporas.  
 (<https://micro.cornell.edu/research/epulopiscium/bacterial-endospores/>, 2018)

## 2.2.1.5. Fundamento de las pruebas de identificación bacteriana.

### 2.2.1.5.1. Crecimiento en agar Nutritivo.

Se utilizaron las peptonas, los extractos de carne y de levadura ya que se utilizan preferentemente como fuente de nitrógeno, fósforo y azufre orgánicos. Algunos de sus componentes se pueden utilizar como factores orgánicos de crecimiento o como fuente de carbono y energía. (<https://www.ugr.es/~pomif/pom-bac/pb-i/pb-i-2-concepto.htm>, 2018).

### 2.2.1.5.2. Tinción de Endospora.

Esta tinción permite poner de manifiesto la endospora bacteriana, una forma de resistencia producida por algunos géneros de bacterias gram positivas. Las endosporas aseguran la supervivencia de estas bacterias en condiciones desfavorables durante largos periodos de tiempo (Tortora et. al 2007).

La endospora, debido a las características de sus envueltas no se tiñe con procedimientos habituales. El método más empleado es el de Schaeffer Fulton donde la suspensión de microorganismos se tiñe en caliente con el colorante verde malaquita, un colorante soluble en agua por cuya razón no se utiliza habitualmente en tinciones convencionales. El calor modifica la permeabilidad de la endospora y permite la entrada del colorante a través de las capas externas de la endospora.

A continuación, el lavado con abundante agua produce la decoloración de las formas vegetativas, así como de los extremos de las bacterias esporuladas, que se tiñen por último con un colorante de contraste, la safranina (Tortora et. al 2007).

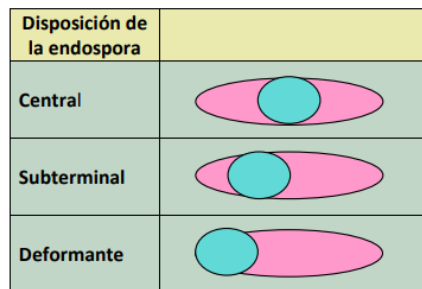


Figura 11: Disposición de la endospora bacteriana. (Tortora et. al 2007).




Procedimiento		Observación
Paso 1. Colorante fundamental: verde malaquita en caliente, 5 minutos.		Todas las bacterias se tiñen con este colorante
Paso 2. Lavado con agua.		Las esporas conservan su colorante verde en el interior mientras que las formas vegetativas son decoloradas.
Paso 3. Colorante de contraste, safranina, 1 minuto.		Las células vegetativas se tiñen de rosa, las esporas conservan el color verde.

Figura 12: Procedimiento de la tinción de espora. (Tortora et. al 2007).

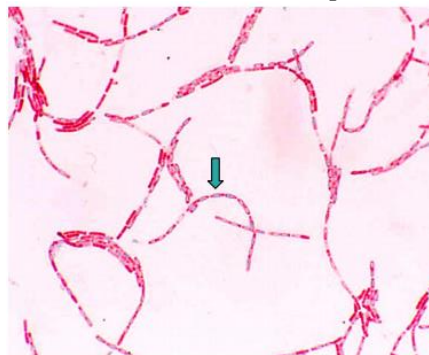


Figura 13: Tinción de esporas de *Bacillus subtilis*. La flecha indica esta estructura en verde. Microscopía de campo claro (100x). (Tortora et. al 2007).

### 2.2.1.5.3. Temperatura.

Cada microorganismo es capaz de crecer en un rango muy determinado de temperatura. De esta manera, se puede decir que las bacterias de acuerdo con su ambiente térmico pueden ser clasificadas como microorganismos euriotérmicas (amplio rango de temperatura) y estenotérmicas (estrecho rango de temperatura). Dentro de estos rangos de temperaturas las bacterias pueden ser: (Luna Fontalvo, 2012)

- ✓ **Psicrófilas:** Bacterias que crecen en un rango de temperatura entre  $-10^{\circ}\text{C}$  –  $25^{\circ}\text{C}$ . siendo  $15^{\circ}\text{C}$  la temperatura óptima. (Luna Fontalvo, 2012)
- ✓ **Mesófilas:** Bacterias que crecen en un rango de temperatura entre  $15^{\circ}\text{C}$  –  $45^{\circ}\text{C}$ . siendo  $37^{\circ}\text{C}$  la temperatura óptima. (Luna Fontalvo, 2012)
- ✓ **Termófilas:** Bacterias que crecen en un rango de temperatura entre  $45^{\circ}\text{C}$  –  $100^{\circ}\text{C}$ . siendo  $65^{\circ}\text{C}$  la temperatura óptima. (Luna Fontalvo, 2012)

#### 2.2.1.5.4. Acidez y Alcalinidad (pH).

Al igual que la temperatura cada microorganismo tiene un rango de pH dentro del que se puede desarrollar. A diferencia de la temperatura, el pH óptimo de desarrollo suele ser un valor muy bien definido para cada microorganismo y es crítico para el crecimiento. La mayoría de las bacterias tienen crecimiento óptimo cuando tienen igual concentración de iones  $\text{H}^+$  y  $\text{OH}^-$ . (Luna Fontalvo, 2012).  
Clasificación según el pH óptimo bacteriano:

- ✓ **Acidófilas:** son las bacterias que viven a valores de pH entre 2 – 6. Por lo general los hongos tienden a tolerar valores más ácidos que las bacterias. (Luna Fontalvo, 2012)
- ✓ **Alcalófilas:** Bacterias que viven a valores de pH entre 8 – 12. (Luna Fontalvo, 2012)
- ✓ **Neutrófilas:** Bacterias que viven en valores cercanos a la neutralidad, pH entre 6.5 – 7.8. Por lo general ninguna bacteria crece exactamente a pH 7. (Luna Fontalvo, 2012).

En el presente trabajo se utilizó tiras medidoras de pH, como las que se muestran en la siguiente figura:



Figura 14: Tiras medidoras de PH.  
(<https://www.experimentoscientificos.es/ph/medidores-de-ph/>, 2018)

#### 2.2.1.5.5. Prueba de Catalasa.

El fundamento es que la catalasa es una enzima que poseen la mayoría de las bacterias aerobias. Descompone el peróxido de hidrógeno en agua y oxígeno. El desprendimiento de burbujas procedentes del oxígeno indica que la prueba es positiva (Koneman, 2001).

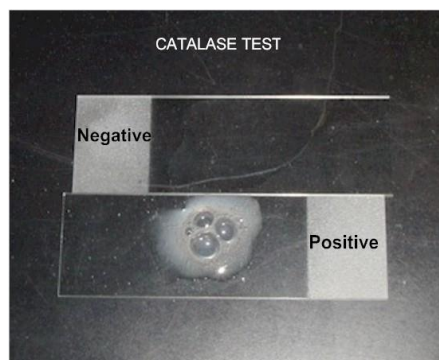


Figura 15: Burbujeo catalasa positivo, carencia de burbujeo catalasa negativo.  
(<http://microbitosblog.com/2011/09/27/pruebas-bioquimicas-primarias/>, 2018)

#### 2.2.1.5.6. Prueba de Voges-Proskauer (VP).

Permite determinar si el microorganismo en estudio realiza una fermentación formica tipo butilenglicol o llamada también *Aerobacter aerogenes*, fermentando el carbohidrato presente en el medio de cultivo utilizado, generando productos finales de reacción neutros, butilenglicol, acetoina y pequeñas cantidades de ácidos orgánicos (Luna Fontalvo, 2012).



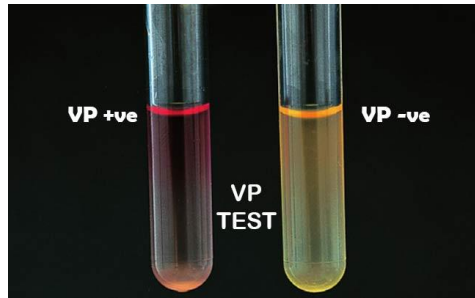


Figura 16: Reacción positiva: un color rojo rosado en la superficie. Reacción negativa: falta de color rojo rosado. (Aryal & Assadig, 2018).

#### 2.2.1.5.7. Pruebas con el medio de cultivo SIM.

Este medio se utiliza para comprobar la motilidad, formación de sulfuros de hidrógeno y la producción de indol por parte de la bacteria. El método de siembra es por punción. Presenta color crema, el sustrato principal es la peptona y los sustratos secundarios son tiosulfato sódico, hierro y amonio (Koneman, 2001). A continuación, se detalla las pruebas que se pueden realizar con este medio.

##### A. Motilidad.

El principio de esta prueba es determinar si un microorganismo es móvil o inmóvil. Las bacterias son móviles por medio de flagelos. Los flagelos aparecen sobre todo entre los bacilos (bacterias en forma de bastoncillo). Los microorganismos inmóviles carecen de flagelos (MacFaddin, 2003).



Figura 17: Reacción positiva: Presencia de turbidez difusa en el medio. Reacción negativa: Presencia de crecimiento solo en el sitio de punción. (<https://microbiologia-monitoria.weebly.com/medios-diferenciales.html>).

##### B. Formación de sulfuro de hidrogeno.

El principio es determinar si se ha liberado enzimáticamente ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ) gaseoso a partir de los aminoácidos azufrados para producir una reacción coloreada visible, negra (producida por el sulfuro de hidrogeno), en presencia de un sistema indicador de  $H_2S$  (MacFaddin, 2003).

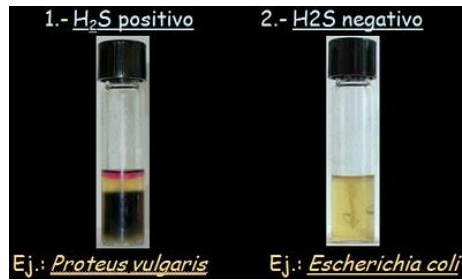


Figura 18: Reacción positiva: Precipitado de color negro. Reacción negativa: No presenta variación. (<https://microbiologia-monitoria.weebly.com/medios-diferenciales.html>)

### C. Indol.

El principio es determinar la capacidad de un microorganismo para producir indol a partir del triptófano. Se usa el reactivo de Kovacs, que manifiesta la degradación del triptófano por la enzima triptófanasasa en indol, este se combina con el aldehído (dimetil benzaldehído) presente en el reactivo de Kovacs, para producir un complejo de color rojo en la interface del medio con la superficie (MacFaddin, 2003).

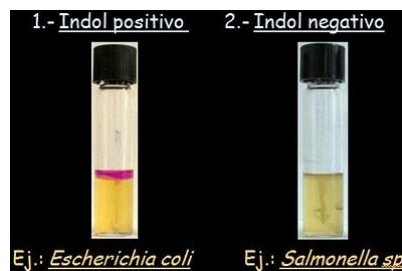
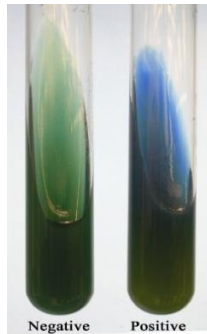


Figura 19: Reacción positiva: Presenta un color rojo. Reacción negativa: No presenta variación. (<https://microbiologia-monitoria.weebly.com/medios-diferenciales.html>).

#### 2.2.1.5.8. Prueba de Citrato de Simmons.

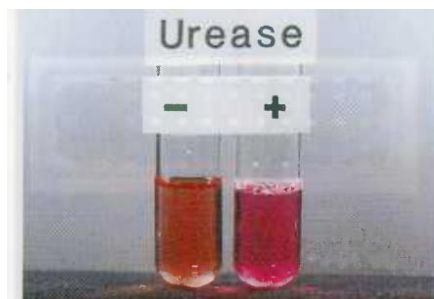
El principio es determinar si un microorganismo es capaz de utilizar el citrato como única fuente de carbono para el metabolismo y el crecimiento con alcalinidad resultante (MacFaddin, 2003). La degradación del citrato conlleva a la alcalinización del medio y el viraje del indicador (azul de bromitol). (Koneman, 2001).



*Figura 20: Reacción positiva: Presenta una tendencia hacia el color azul. Reacción negativa: No presenta variación en su color original (verde). (<http://microbiologiabiobioanálisis.blogspot.com/2012/06/prueba-de-citrato-de-simmons-fundamento.html>)*

#### **2.2.1.5.9. Prueba de Ureasa.**

El principio es determinar la capacidad de un microorganismo de hidrolizar la urea en dos moléculas de amoníaco por la reacción de la enzima ureasa, con la resultante alcalinidad (MacFaddin, 2003). El color del medio es rosado y su indicador es el rojo fenol. En este medio se observa la capacidad de la bacteria para degradar la urea por medio de la enzima ureasa formando amoníaco y carbonato de amonio, este último producto alcaliniza el medio, por lo cual el rojo de fenol (indicador de pH) vira a un rojo cereza (Koneman, 2001).



*Figura 21: Reacción positiva: Presenta una coloración rojo cereza. Reacción negativa: No presenta variación en su color original (rojo claro). (MacFaddin, 2003).*

#### **2.2.1.5.10. Prueba de Lecitinasa.**

En esta prueba el principio es determinar la capacidad de los microorganismos para producir la enzima lecitinasa, evidenciada por la aparición de opacidad en el medio de cultivo que contiene yema de huevo. El objetivo es determinar especies de *Bacillus*, las cuales producen la enzima (MacFaddin, 2003).



Figura 22: Izquierda. Lecitinasa positiva. Derecha lecitinasa negativo (Itzdarkbato, 2018).

#### 2.2.1.5.11. Pruebas de fermentación de Hidratos de Carbono.

En esta prueba el principio es determinar la capacidad de un microorganismo para fermentar (degradar) un hidrato de carbono específico incorporado en un medio basal y producir ácido con gas visible (MacFaddin, 2003). Para la presente investigación se consideró la evaluación con glucosa, manitol, xilosa y arabinosa. Para esto se sembró la cepa bacteriana en estudio en medio líquido con cada uno de los azúcares mencionados anteriormente, durante 24 a 48 horas a  $37^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ . (Valenzuela, 2003). Posteriormente se evaluó el crecimiento (turbidez), la producción de gas y el pH a las 24 horas.

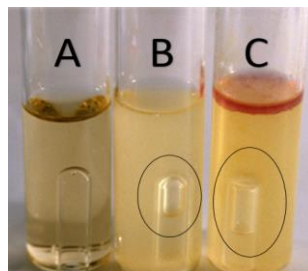


Figura 23: Resultado negativo, sin crecimiento. B: Resultado positivo con presencia de gas (se pueden ver las burbujas dentro de la campana de Durham) y turbidez. C: Resultado positivo con mayor presencia de gas y turbidez. (se pueden ver las burbujas dentro de la campana de Durham). (<http://www.medioscultivo.com/lauryl-tryptose-mannitol-broth/>)

#### 2.2.1.5.12. Software de identificación bacteriana (ABIS)

En la presente investigación se utilizó el software ABIS online, es una herramienta de laboratorio para la identificación de bacterias basada en morfología y caracteres bioquímicos. Los resultados de la identificación son únicamente informativos debido a los frecuentes cambios de taxonomía. Cabe resaltar que más de 1600 especies están incluidas en las bases de datos y en la enciclopedia bacteriana. (Stoica, 2018)

### **2.2.1.5.13. Turbidez estándar**

El objetivo de este procedimiento es determinar el número de bacterias por ml de fluido. Por ejemplo, para una suspensión bacteriana equivalente en turbidez a la turbidez estándar de 0,5 de McFarland contiene aproximadamente  $10^8$  bacterias por ml. (Perilla, 2009).

### **2.2.2. Agregados.**

Los agregados fino y grueso ocupan cerca del 60% al 75% del volumen del concreto (70% a 85% de la masa) e influyen fuertemente en las propiedades tanto en estado fresco como endurecido, en las proporciones de la mezcla y en la economía del concreto. (Kosmatka et al., 2004)

#### **2.2.2.1. Agregado Fino.**

##### **2.2.2.1.1. Contenido de humedad ( $\omega$ ).**

La norma (NTP 339.185.2013), establece el método de ensayo para determinar el contenido de humedad del agregado fino y grueso, en los cálculos para el proporcionamiento de los componentes del concreto, se considera al agregado en condiciones de saturado y superficialmente seco, es decir con todos sus poros abiertos llenos de agua y libre de humedad superficial.

##### **2.2.2.1.2. Granulometría.**

El agregado fino es el proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, que pasa el tamiz 9.51 mm. (3/8") y queda retenido en el tamiz 74  $\mu$ m (N°200) y que cumple con los límites establecidos en la (NTP 400.037.2002). (Rivva, 2013) & (Abanto, 2009). En la presente investigación se siguió el proceso indicado en la NTP 400.037.2014.

##### **2.2.2.1.3. Peso unitario.**

El peso unitario de acuerdo a la (NTP 400.017.2011), es el peso (Masa) por unidad de volumen (Este término es obsoleto, es preferible usar el término densidad de

masa). Generalmente se expresa en kilos por metro cubico. De acuerdo a la normativa se estudiaron:

- ✓ Peso unitario volumétrico seco suelto.
- ✓ Peso unitario volumétrico seco compactado.

#### **2.2.2.1.4. Pesos Específicos.**

La norma (NTP 400.022.2013), establece el método de ensayo para determinar el peso específico (densidad); peso específico aparente, peso específico de masa y peso específico de masa saturado superficialmente seco del agregado fino. Las definiciones que se sugieren en la presente norma son:

- ✓ **Peso Específico.**

Es la relación a una temperatura estable, de la masa de un volumen unitario de material, a la masa del mismo volumen de agua destilada libre de gas. (NTP 400.022.2013).

- ✓ **Peso Específico De Masa. (Pem)**

Es la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de material (incluyendo los poros permeables e impermeables naturales del material). (NTP 400.022.2013).

- ✓ **Peso Específico Aparente.**

Es la relación a una temperatura estable, de la masa en el aire, de un volumen unitario de material, a la masa en el aire de igual densidad de un volumen igual de agua destilada libre de gas, si el material es un sólido, el volumen es igual a la porción impermeable. (NTP 400.022.2013).

- ✓ **Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco. (PeSSS)**

Es lo mismo que el peso específico de masa, excepto que la masa incluye el agua en los poros permeables. (NTP 400.022.2013).

#### **2.2.2.1.5. Absorción.**

La norma (NTP 400.022.2013), establece el método de ensayo para determinar el porcentaje de absorción (después de 24 horas en el agua). Podemos definir la absorción, como la cantidad de agua absorbida por el agregado sumergido en el agua durante 24 horas. Se expresa como un porcentaje del peso del material seco,

que es capaz de absorber, de modo que se encuentre el material saturado superficialmente seco. (Abanto, 2009).

#### **2.2.2.1.6. Módulo de fineza**

Es un índice aproximado del tamaño medio de los agregados. El módulo de fineza de un agregado se calcula sumando los porcentajes acumulativos retenidos en la serie de mallas estándar: 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100 y dividiendo entre 100. (Abanto, 2009). Dicho ensayo se realizó de acuerdo a la NTP 400.012. 2001.

#### **2.2.2.2. Agregado Grueso.**

Se define como agregado grueso al material retenido en el tamiz 4.75 mm (N° 4) y cumple los límites establecidos en la NTP 400.037. (Rivva, 2013). El agregado grueso puede ser grava, piedra chancada, etc. (Abanto, 2009).

##### **2.2.2.2.1. Contenido de humedad.**

El procedimiento es *idem* que para el agregado fino de acuerdo a la NTP 339.185.2013.

##### **2.2.2.2.2. Granulometría.**

El análisis granulométrico agregado grueso se realizó de acuerdo a la NTP 400.037.2014 o la Norma ASTM C33, (Rivva, 2013). El agregado deberá estar graduado dentro de los límites especificados en la (NTP 400.037.2014).

##### **2.2.2.2.3. Tamaño máximo nominal (TMN).**

La NTP 400.011.2008 lo define como la abertura de la malla del tamiz que indica la norma de malla menor, por lo cual el agregado grueso pasa del 95% al 100%. El tamaño máximo del conjunto de agregados, está dado por la abertura de la malla inmediata superior a la que retiene el 15% o más, al cribar por ella el agregado más grueso. (Abanto, 2009).

#### **2.2.2.2.4. Peso unitario.**

El procedimiento es *ídem* que para el agregado fino de acuerdo a la NTP 400.017.2011.

#### **2.2.2.2.5. Peso específico.**

Usando el procedimiento dado en la NTP 400.021.2013., se calcularon tres tipos de peso específico y de absorción.

- ✓ Peso específico de masa (Pem).
- ✓ Peso específico de masa saturada con superficie seca (PeSSS)
- ✓ Peso específico aparente (Pea)

#### **2.2.3. Agua.**

El agua es aquel componente del concreto en virtud del cual, el cemento experimenta reacciones químicas que le dan la propiedad de fraguar y endurecer para formar un sólido único con los agregados. (Sánchez de Guzmán, 2001). El agua utilizada cumple con la NTP 339.088.2006.

#### **2.2.4. Cemento Portland.**

Es un aglomerante hidrófilo, resultante de la calcinación de rocas calizas, areniscas y arcillas, de manera de obtener un polvo muy fino que en presencia de agua endurece adquiriendo propiedades resistentes y adherentes. (Pasquel, 1998).

##### **2.2.4.1. Tipos de cemento Portland.**

Se fabrican diferentes tipos de cemento portland para satisfacer a varios requisitos físicos y químicos para aplicaciones específicas. Los cementos portland se producen de acuerdo con las especificaciones ASTM C 150, AASHTO M 85 o ASTM C 1157. (Kosmatka et al., 2004)

La ASTM C 150, Especificaciones de Norma para el Cemento Portland (Standard Specification for Portland Cement), designa ocho tipos de cementos, usando los números romanos, como sigue: (Kosmatka et al., 2004)



- Tipo I Normal.
- Tipo IA Normal con aire incluido.
- Tipo II Moderada resistencia a los sulfatos
- Tipo IIA Moderada resistencia a los sulfatos con aire incluido
- Tipo III Alta resistencia inicial (alta resistencia temprana)
- Tipo IIIA Alta resistencia inicial con aire incluido
- Tipo IV Bajo calor de hidratación
- Tipo V Alta resistencia a los sulfatos

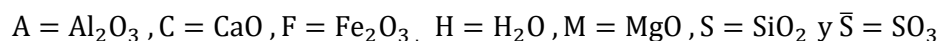
#### 2.2.4.2. Composición química del cemento.

Se ha visto que las materias primas utilizadas en la fabricación de cemento Portland consisten principalmente de cal, sílice, alúmina y hierro; tal como se muestra en la tabla: (Rivera, 2002).

ÓXIDO	CONTENIDO (%)
CaO	60 – 67
SiO <sub>2</sub>	17 – 25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3 – 8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,5 – 6,0
MgO	0,1 – 4,0
Álcalis	0,2 – 1,3
SO <sub>3</sub>	1 – 3

Tabla 4: Límites de composición aproximados para el cemento Portland (Tipo I). (Rivera, 2002).

En la fabricación del Clinker de cemento portland, durante la calcinación, el calcio combina con otros componentes de la mezcla cruda para formar cuatro compuestos principales que corresponden al 90% de la masa del cemento. Durante la molienda, se añaden yeso (4% hasta 6%). Los químicos del cemento usan las siguientes abreviaturas químicas para describir los compuestos: (Kosmatka et al., 2004)

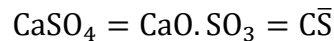


Se usa el término “fase” preferiblemente al término “compuesto” para describirse los componentes del clínter. Siguen los cuatro compuestos principales en el cemento portland, sus fórmulas químicas aproximadas y abreviaturas: (Kosmatka et al., 2004)

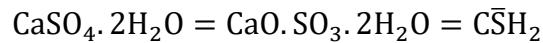
Nombre de compuesto	Fórmula	Abreviatura
Silicato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}$
Silicato dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}$
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$
Ferroaluminato tetracálcico (Aluminoferrito tetracálcico)	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{AF}$

Tabla 5: Compuestos principales del cemento Portland. (Rivera, 2002) & (Kosmatka et al., 2004)  
Siguen las formas de sulfato de calcio, sus fórmulas químicas y abreviaturas:

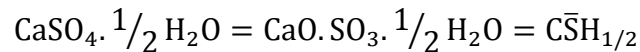
- ✓ Sulfato de calcio anhidro (anhidrita):



- ✓ Sulfato de calcio dihidratado (yeso):



- ✓ Hemidrato de sulfato de calcio:



El yeso, sulfato de calcio dihidratado, es la fuente de sulfato más empelada en el cemento. Existen otros compuestos importantes que conforman la estructura química del cemento, como, por ejemplo:

- ✓ Óxido de Magnesio:  $\text{MgO}$
- ✓ Óxidos de Potasio y Sodio:  $\text{K}_2\text{O}, \text{Na}_2\text{O}$  (Álcalis).
- ✓ Óxidos de Manganeso y Titanio:  $\text{Mn}_2\text{O}_3, \text{TiO}_2$

#### 2.2.4.3. Propiedades físicas del cemento.

- ✓ **Tamaño de las Partículas y Finura**

El cemento portland consiste en partículas angulares individuales, con una variedad de tamaños resultantes de la pulverización del clínker en el molino (Fig. 2-31 izquierda). Aproximadamente 95% de las partículas del cemento son menores que 45 micrómetros, con un promedio de partículas de 15 micrómetros. La Figura 2-31 (derecha) ilustra la distribución del tamaño de las partículas para el cemento portland. (Kosmatka et al., 2004)

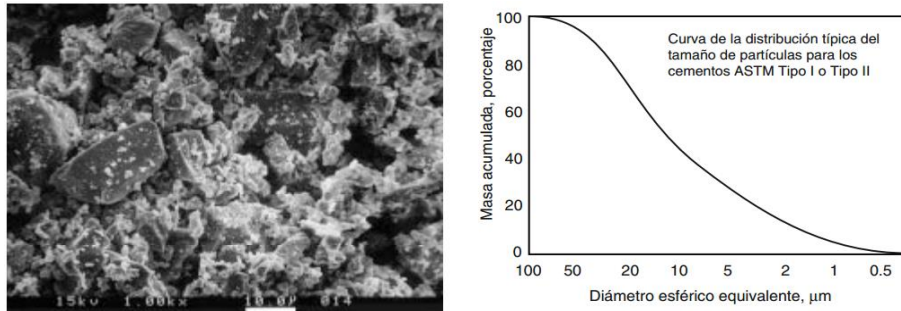


Figura 24: (izquierda) Micrografía electrónica de barrido de un polvo de cemento con aumento de 1000X y (derecha) distribución del tamaño de las partículas del cemento portland. (Kosmatka et al., 2004).

#### 2.2.4.4. Hidratación del cemento.

Se denomina hidratación al conjunto de reacciones químicas entre el agua y los componentes del cemento. Los componentes ya mencionados anteriormente, al reaccionar con el agua forman hidróxidos e hidratos de calcio complejos. El proceso es exotérmico generando un flujo de calor hacia el exterior denominado calor de hidratación y dependiendo de la temperatura, el tiempo, y la relación entre la cantidad de agua y cemento que reaccionan, se pueden definir los siguientes estados que se han establecido de manera arbitraria para distinguir las etapas del proceso de hidratación: (Pasquel, 1998).

##### a. Estado Plástico

En esta etapa se produce la unión del agua y el polvo de cemento formando una pasta moldeable. Cuanto menor es la relación Agua/Cemento, mayor es la concentración de partículas de cemento en la pasta compactada y por ende la estructura de los productos de hidratación es mucho más resistente. (Pasquel, 1998).

##### b. Fraguado inicial.

Condición de la pasta de cemento en que se aceleran las reacciones químicas, empieza el endurecimiento y la pérdida de la plasticidad, midiéndose en términos de la resistencia a deformarse. proceso exotérmico donde se genera el ya mencionado calor de hidratación, que es consecuencia de las reacciones químicas. (Pasquel, 1998).

##### c. Fraguado Final

Se obtiene al término de la etapa de fraguado inicial, caracterizándose por endurecimiento significativo y deformaciones permanentes. La estructura del gel

está constituida por el ensamble definitivo de sus partículas endurecidas. (Pasquel, 1998).

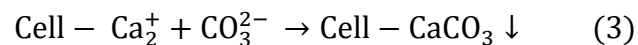
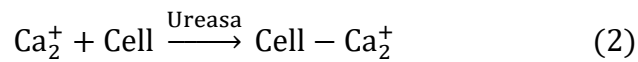
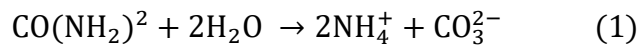
**d. Endurecimiento.**

Se produce a partir del fraguado final y es el estado en que se mantienen e incrementan con el tiempo las características resistentes. La reacción predominante es la hidratación permanente de los silicatos de calcio, y en teoría continúa de manera indefinida. (Pasquel, 1998).

**2.2.5. Carbonato de Calcio (CaCO<sub>3</sub>).**

El carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) es uno de los minerales más comunes en la tierra. Su precipitación es un fenómeno común, forma rocas naturales y existe en ambientes como el agua marina, agua dulce y suelos (Ehrlich, 1998 & Castanier et al., 1999).

El pH alcalino es el medio primario por el cual las bacterias promueven la precipitación de calcita. El proceso bioquímico se muestra en las siguientes ecuaciones: (Al-Thawadi *et. al*, 2012).

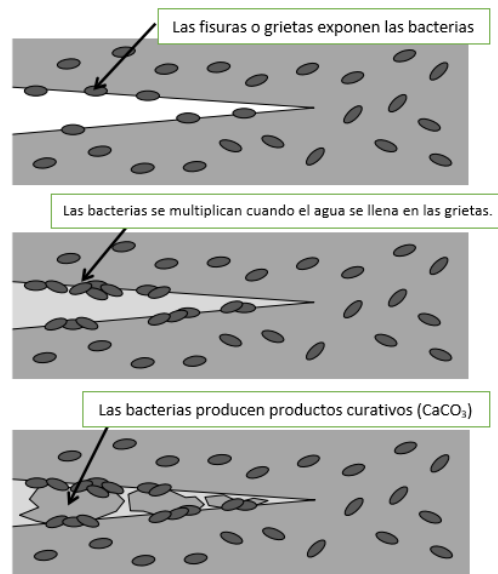


*Ecuación 1: Proceso bioquímico de precipitación de CaCO<sub>3</sub>. (Al-Thawadi et. al, 2012).*

El enfoque de autoreparación del aditivo bacteriano utiliza bacterias que inducen la precipitación de carbonato de calcio. Como resultado de la generación de carbonato por el metabolismo de las bacterias en un ambiente de alto contenido de calcio. (Li and Herbert, 2012)

La precipitación de carbonato de calcio bacteriano en condiciones apropiadas es un fenómeno general. En el caso de la formación de carbonato de calcio a través de la hidrólisis de la urea, el proceso se conoce como precipitación de calcita microbiana. (Al-Thawadi *et. al*, 2012).

La precipitación in situ de carbonato de calcio también es conocido como biocementación o BioGrout que es superior a los materiales arenosos cementados químicos en términos de resistencia de factores de intemperismo, conservación de la permeabilidad y disminución insignificante en porosidad. (Al-Thawadi, 2011). Gráficamente el proceso de biocementación según (Li and Herbert, 2012) se muestra en la figura:



*Figura 25: Adaptación del proceso de autoreparación con aditivo bacteriano mediante la precipitación de  $\text{CaCO}_3$ . (Li and Herbert, 2012).*

### 2.2.6. Concreto.

El concreto (hormigón) es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesta de cemento portland y agua, une los agregados, normalmente arena y grava (piedra triturada piedra machacada, pedrejón), creando una masa similar a una roca. Esto ocurre por el endurecimiento de la pasta en consecuencia de la reacción química del cemento con el agua. Otros materiales cementosos (cementantes) y adiciones minerales se pueden incluir en la pasta. (Kosmatka et al., 2004).

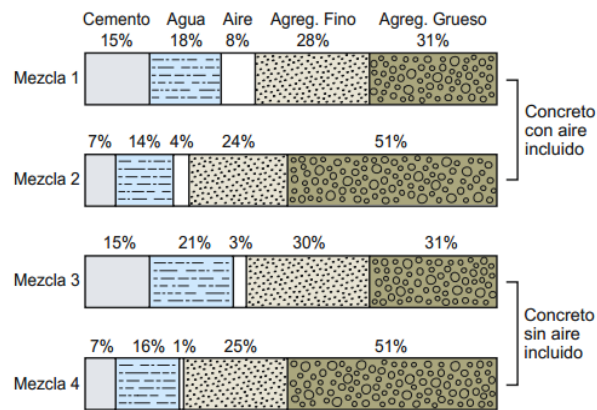


Figura 26: Variación de las proporciones usadas en concreto, en volumen absoluto. Las barras 1 y 3 representan mezclas ricas con agregados de pequeño tamaño. Las barras 2 y 4 representan mezclas pobres con agregados gruesos grandes. (Kosmatka et al., 2004).

### 2.2.6.1. Concreto en estado fresco

El concreto recién mezclado (amasado) debe ser plástico o semifluido y generalmente capaz de ser moldeado a mano. Una mezcla de concreto muy húmeda se puede moldear en el sentido de que puede colarse en el molde o cimbras (encofrado), pero no está dentro de la definición de “plástico” – aquél que es flexible y capaz de ser moldeado de la misma manera que un terrón de arcilla para moldear. (Kosmatka et al., 2004). Así pues, el concreto en estado fresco presenta las siguientes propiedades:

#### 2.2.6.1.1. Trabajabilidad.

La facilidad de colocación, consolidación y acabado del concreto fresco y el grado que resiste a la segregación se llama trabajabilidad. El concreto debe ser trabajable pero los ingredientes no deben separarse durante el transporte y el manejo. (Kosmatka et al., 2004).

El método tradicional de medir la trabajabilidad ha sido desde hace muchos años el "Slump" o asentamiento con el cono de Abrams, ya que permite una aproximación numérica a esta propiedad del concreto. (Pasquel, 1998). La Prueba de asentamiento o Slump se realizó de acuerdo a la norma (ASTM C143 / C143M – 15a).

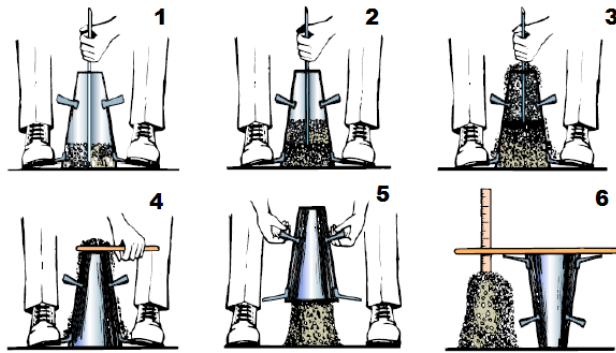


Figura 27: Procedimiento esquemático de la prueba de Slump. (CEM Solutions, 2018)

Tipos de Slump:

- Slump cercano a cero
- Slump normal
- Slump por cizalladura
- Slump de colapso

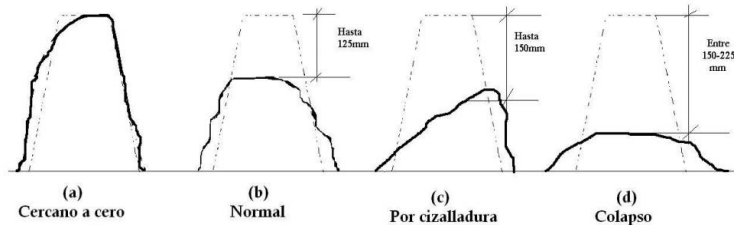


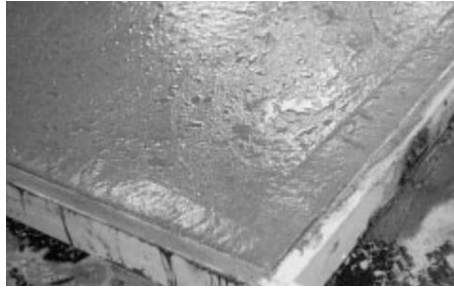
Figura 28: Formas que adopta la mezcla en la prueba de Slump. (Uca.edu.sv, 2018)

CONSISTENCIA	SLUMP	TRABAJABILIDAD	METODO DE COMPACTACION
Seca	0" a 2"	poco trabajable	Vibración normal
Plastica	3" a 4"	trabajable	Vibración ligera chuseado
Fluida	> 5"	muy trabajable	Chuseado

Tabla 6: Clases de mezclas según su asentamiento. (Abanto, 2009).

#### 2.2.6.1.2. Sangrado (exudación).

Sangrado (exudación) es el desarrollo de una camada de agua en el tope o en la superficie del concreto recién colocado. Es causada por la sedimentación (asentamiento) de las partículas sólidas (cemento y agregados) y simultáneamente la subida del agua hacia la superficie. El sangrado es normal y no debería disminuir la calidad del concreto adecuadamente colocado, acabado y curado. (Kosmatka et al., 2004).



*Figura 29: Agua de exudación en la superficie del concreto recién colado en la losa. (Kosmatka et al., 2004).*

#### **2.2.6.1.3. Segregación.**

Propiedad del concreto fresco, que implica la descomposición de este en sus partes constituyentes o lo que es lo mismo, la separación del agregado grueso del mortero. Es un fenómeno perjudicial para el concreto, produciéndose en el elemento llenado, bolsones de piedra, capas arenosas, cangrejas, etc. (Abanto, 2009).

#### **2.2.6.1.4. Contracción.**

Es una de las propiedades más importantes en función de los problemas de fisuración que se producen con frecuencia. La pasta de cemento necesariamente se contrae debido a la reducción del volumen original de agua por combinación química, y a esto se le llama contracción intrínseca que es un proceso irreversible. (Pasquel, 1998).

#### **2.2.6.2. Concreto endurecido.**

##### **2.2.6.2.1. Curado.**

El curado es el nombre que se da a los procedimientos utilizados para promover la hidratación del cemento. El objeto del curado es mantener saturado el concreto, o tan cercanamente saturado como sea posible, hasta que el espacio originalmente llenado con agua de la pasta de cemento fresco se haya llenado en el grado deseado por los productos de hidratación del cemento. (Neville, 2012)

##### **2.2.6.2.2. Extensibilidad.**

Se define en función de la deformación unitaria máxima que puede asumir el concreto sin llegar a fisurarse (micro fisuración). (Pasquel, 1998).



### **2.2.6.2.3. Resistencia.**

#### **✓ La resistencia a compresión.**

La resistencia a compresión se puede definir como la medida máxima de la resistencia a carga axial de especímenes de concreto. Normalmente, se expresa en kilogramos por centímetros cuadrados ( $\text{kg/cm}^2$ ), megapascuales (MPa) o en libras por pulgadas cuadradas ( $\text{lb/pulg}^2$  o psi) a una edad de 28 días. Un megapascal equivale a la fuerza de un newton por milímetro cuadrado ( $\text{N/mm}^2$ ) o 10,2 kilogramos - fuerza por centímetro cuadrado. (Kosmatka et al., 2004).

La determinación de la resistencia a compresión se da a través de ensayos (experimentación, prueba) en probetas (muestras de prueba, muestras de ensayo, especímenes) de concreto o mortero. (Kosmatka et al., 2004).

#### **✓ Módulo de Elasticidad.**

El módulo de elasticidad, denotado por el símbolo E, se puede definir como la razón entre el esfuerzo normal a una deformación correspondiente para el esfuerzo de tensión o compresión abajo del límite de proporcionalidad del material. En concretos de peso normal, el E varía de 140,000 a 420,000  $\text{kg/cm}^2$  o de 14,000 a 41,000 MPa (2 a 6 millones de  $\text{lb/pulg}^2$ ) (Kosmatka et al., 2004).

### **2.2.6.2.4. Peso unitario (Densidad).**

El concreto convencional, tiene un peso específico (densidad, peso volumétrico, masa unitaria) que varía de 2200 hasta 2400  $\text{kg/m}^3$ . La densidad del concreto varía dependiendo de la cantidad y la densidad del agregado, la cantidad de aire atrapado (ocluido) o intencionalmente incluido y las cantidades de agua y cemento. (Kosmatka et al., 2004). En la presente investigación se realizó el ensayo de peso unitario para el concreto tal como indica la NTP 339.046.

### **2.2.7. Diseño de mezcla de concreto.**

En la presente investigación se ha visto por conveniente utilizar el Método del Comité 211 del ACI y el Método del Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados, los cuales se describen a continuación:

### **A. Método del Comité 211 del ACI. (Rivva, 2013)**

La metodología adoptada se resume en los siguientes pasos, de acuerdo a (Rivva,2013).

- ✓ 1° Paso: *Cálculo de la resistencia promedio: ( $f'c_r$ )*
- ✓ 2° Paso: Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso (TMN). (NTP 400.037)
- ✓ 3° Paso: Selección del asentamiento (Slump).
- ✓ 4° Paso: Selección del volumen unitario de agua de diseño
- ✓ 5° Paso: Selección del contenido de aire
- ✓ 6° Paso: Selección de la relación agua/cemento por resistencia
- ✓ 7° Paso: Determinación del factor cemento
- ✓ 8° Paso: Determinación del contenido de agregado grueso
- ✓ 9° Paso: Determinación de la suma de los volúmenes absolutos de cemento, agua de diseño, aire, y agregado grueso.
- ✓ 10° Paso: Determinación del volumen absoluto del agregado fino.
- ✓ 11° Paso: Determinación del peso seco del agregado fino.
- ✓ 12° Paso: Determinación de los valores de diseño del cemento, agua, aire, agregado fino y agregado grueso.
- ✓ 13° Paso: Corrección de los valores de diseño por humedad del agregado.
- ✓ 14° Paso: Determinación de la proporción en peso de diseño.
- ✓ 15° Paso: Determinación de los pesos por tanda de una probeta estándar.

### **B. Método del Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados.**

Este método fue propuesto por Stanton Walker conjuntamente con un grupo de investigadores de la Universidad de Maryland, que determinaron una ecuación para el módulo de fineza de la mejor combinación de agregados para las condiciones planteadas por las especificaciones de obra. (Rivva, 2013). La ecuación a utilizar fue:

$$m = r_r * m_r + r_g * m_g$$

Donde:

- *m*: *Modulo de fineza de la combinación de agregados.*
- *m<sub>r</sub>*: *Modulo de fineza del agregado fino.*
- *m<sub>g</sub>*: *Modulo de fineza del agregado grueso.*
- *r<sub>r</sub>*: *Porcentaje de agregado fino en relación al volumen absoluto total del agregado.*
- *r<sub>g</sub>*: *Porcentaje de agregado grueso en relación al volumen absoluto total de agregado.*

*Ecuación 2: Módulo de fineza de la combinación de agregados. (Rivva, 2013).*

Del análisis de la ecuación se puede deducir que el módulo de fineza de una combinación de agregados fino y grueso es igual a la suma de los productos de los módulos de fineza de cada ingrediente por la relación del volumen absoluto de cada ingrediente al volumen absoluto de todos los ingredientes. (Rivva, 2013).

## **2.2.8. Causas de la fisuración del concreto.**

### **2.2.8.1. Fisuración del concreto endurecido.**

#### **2.2.8.1.1. Retracción por secado.**

Una causa habitual de la fisuración del hormigón es la restricción de la retracción por secado. La retracción por secado es provocada por la pérdida de humedad de la pasta cementicia, la cual se puede contraer hasta un 1%. Por fortuna, los agregados proveen una restricción interna que reduce la magnitud de este cambio de volumen a aproximadamente 0,06%. Cuando se humedece el hormigón tiende a expandirse. (ACI -224.1R-93).

#### **2.2.8.1.2. Tensiones de origen térmico.**

Las diferencias de temperatura dentro de una estructura de hormigón pueden ser provocadas por partes de la estructura que pierden calor de hidratación a diferentes velocidades, o por condiciones climáticas que enfrían o calientan una parte de la estructura hasta una mayor temperatura o con una mayor velocidad que otra. Estas diferencias de temperatura ocasionan cambios diferenciales de volumen. Si las tensiones de tracción provocadas por los cambios diferenciales de volumen

superan la capacidad de deformación por tracción del hormigón, éste se fisurará. (ACI -224.1R-93)

#### **2.2.8.1.3. Reacciones químicas.**

Algunas reacciones químicas pueden provocar la fisuración del hormigón. Estas reacciones pueden ser producto de los materiales utilizadas para preparar el hormigón, o de los materiales que están en contacto con el hormigón una vez endurecido. (ACI -224.1R-93)

#### **2.2.8.1.4. Meteorización.**

Los procesos de meteorización que pueden provocar fisuración, incluyen el congelamiento, deshielo, humedecimiento, secado, calentamiento y enfriamiento. En general la fisuración provocada por los procesos naturales de meteorización es conspicua, y puede dar la impresión de que el hormigón está a punto de desintegrarse. Los daños en el hormigón endurecido provocados por el congelamiento se deben al movimiento del agua hacia los sitios de congelamiento y a la presión hidráulica generada por el crecimiento de cristales de hielo. (ACI -224.1R-93)

#### **2.2.8.1.5. Corrosión de las armaduras.**

La corrosión de un metal es un proceso electroquímico que requiere un agente oxidante, humedad y flujo de electrones dentro del metal; se producen una serie de reacciones químicas en la superficie del metal y cerca de la misma. El acero de las armaduras se puede corroer si la alcalinidad del hormigón se reduce por carbonatación o si la pasividad de este acero es destruida por iones agresivos (generalmente cloruros). La corrosión del acero produce óxidos e hidróxidos de hierro, cuyo volumen es mucho mayor que el del hierro metálico original. Este aumento de volumen provoca tensiones radiales de estallido alrededor de las barras de armadura, y la consiguiente aparición de fisuras radiales localizadas. (ACI -224.1R-93)

#### **2.2.8.1.6. Prácticas constructivas inadecuadas.**

Existe una gran variedad de prácticas constructivas inadecuadas cuyo resultado puede ser la fisuración del hormigón. Entre ellas la más habitual es la costumbre de agregarle agua al hormigón para mejorar su trabajabilidad. El agua agregada reduce la resistencia, aumenta el asentamiento y aumenta la retracción por secado. Si esta práctica se combina con el uso de un mayor contenido de cemento para contrarrestar la reducción de la resistencia, el aumento del contenido de agua significará un aumento del diferencial de temperatura entre el interior y el exterior de la estructura, cuyo resultado será un aumento de las tensiones térmicas y posiblemente, fisuración. (ACI -224.1R-93).

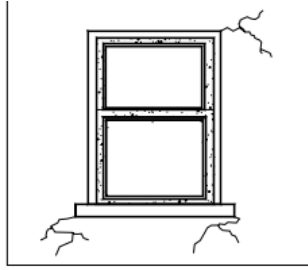
#### **2.2.8.1.7. Sobrecargas durante la construcción.**

A menudo las cargas inducidas durante la construcción pueden ser mucho más severas que las que soportará la estructura en servicio. Desafortunadamente, estas condiciones se pueden dar a edades tempranas cuando el hormigón, es más susceptible de ser dañado y con frecuencia originan fisuras permanentes. (ACI -224.1R-93)

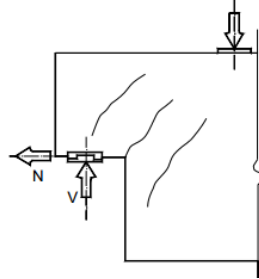
Los elementos premoldeados, tales como vigas y paneles, son los más expuestos a este tipo de abuso, pero el hormigón colado in situ no está exento de ser afectado. Un error común es no apoyar correctamente los elementos premoldeados durante su transporte y montaje. El uso de puntos de elevación arbitrarios o simplemente convenientes puede provocar daños severos. (ACI -224.1R-93)

#### **2.2.8.1.8. Errores de diseño y detallado**

Los errores de diseño y detallado que pueden provocar fisuración inaceptable incluyen el uso de ángulos reentrantes mal detallados en las esquinas de muros, elementos y losas premoldeados, la incorrecta selección y/o detallado de las armaduras, la restricción de elementos sujetos a cambios de volumen provocados por variaciones de temperatura y humedad, la falta de juntas de contracción adecuadas y el incorrecto diseño de las fundaciones, que provoca movimientos diferenciales dentro de la estructura. (ACI -224.1R-93)



*Figura 30: Patrones de fisuración típicos en ángulos o esquinas reentrantes. (ACI - 224.1R-93)*



*Figura 31: Patrón de fisuración típico en el extremo entallado de una viga bajo cargas de servicio. (ACI -224.1R-93)*

#### **2.2.8.1.9. Cargas aplicadas externamente.**

Se sabe que las tensiones de tracción inducidas por las cargas provocan la fisuración de los elementos de hormigón. Los procedimientos de diseño actuales (ACI 318 y las Especificaciones Normalizadas para Puentes Carreteros de AASHTO) utilizan armaduras no sólo para tomar las fuerzas de tracción sino también para lograr una adecuada distribución de las fisuras e imponer un límite razonable al ancho de las mismas. El ancho de fisura aumenta con el aumento de la tensión de las armaduras, el espesor del recubrimiento y la sección de hormigón que rodea cada una de las barras. De todas estas variables la más importante es la tensión del acero de las armaduras. El diámetro de las barras no es una consideración importante. El ancho de una fisura en la parte inferior de una viga aumenta a medida que aumenta el gradiente de deformación entre el acero y la cara traccionada de la viga. (ACI -224.1R-93).

## **2.2.9. Ensayo en las muestras de concreto.**

### **2.2.9.1. Ensayos de resistencia a la compresión en testigos de concreto**

La resistencia a la compresión de la probeta es calculada por división de la carga máxima alcanzada durante el ensayo, entre el área de la sección recta de la probeta, siguiendo el procedimiento de la NTP 339.034:2008.

### **2.2.10. Evaluación de la fisuración**

La determinación de la ubicación y magnitud de las fisuras en el concreto para las probetas de concreto se observaron en un estereoscopio y microscopio, se localizaron y se procedió a medir las fisuras que estas presentan con la utilización de una regla graduada, realizando una inspección a los 14 y 28 días para y evaluar el proceso de autoreparación del concreto. Los anchos de las fisuras se pudieron medir con una precisión de alrededor de 0,025 mm utilizando dichos instrumentos. Se complementó con fotografías que documentaron la condición de las probetas en el momento de la investigación. (ACI -224.1R-93).

## CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.

### 3.1.Ubicación geográfica de la investigación.

Esta investigación se llevó a cabo en el campus de la Universidad Nacional de Cajamarca, en el laboratorio de ensayo de materiales de la Facultad de Ingeniería y en el Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ciencias de la Salud en el distrito, provincia y departamento de Cajamarca.

Las características geográficas de esta ciudad son las siguientes: 7°9'49.6" de latitud sur y 78°30'1" de longitud oeste, altitud de 2680 msnm, temperatura media de 14°C, humedad relativa del 65%, precipitación promedio anual de 650 mm/año.

Cabe mencionar que esta investigación se realizó en los meses de julio del 2018 a julio del año 2019.

### 3.2.Tipo, nivel y diseño de la investigación.

<b>Criterio</b>	<b>Tipo de investigación</b>
<b>Finalidad</b>	Básica
<b>Estrategia o enfoque teórico metodológico</b>	Cuantitativa
<b>Objetivos (alcances)</b>	Explicativa
<b>Fuente de datos</b>	Primaria
<b>Control en el diseño de la prueba</b>	Experimental
<b>Temporalidad</b>	Transversal (sincrónica)
<b>Contexto donde sucede</b>	Laboratorio.
<b>Intervención disciplinaria</b>	Multidisciplinaria

*Tabla 7: Tipo, nivel y diseño de la investigación. (Vieytes, 2004), (Maletta 2009), (Hernández et al., 2010).*



### 3.3. Procedimiento Experimental.

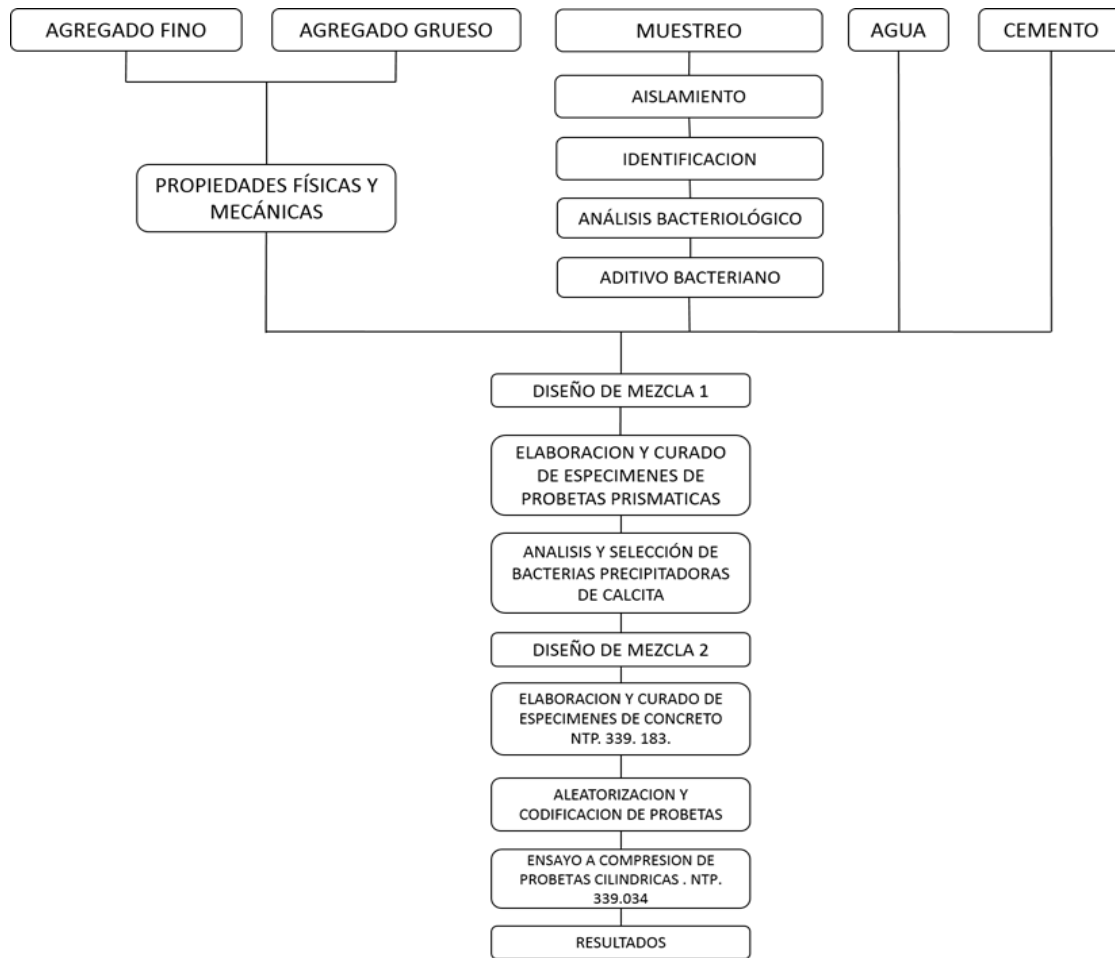


Gráfico 3: Diagrama de flujo del procedimiento experimental.

#### 3.3.1. Material biológico.

Estuvo constituido por 17 cultivos bacterianos de los géneros *Bacillus*, *Paenibacillus* y *Brevibacillus*.

##### 3.3.1.1. Muestreo bacteriano.

Se muestreo a partir de restos de material de concreto abandonado en los laboratorios de ensayos de materiales de la Facultad de Ingeniería y de construcciones demolidas, de rocas y a partir de muestras de suelos ubicados en el campus de la misma universidad. La colección del material de concreto, roca y/o suelos se realizó con la ayuda de una espátula estéril, con la cual se recolecto el material que fue colocado en un frasco de boca ancha, estéril y con tapa tipo rosca. Este material fue transportado inmediatamente al Laboratorio de

Microbiología de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Nacional de Cajamarca.



*Figura 32: Zona de extracción de muestra de concreto viejo.*



*Figura 33: Zona de muestreo Campus UNC, (se extrajeron muestras de tierra).*



*Figura 34: Zona de muestreo Campus UNC, (se extrajeron muestras de roca).*



*Figura 35: Rocas utilizadas para muestreo.*



*Figura 36: Roca 1 utilizada para la extracción de muestra.*



*Figura 37: Roca 2 utilizada para la extracción de muestra.*



*Figura 38: Roca 3 fracturada, utilizada para la extracción de muestra.*



*Figura 39: Muestras en suspensión de roca, concreto y suelo.*

### **3.3.1.2. Aislamiento bacteriano.**

Las muestras de roca, concreto y de suelos fueron procesados en el Laboratorio de Microbiología con la finalidad de aislar bacterias del género *Bacillus*, *Paenibacillus* y *Brevibacillus*, que fueron sometidas a una serie de pruebas de identificación bacteriana necesarias para identificar las especies.

Una vez obtenida la muestra de roca, concreto y/o suelo, se hirvió cada frasco estéril con la finalidad de conservar solo aquellas bacterias termófilas que sobrevivan a ambientes hostiles (temperatura de hervor del agua en Cajamarca), este proceso se repitió varias veces hasta encontrar una cantidad considerable de cepas para su posterior identificación.



*Figura 40: Frascos estériles hirviendo para eliminar bacterias no resistentes a altas temperaturas.*

Posteriormente se elaboró el medio de cultivo de agar nutritivo en proporción de 20g en 1 litro de disolución tal como indicaba la etiqueta del producto, se pesó, luego se disolvió en agua destilada, luego se autoclavó, se licuo el medio y se vertió en placas Petri.

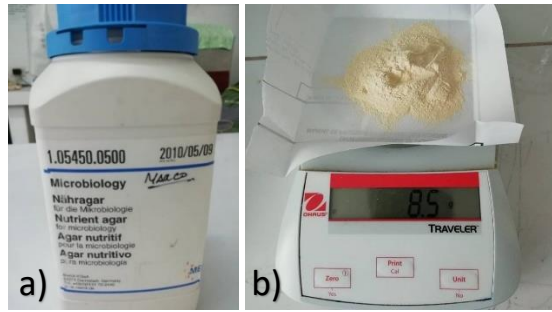


Figura 41: a) Agar nutritivo utilizado para la preparación de placas de cultivo Petri.  
b) Pesado de Agar nutritivo para la elaboración de placas Petri.

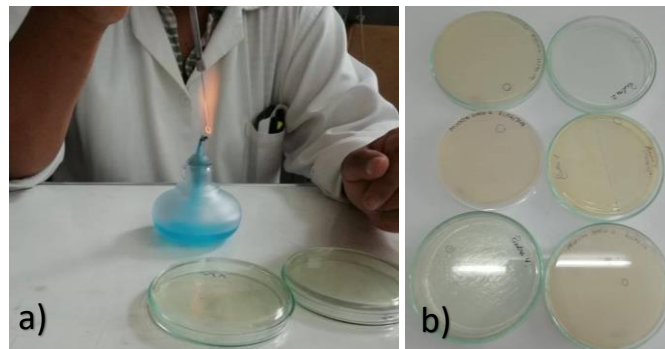


Figura 42: a) Agar nutritivo para el cultivo de las muestras. b) Material dentro del autoclave para esterilizar. c) Licuado de medio para verterlo en placas Petri.

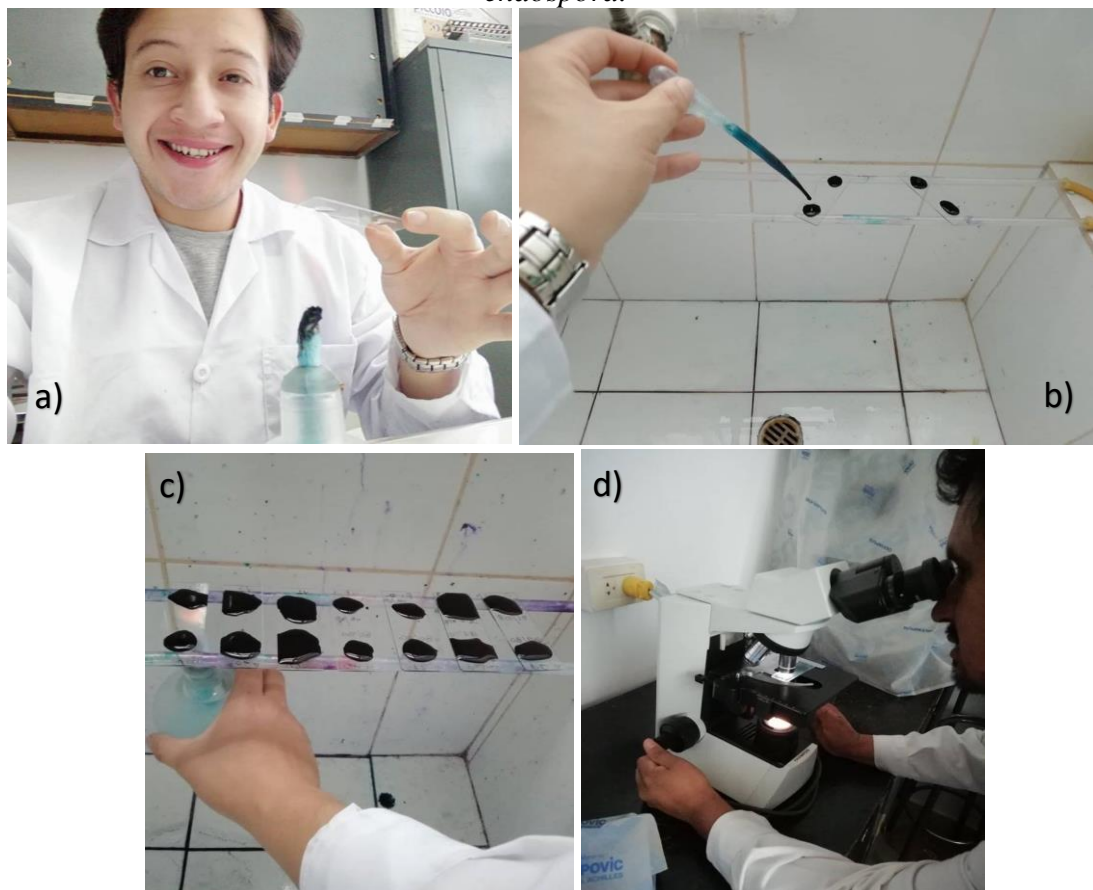
Terminada la preparación del medio de cultivo y servido en placas se procedió a sembrar la suspensión bacteriana y se incubó por un periodo de 24 horas, luego se seleccionó aquellas cepas bacterianas que presentaban endospora mediante el proceso de coloración como se describe a continuación según (Tortora et. al 2007):

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

- ✓ Se lavó el exceso de colorante con agua.
- ✓ Se dejó secar al aire.
- ✓ Se añadió una gota de aceite de inmersión.
- ✓ Finalmente, se procedió a observar en el microscopio con un aumento de 100x.



*Figura 43: a) Esterilización del aza circular para el sembrado en placas Petri. b) Placas luego la incubación (24 horas), preparadas para la prueba de coloración de endospora.*



*Figura 44: Coloración de endospora; a) preparación de lámina portaobjetos con cepas bacterianas. b) proceso de adición de verde malaquita, alcohol cetona y safranina c) flameado de láminas d) análisis en microscopio de endosporas.*

Concluyentemente en esta etapa se procedió al resembrado de un total de 47 colonias bacterianas (de las cuales 15 se trabajaron por triplicado y 2 por duplicado) para su posterior identificación, se conservaron las bacterias que presentaban endospora, para dicho proceso primero se sembró en 47 viales estériles para posteriormente resembrarlos en placas Petri.

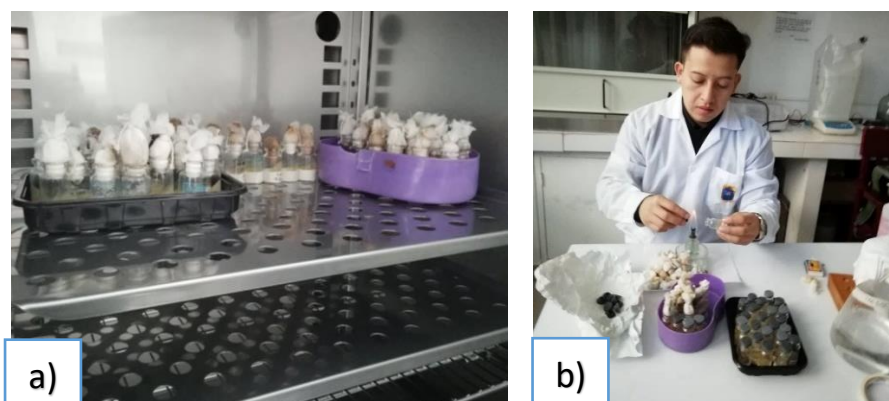
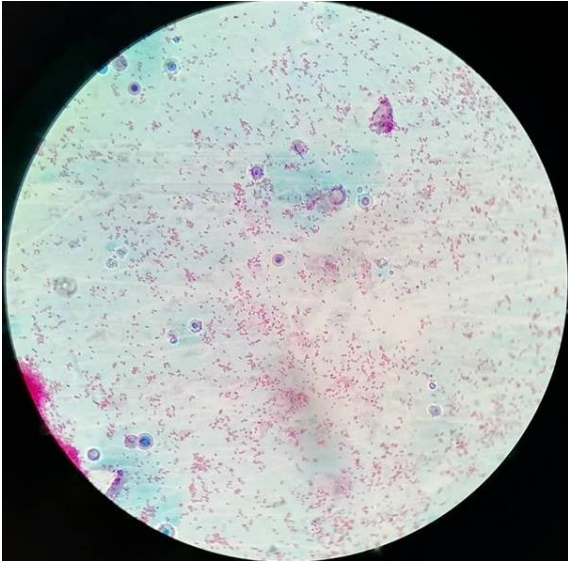


Figura 45: a) Proceso de incubación de las 47 cepas bacterianas en viales estériles. b) Preparación de viales estériles para la conservación de las 45 cepas bacterianas.

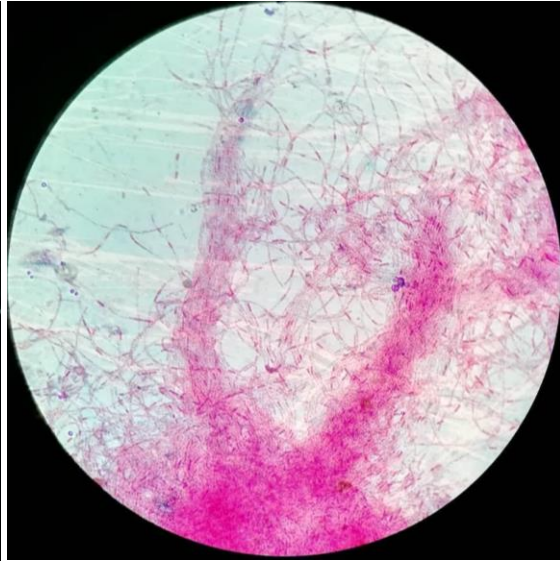
Nº	Codificación de Cepa Bacteriana	Nº	Codificación de Cepa Bacteriana	Nº	Codificación de Cepa Bacteriana
1	Calcita Pura "a"	17	Piedra 4 "3b"	33	Piedra 1 "2b"
2	Calcita Pura "b"	18	Piedra 4 "1a"	34	Piedra 1 "3b"
3	Calcita Pura "c"	19	Piedra 4 "2a"	35	Piedra 1 "1a"
4	Tierra "1a"	20	Piedra 4 "3a"	36	Piedra 1 "2a"
5	Tierra "2a"	21	Piedra Calcita "1b"	37	Piedra 1 "3a"
6	Tierra "3a"	22	Piedra Calcita "2b"	38	Piedra 2 "1b"
7	Tierra "2b"	23	Piedra Calcita "3b"	39	Piedra 2 "2b"
8	Cº "1b"	24	Piedra Calcita "1a"	40	Piedra 2 "3b"
9	Cº "2b"	25	Piedra Calcita "2a"	41	Piedra 2 "1a"
10	Cº "3b"	26	Piedra Calcita "3a"	42	Piedra 2 "2a"
11	Cº "1a"	27	Piedra 3 "1a"	43	Piedra 2 "3a"
12	Cº "2a"	28	Piedra 3 "2a"	44	Vial 4 "a"
13	Cº "3a"	29	Piedra 3 "1b"	45	Vial 4 "b"
14	Tierra "1b"	30	Piedra 3 "2b"	46	Vial 1 "a"
15	Piedra 4 "1b"	31	Piedra 3 "3b"	47	Vial 1 "b"
16	Piedra 4 "2b"	32	Piedra 1 "1b"		

Tabla 8: Codificación y selección (color amarillo) de cepas bacterianas para su identificación y aplicación en la experimentación.

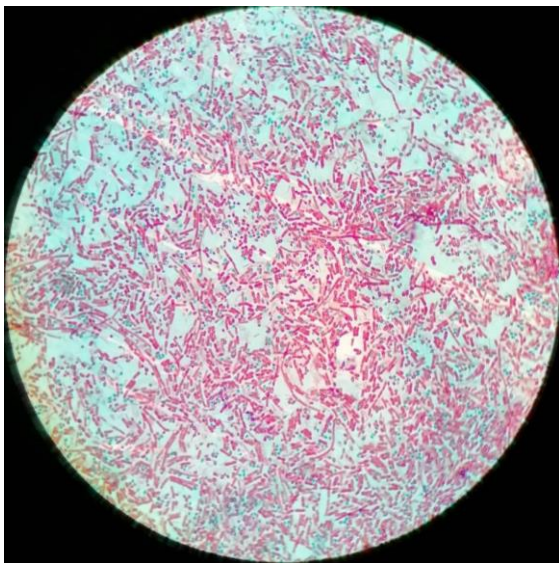
En total se seleccionaron 17 cepas bacterianas con presencia de endospora, las mismas que se muestran en las siguientes fotografías:



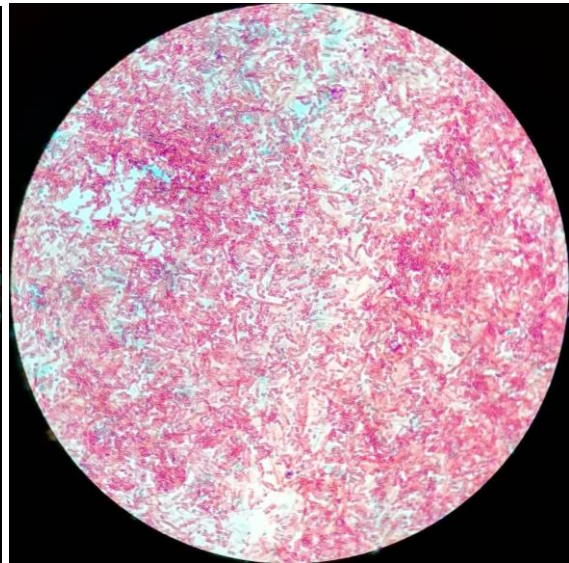
*Figura 46: Calcita Pura "c".  
Descripción: Bacilos cortos con espora  
ovalada central deformante (100x).*



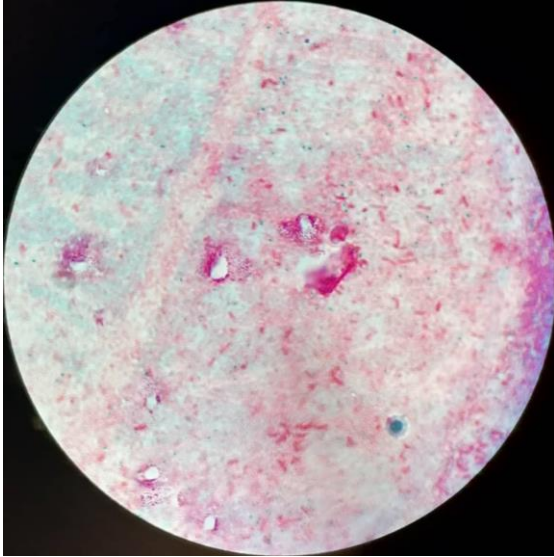
*Figura 47: Tierra "1a". Descripción:  
Bacilos medianos en cadena con espora  
central esférica deformante. (100x).*



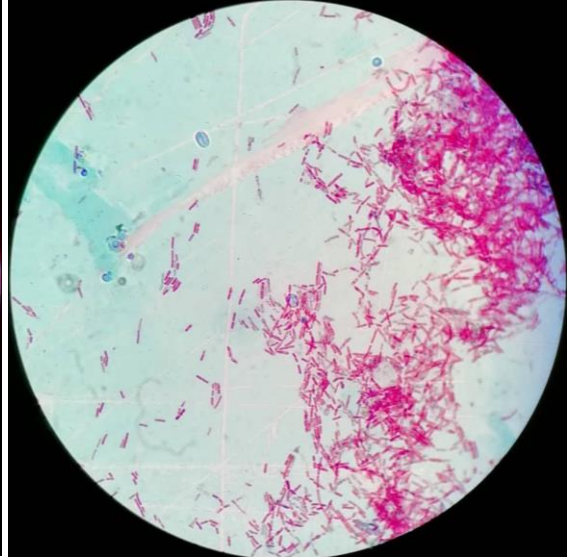
*Figura 48: C° "2b". Descripción:  
Bacilos cortos en cadena con espora  
central ovalada deformante. (100x).*



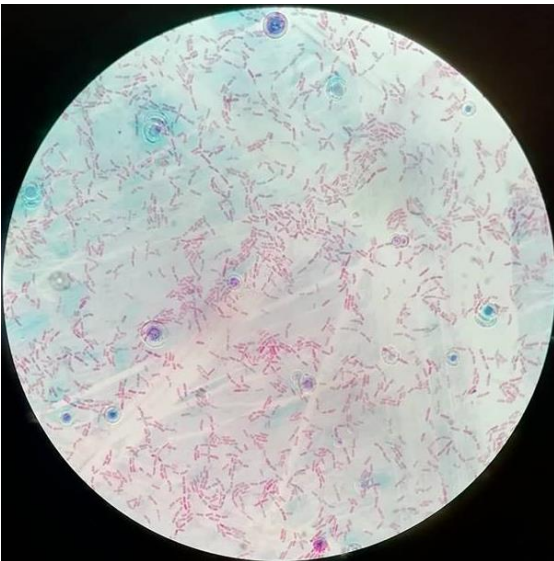
*Figura 49: C° "2a". Descripción:  
Bacilos cortos con espora central  
ovalada deformante. (100x).*



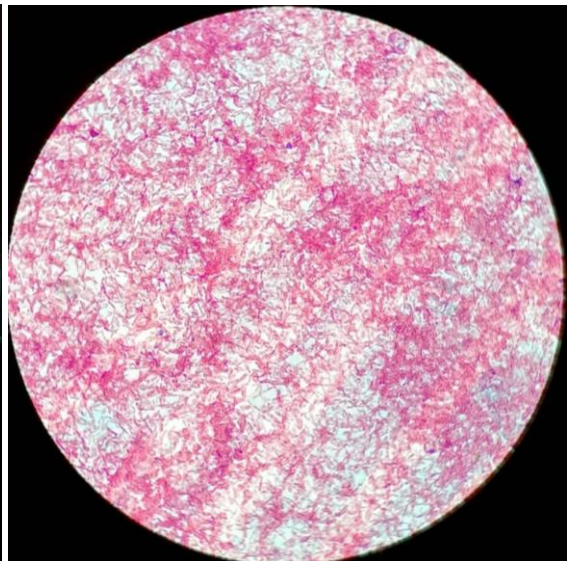
*Figura 50: Tierra "1b". Descripción: Bacilos cortos con espora ovalada central deformante (100x).*



*Figura 51: Piedra 4 "2b". Descripción: Bacilos cortos en cadena con espora central ovalada deformante. (100x).*

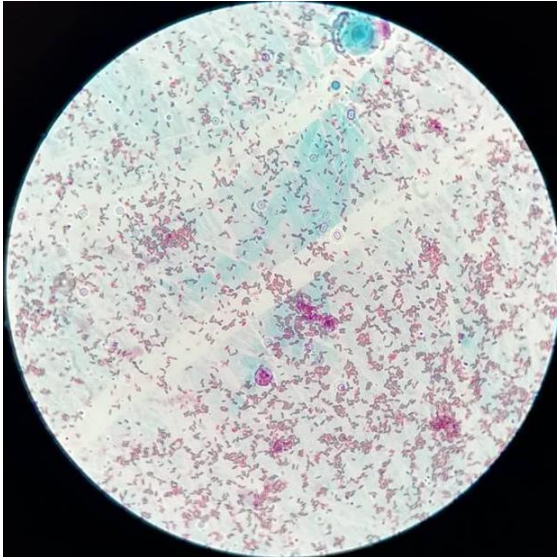


*Figura 52: Piedra 4 "1a". Descripción: Bacilos cortos en cadena con espora central ovalada deformante (100x).*

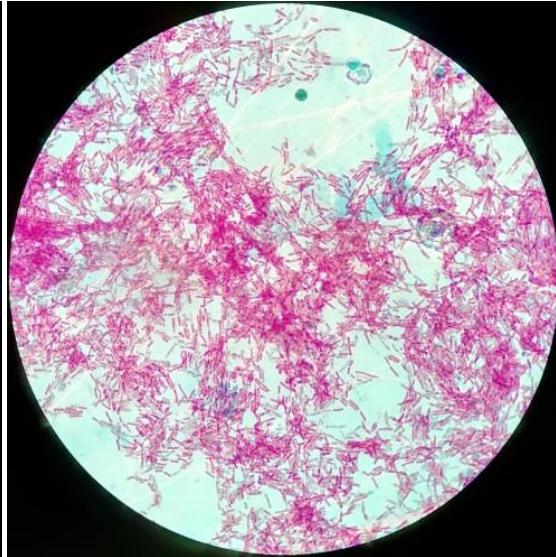


*Figura 53: Piedra Calcita "3b". Descripción: Bacilos cortos con espora ovalada central deformante (100x).*

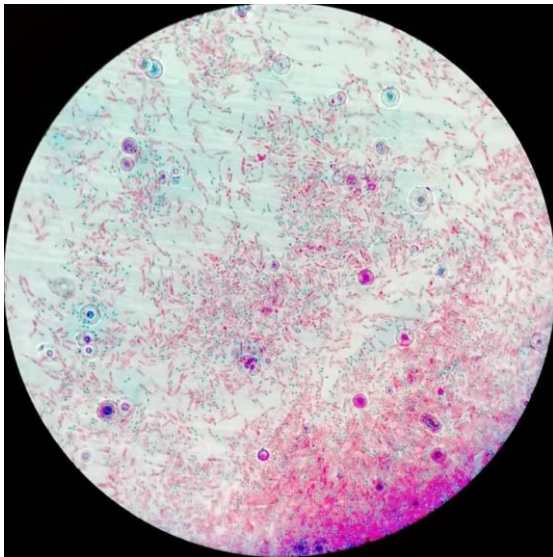




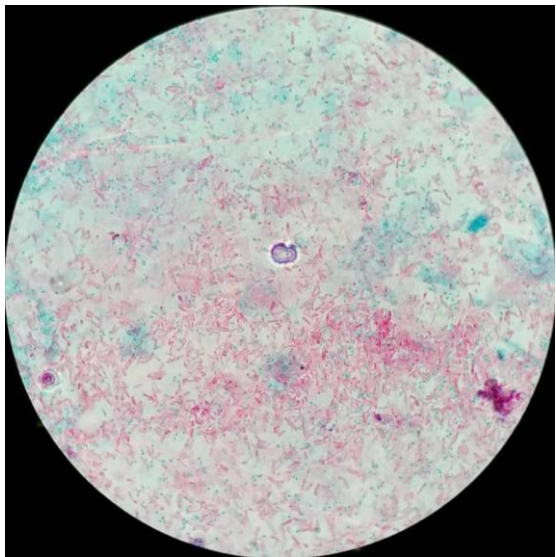
*Figura 54: Piedra Calcita "3a".  
Descripción: Bacilos cortos con espora ovalada central deformante (100x).*



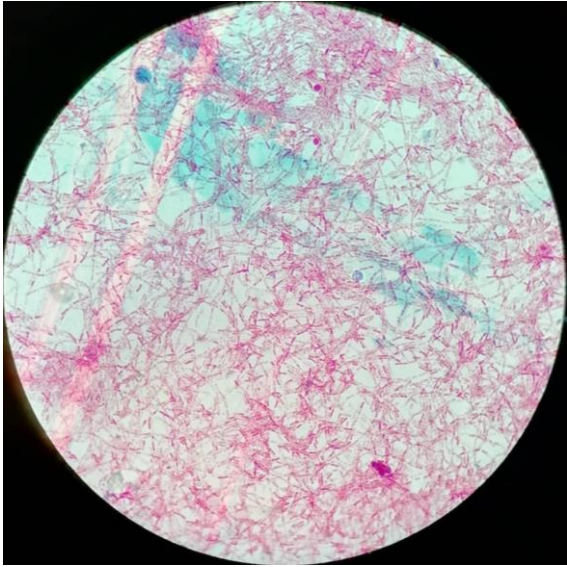
*Figura 55: Piedra 3 "1a". Descripción:  
Bacilos cortos con espora central ovalada deformante. (100x).*



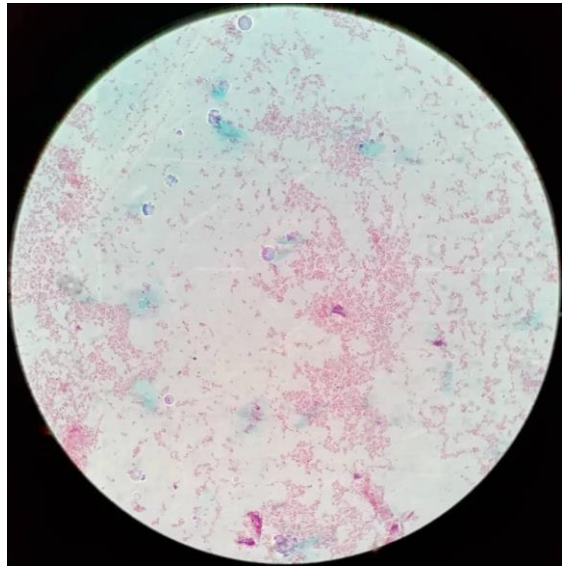
*Figura 56: Piedra 3 "1b". Descripción:  
Bacilos cortos con espora ovalada central deformante (100x).*



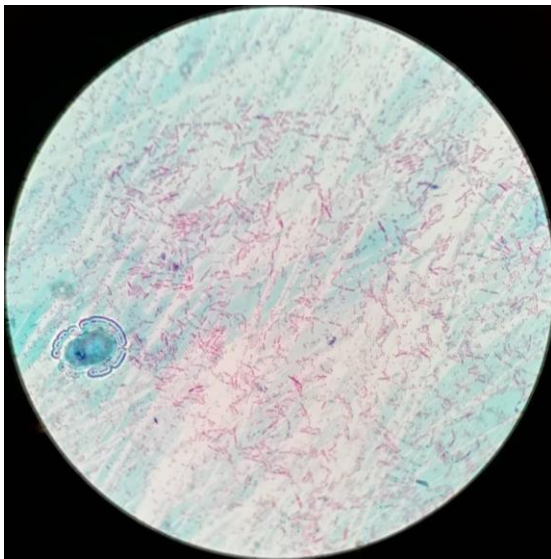
*Figura 57: Piedra 1 "2b". Descripción:  
Bacilos cortos con espora ovalada central deformante. (100x).*



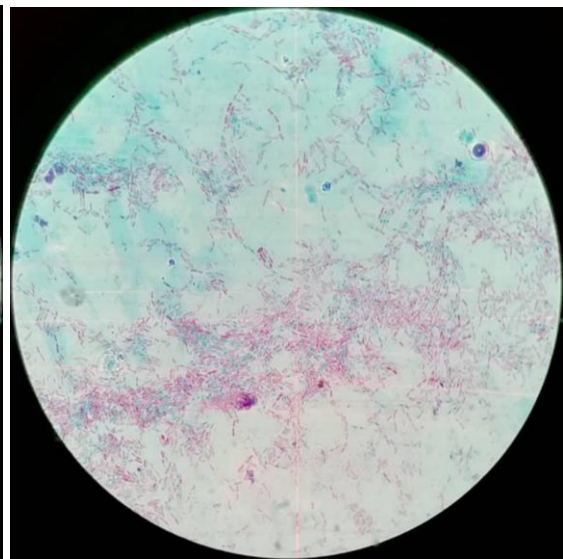
*Figura 58: Piedra 1 "2a". Descripción:  
Bacilos largos en cadena con espora  
central esférica (100x).*



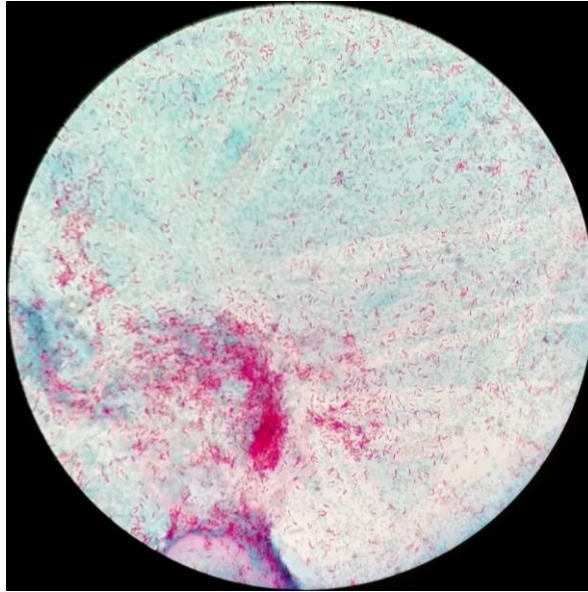
*Figura 59: Piedra 2 "2b". Descripción:  
Bacilos cortos con espora central  
ovalada. (100x).*



*Figura 60: Piedra 2 "2a". Descripción:  
Bacilos cortos con espora central  
esférica deformante. (100x).*

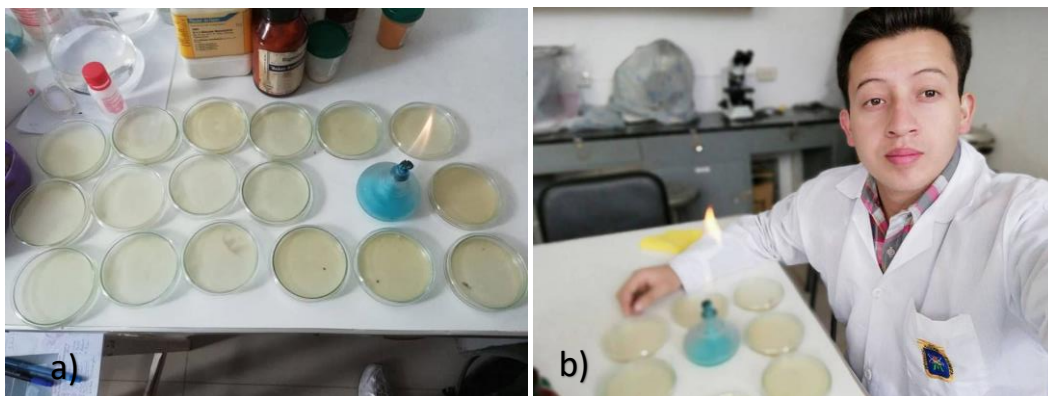


*Figura 61: Vial 4 "b". Descripción:  
Bacilos cortos con espora ovalada  
central deformante (100x).*



*Figura 62: Vial 1 "b". Descripción: Bacilos cortos con espora central deformante ovalada. (100x).*

### **3.3.1.3. Identificación bacteriana.**



*Figura 63: Preparación de 17 placas Petri para la reactivación e identificación bacteriana.*



*Figura 64: Proceso de incubación de las 17 cepas bacterianas en placas Petri.*

Obtenidas las cepas bacterianas, fueron sometidas a pruebas de identificación bacteriana mencionadas en el capítulo 2 de la presente investigación, en el acápite 2.2.1.5. fundamento de las pruebas de identificación bacteriana, cabe resaltar que hasta este punto de la investigación las pruebas de crecimiento en agar nutritivo, tinción de endospora y temperatura ya fueron comprobadas durante la etapa aislamiento.



*Figura 65: Reactivos utilizados en las pruebas de identificación bacteriana: de izquierda a derecha: 1. Agar Agar, 2. Glucosa monohidratada, 3. Sulfato de magnesio, 4. Cloruro de sodio, 5. Fosfato de sodio di básico, 6. Peptona.*

A continuación, se describe cada una de las pruebas realizadas.

### **3.3.1.3.1. Pruebas para la identificación**

#### **3.3.1.3.1.1. Prueba de la catalasa.**

**A. Material Y Reactivos.** Portaobjetos. peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) de 10 volúmenes. Cultivos en fase exponencial de bacterias. Asas e hilos de siembra. Pipetas Pasteur.

#### **B. Método.**

- ✓ Se colocó una gota de agua oxigenada sobre un portaobjetos con ayuda de una pipeta Pasteur.
- ✓ Se suspendió la bacteria
- ✓ Se detectó la formación de burbujas.

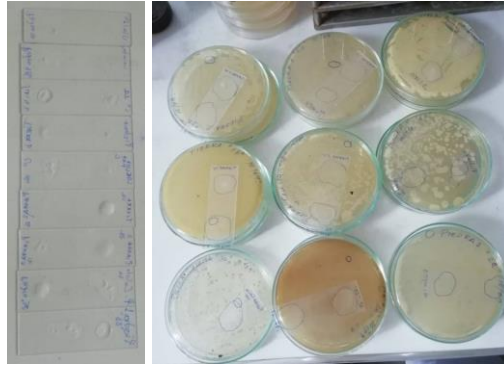


Figura 66: Prueba de la catalasa positiva presenta un burbujeo. Prueba de catalasa negativa no presenta reacción.

### 3.3.1.3.1.2. Prueba de Voges-Proskauer (VP)

Se procedió de acuerdo a (Luna, 2012) tal como se indica a continuación. Se utilizaron los siguiente materiales y reactivos:

Peptona	7 g
Glucosa	5 g
Fosfato dipotásico	5 g
Agua destilada	1000 ml

Tabla 9: Caldo de cultivo Voges-Proskauer ( $pH = 6.9$ ). (Luna, 2012)

Luego se disolvieron los ingredientes en agua destilada, se distribuyó en tubos y se esterilizo en autoclave por 15 minutos a  $121^{\circ}C$  (15 libras de presión). Posteriormente se inoculo con el asa de platino transfiriendo una porción de cultivo puro. Se procedió a incubar a  $35^{\circ}C$  por 24 horas. A continuación, a 1 ml de cultivo se añadió 12 gotas ( $\pm 0,6$  ml) de  $\alpha$ - naftol al 5% en etanol y 4 gotas ( $\pm 0,2$  ml) de KOH al 40%, se agito y dejo reposar por 5 a 10 minutos. La aparición de un color rosado constituye una reacción positiva indicadora de la presencia de acetoina, producto de la fermentación de la glucosa.

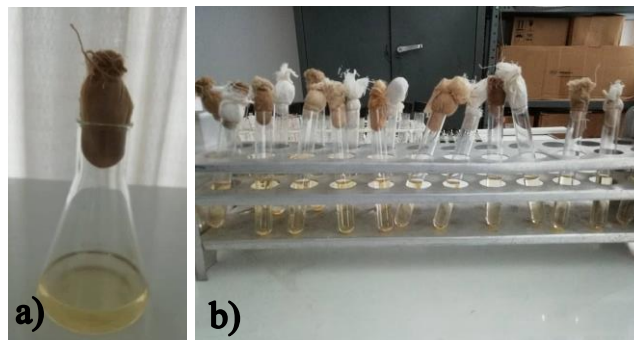


Figura 67: a) medio de cultivo preparado y listo para la prueba de VP. b) No se presentó una tinción rosada indicadora de la presencia de acetoina, resultado negativo.

### 3.3.1.3.1.3. Pruebas de Movilidad, Producción de H<sub>2</sub>S e Indol en Medio SIM.

El procedimiento, materiales y reactivos se basaron en el manual de MacFaddin, (2003), como se expone a continuación:

#### A. Fórmula (en gramos por litro).

Tripteína	20
Peptona	6.1
Sulfato de hierro y amonio	0.2
Tiosulfato de sodio	0.2
Agar	3.5
pH final: 7.3 +/- 0.2	

Tabla 10: Composición SIM medio. (MacFaddin, 2003).

#### B. Preparación.

Se suspendió 30 g del polvo en 1 litro de agua destilada, se dejó reposar 5 minutos; luego se calentó con agitación frecuente y se hirvió durante un minuto para obtener una disolución total. Posteriormente se distribuyó en tubos y se esterilizó en autoclave a 121°C durante 15 minutos. Se dejó enfriar y solidificar en posición vertical.

#### C. Procedimiento.

La siembra se realizó por punción profunda utilizando aguja de inoculación recta. Se inoculó el centro del tubo, la punción abarcó dos tercios de profundidad del medio de cultivo desde la superficie. El proceso de incubación se realizó en aerobiosis a 35°C, durante 24 horas.

#### D. Interpretación De Los Resultados

Se observó la movilidad y el color del medio de cultivo. Luego se procedió a realizar la prueba de indol.

##### ✓ Movilidad.

Resultado positivo: se notó por la presencia de turbidez o crecimiento más allá de la línea de siembra. Resultado negativo: se observó solamente crecimiento solamente en la línea de siembra.

✓ **Producción de SH<sub>2</sub>.**

Resultado positivo: ennegrecimiento del medio de cultivo a lo largo de la línea de siembra o en todo el medio. Resultado negativo: el medio permaneció sin cambio de color.

✓ **Prueba del indol:**

Se agregó al medio de cultivo 3 a 5 gotas de Indol Reactivo. Resultado positivo: color rojo. Resultado negativo: el color del reactivo revelador permaneció incoloro-amarillento.

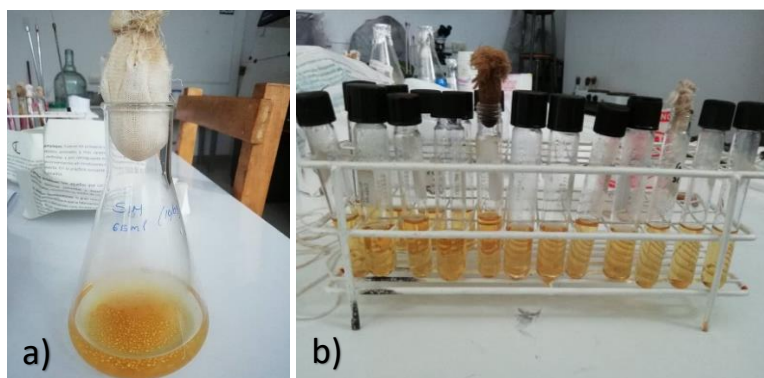


Figura 68: a) Medio de cultivo SIM. b) Tubos estériles con medio de cultivo y cepas bacterianas.

**3.3.1.3.1.4. Prueba de Citrato de Simmons.**

El procedimiento, materiales y reactivos se basaron en el manual de MacFaddin, (2003); como se expone a continuación:

**A. Fórmula** (en gramos por litro).

Fórmula	Litro
Dihidrógeno fosfato de amonio	1 g
Fosfato dipotásico	1 g
Cloruro de sodio	5 g
Citrato de sodio	2 g
Sulfato de magnesio	0.2 g
Azul de bromotimol	0.08 g
Agar	15 g
pH Final: $6.9 \pm 0.2$ a $25^{\circ}\text{C}$	

Tabla 11: Composición medio Citrato de Simmons. (MacFaddin, 2003).

## B. Procedimiento.

Se suspendió 24.2 g del medio en un litro de agua purificada, luego se calentó con agitación frecuente e hirvió durante un minuto para disolver completamente el medio; posteriormente se dispuso en tubos y se autoclavó a 121°C durante 15 minutos, luego de autoclavar, se dejó solidificar el medio en una posición inclinada, finalmente se sembró en forma de estría con el asa en punta sobre la superficie del medio, se incubó durante 24 horas y se procedió a la lectura de los resultados



Figura 69: a) Medio de cultivo de Citrato De Simmons. b) Tubos estériles con medio de cultivo y cepas bacterianas.



Figura 70: Prueba de Citrato con resultados positivos.

### 3.3.1.3.1.5. Prueba de Ureasa.

El procedimiento, materiales y reactivos se basaron en el manual de MacFaddin, (2003); como se expone a continuación:

#### A. Fórmula (en gramos por litro).

Extracto de levadura	0.1 g
Fosfato monopotásico	9.1 g
Fosfato di sódico	9.5 g
Urea	20.0 g
Rojo fenol	0.01 g
Agua destilada	1000.0 ml
pH 6,7 – 6,9	

Tabla 12: Composición medio Ureasa. (MacFaddin, 2003).



## B. Procedimiento

Se disolvió y se esterilizó el medio por filtración. Con el asa de platino se transfirió una porción de cultivo puro proveniente de cada una de las placas Petri. Se incubó a 35°C por 24 horas. Finalmente se observó que una reacción positiva (hidrólisis de la urea) es indicada por un cambio de color del amarillo (pH 6,8) al rojo cereza (pH 8,1 o más alcalino).



Figura 71: a) Medio de cultivo Ureasa. b) Tubos estériles con medio de cultivo y cepas bacterianas que presentan un resultado negativo.

### 3.3.1.3.1.6. Prueba de Lecitinasa.

El procedimiento, materiales y reactivos se basaron en el manual de MacFaddin, (2003); como se expone a continuación:

#### A. Formula (para 500 ml)

Peptona	20.0 g
Fosfato disódico	2.5 g
Cloruro de sodio	1.0 g
Solución al 0.5% p/v de sulfato de magnesio	0.1 ml
Glucosa	1.0 g
Agar	12.5 g
Agua destilada	500.0 ml

Tabla 13: Composición medio Lecitinasa. (Agar yema de huevo). (MacFaddin, 2003).

Se mezclaron los ingredientes y se calentó con agitación hasta disolución total. Se esterilizó en autoclave, luego se enfrió en baño de agua a 60°C, se lavó bien un huevo y se desinfectó la cáscara con alcohol. Se dejó secar, se rompió la cáscara y se separó la yema de la albúmina. Se añadió, asépticamente, la yema al medio de cultivo fundido y se enfrió hasta 60°C (500 ml), y se mezcló hasta obtener una suspensión homogénea. Se dispuso el medio en placas y se dejó solidificar.

## B. Procedimiento.

Realice un aislamiento o una estría en una placa de agar yema de huevo con el microorganismo a identificar. Incube durante 1 a 4 días a la temperatura óptima de crecimiento del microorganismo.

## C. Resultados

Una prueba de lecitinasa positiva, consistió en la aparición de una zona opaca alrededor del crecimiento microbiano, como resultado de la hidrólisis de la lecitina de la yema de huevo.

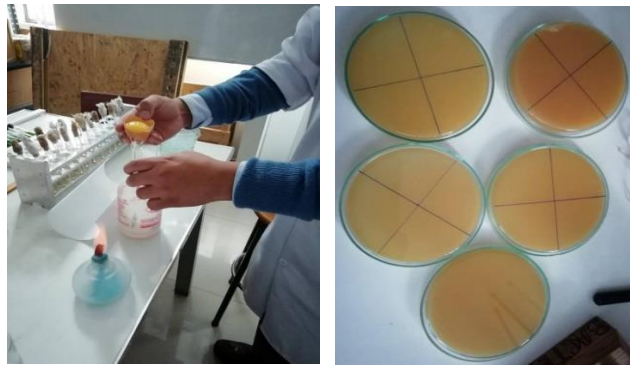


Figura 72: a) Preparación de medio de Lecitinasa. b) Placas estériles con medio de lecitinasa y cepas bacterianas.

### 3.3.1.3.1.7. Pruebas de fermentación de Hidratos de Carbono.

El procedimiento, materiales y reactivos se basaron en (MacFaddin, 2003); como se expone a continuación:

Para cada una de las pruebas realizadas (Manitol, arabinosa, glucosa y xilosa), se utilizó la siguiente fórmula:

Medio base. Prueba de fermentación de azúcares (Por litro)	
Peptona	10 g
NaCl	5 g
Púrpura de bromocresol solución alcohólica al 1%	2,5 ml
Agua destilada	1000 ml
Carbohidrato: (Manitol, arabinosa, glucosa y xilosa)	2 g
pH:	7,2

Tabla 14: Medio base. Prueba de fermentación de azúcares. (MacFaddin, 2003).

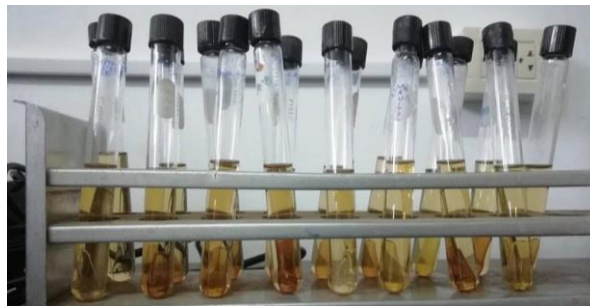
Posteriormente se esterilizo a 112°C durante 30 minutos, y finalmente se distribuyó en tubos de hemolisis con campana de Durham. Luego se incubo durante 48 horas.



*Figura 73: Incubación de tubos con prueba de azúcares (Manitol, Arabinosa, Xilosa y Glucosa).*

Terminado el periodo de incubación se procedió a evaluar el viraje del indicador indicaba producción de ácidos y la presencia de burbujas en la campanita Durham, producción de gases; como se muestra en la siguiente secuencia gráfica:

**A. Prueba de fermentación de manitol.**



*Figura 74: Prueba de manitol.*

**B. Prueba de fermentación de arabinosa.**



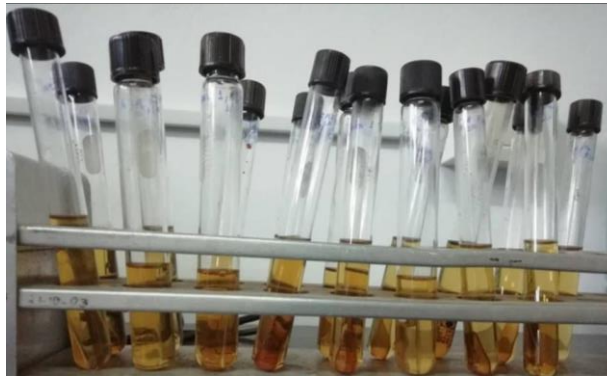
*Figura 75: Prueba de arabinosa.*

### C. Prueba de fermentación de glucosa.



*Figura 76: Prueba de glucosa.*

### D. Prueba de fermentación de xilosa.



*Figura 77: Prueba de xilosa.*



*Figura 78: Prueba fermentación de hidratos de carbono, producción de gas positiva.*

#### 3.3.1.3.1.8. Análisis de pH.

Preparados los tubos de ensayo para el análisis de fermentación de carbohidratos se introdujo la cinta reactiva medidora de pH dentro del tubo para humedecerla, se esperó 30 segundos antes de retirarla y se comparó el color de la tira reactiva con la carta de colores de la caja de tiras, finalmente se anotó el resultado en el cuaderno de Trabajo.

### 3.3.1.4. Conteo bacteriano por el método de turbidez estándar

Se procedió de la siguiente manera siguiendo la metodología presentada en (Perilla, 2009)

- ✓ Se preparó una turbidez estándar de 1 en la escala de McFarland, la cual se preparó añadiendo 0,1 ml de cloruro de bario de una solución de bario deshidratado ( $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) al 1,175% (p/ vol) a 9,9 ml de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) al 1% (vol/vol). (Perilla, 2009).
- ✓ Se preparó una suspensión de un microorganismo de prueba para enfrentar a la densidad de la turbidez estándar de McFarland. (Perilla, 2009).
- ✓ Se hizo diluciones seriadas, diluya 10 veces una suspensión bacteriana en un medio de caldo adecuado. Los siguientes pasos **a–i** describen el procedimiento para hacer las diluciones seriadas: (Perilla, 2009).
  - a. En siete tubos de tapa de rosca se preparó los tubos de dilución añadiendo 4,5 ml de caldo estéril en cada uno de los siete tubos de 10 ml. (Perilla, 2009).
  - b. Se marcó los tubos del 1 al 7, indicando la dilución que tendrá cada tubo. Marque también del 1 al 7 las placas del medio apropiado de agar. (Perilla, 2009).

Número de la turbidez estándar	Cloruro de bario dihidratado (1,175%)	Ácido sulfúrico (1%)	Densidad de bacterias aproximada correspondiente
0,5	0,5 mL	99,5 mL	$1 \times 10^8$
1	0,1 mL	9,9 mL	$3 \times 10^8$
2	0,2 mL	9,8 mL	$6 \times 10^8$
3	0,3 mL	9,7 mL	$9 \times 10^8$
4	0,4 mL	9,6 mL	$12 \times 10^8$
5	0,5 mL	9,5 mL	$15 \times 10^8$
6	0,6 mL	9,4 mL	$18 \times 10^8$
7	0,7 mL	9,3 mL	$21 \times 10^8$
8	0,8 mL	9,2 mL	$24 \times 10^8$
9	0,9 mL	9,1 mL	$27 \times 10^8$
10	1,0 mL	9,0 mL	$30 \times 10^8$

Tabla 15: Composición de la turbidez estándar de McFarland. (Perilla, 2009)

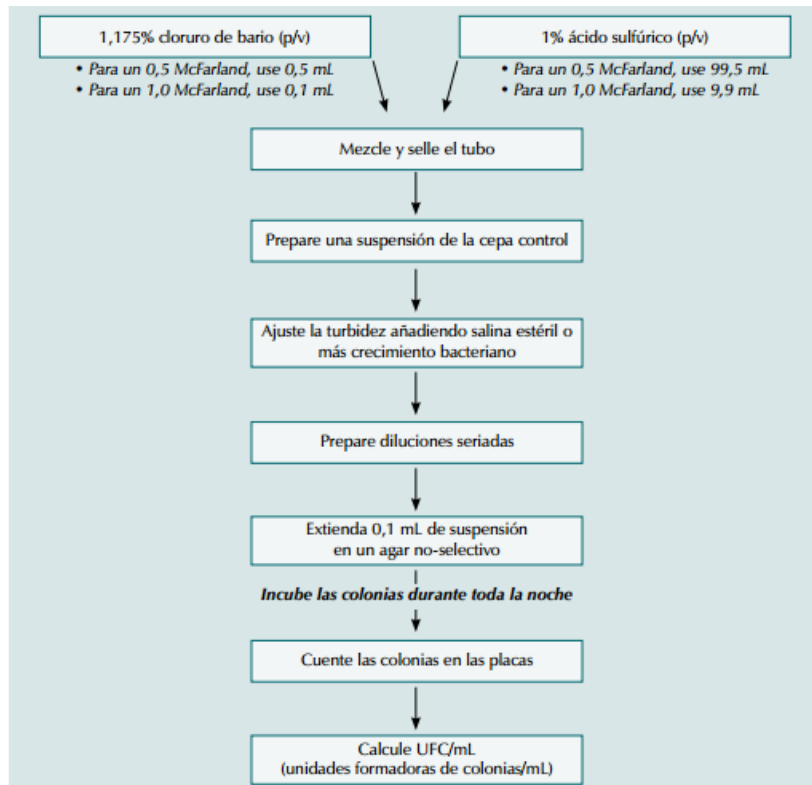


Figura 79: Procedimiento para la preparación y el control de calidad de la turbidez estándar de McFarland. (Perilla, 2009)

- c. Se añadió 0,5 ml de suspensión bacteriana hasta 0,5 de turbidez estándar de McFarland al tubo marcado con el 7 y mezcle vigorosamente. (Perilla, 2009).
- d. Se Pipeteo utilizando la misma pipeta del paso c, y deslice la suspensión varias veces dentro de la pipeta; se transfirió 0,5 ml del tubo 7 al tubo 6 y mezclo vigorosamente. (Perilla, 2009).
- e. Se continuó este proceso de transferencia de 0,5 ml a cada tubo sucesivo, utilizando la misma pipeta, hasta que haya completado las diluciones con el tubo 1. Después de mezclar vigorosamente el tubo 1, se usó la pipeta para pipetear y se deslizo la suspensión en el tubo varias veces. (Perilla, 2009).
- f. Se transfirió 0,1 ml del tubo 1 a la placa marcada con 1 utilizando la misma pipeta. (Perilla, 2009).



Figura 80: Comparación de la turbidez estándar de 0.5 de McFarland con una suspensión bacteriana. (Perilla, 2009)



Figura 81: Líneas de fondo para ver la turbidez de una suspensión de inóculo en comparación con la turbidez de McFarland. (Perilla, 2009)

- g. Se transfirió 0,1 ml del tubo 2 a la placa marcada con el número 2 utilizando la misma pipeta. Continúe este proceso con el tubo 3 y la placa 3, y con el tubo 4 y la placa 4. (Perilla, 2009).
- h. Se extendió el líquido en cada placa hasta cubrir toda la superficie utilizando un rastrillo (varilla en gancho) y comenzando por la placa 1. Se puede hacer una varilla en gancho dándole calor a una varilla de cristal de un diámetro de 2 a 5 mm a un ángulo de aproximadamente 60°, con el extremo corto, que mida aproximadamente 5 cm. (Perilla, 2009).
- i. Se incubó las placas toda la noche y cuente el número de colonias en cada placa. Puede ser difícil contar las colonias en las placas marcadas con los números 4 a 7, y si hay más de 300 colonias por placa, éstas no se podrán contar. (Perilla, 2009).

Después que se añadieron 0,1 ml de la suspensión bacteriana original (la cual es equivalente a la turbidez estándar de 1 en la escala de McFarland) a los 4,5 ml de caldo en el tubo 7, se produjo una suspensión de bacterias que contenía aproximadamente  $3 \times 10^8$  bacterias por ml. Se transfirió entonces 0,1 ml de esta suspensión a la placa número 7, la cual tradujo aproximadamente  $3 \times 10^8$  (1.000.000 – 9.000.000) bacterias presentes en esa placa. (Perilla, 2009).

### 3.3.2. Agregados

#### 3.3.2.1. Cantera

##### 3.3.2.1.1. Ubicación

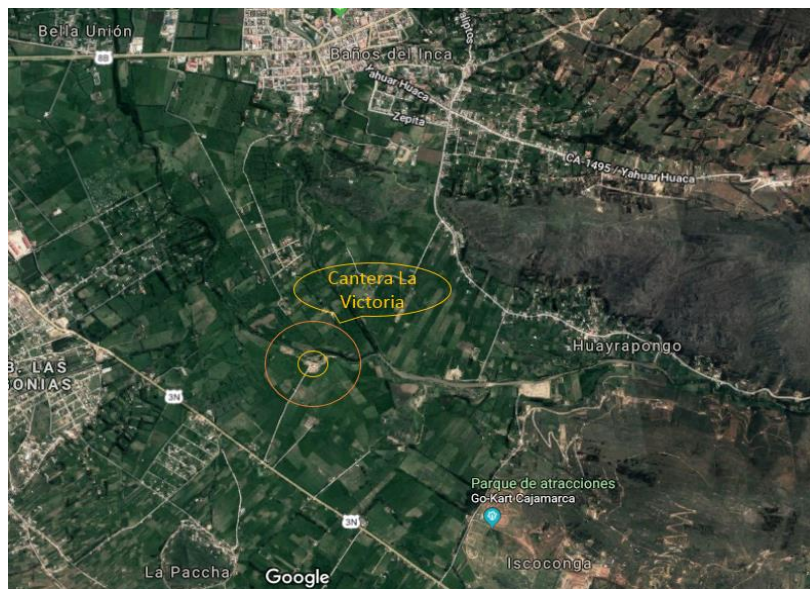
Los agregados fueron extraídos de la Cantera Victoria, ubicada en la ciudad de Cajamarca, a orillas del río Mashcon, específicamente en el Fundo La Victoria,

ubicado en el distrito de Llacanora, provincia y departamento de Cajamarca, con un área de 2.6 ha. (Vásquez, 2016)

Geográficamente se encuentra entre los paralelos 7°11'04" y 7°11'07" de latitud sur y los meridianos 78°27'53" y 78°27'59" de longitud oeste, y con coordenadas UTM; E 779854.37, N 9205018.09. (Collantes, 2017)

El área limita por el norte con la propiedad de los hermanos Pajares, por el sur con la carretera al Caserío la Victoria y otros propietarios, por el este con el río Cajamarquino y por el oeste con la propiedad de los hermanos Pajares. (Vásquez, 2016)

Esta cantera fue elegida en la presente investigación debido a las propiedades que presentan los agregados de río y la trabajabilidad que ofrecen al concreto en obra.



*Figura 82: Ubicación de la cantera La Victoria - Huayrapongo.*  
<https://www.google.com/maps/@-7.1818805,-78.4733018,5817m/data=!3m1!1e3>

### **3.3.2.1.2. Geología**

La cantera ubicada en el distrito de Llacanora es de depósitos fluviales (Q-fl) los cuales se encuentran a orillas del río Cajamarquino. Los depósitos fluviales están constituidos por materiales que se encuentran dentro, cerca y bordeando los cauces de los ríos y las terrazas que se han formado durante el desarrollo geológico reciente de los mismos. Están compuestos por cantos rodados, gradando desde



planares a casi esféricos; en los planares, y en los semiangulosos se encuentran erosionados sus bordes. Las geofomas de los cantos nos indican la distancia y origen de los materiales que fueron erosionados y transportados por los ríos. (Vásquez, 2016).

Los depósitos constituidos por mezclas de materiales fluviales y depósitos aluviales, constituyen secuencias estratigráficas indefinidas, se encuentran frecuentemente en la periferia de la ciudad; también es muy común encontrar secuencias interdigitadas de estos depósitos con materiales gravo -areno-limosos y secuencias consistentes de arcillas de hasta 2 a 3 metros de potencia, con características geotécnicas muy complejas. Principalmente en los lechos de los ríos se presentan cantos volcánicos traquíticos y andesíticos, calcáreos, margosos, graníticos, dioríticos, cuarzosos, lutíticos, así como cantos indiferenciados. (INDECI, 2005)

Así mismo el distrito de Llacanora donde se ubica nuestra cantera es de depósitos Cuaternarios. Este tipo de depósitos es la base de cimentación de la ciudad de Cajamarca y es la litología (rocas) de mayor presencia y presenta depósitos semiconsolidados o no consolidados, los que se encuentran en una secuencia estratigráfica infrayaciendo los depósitos morrenicos y fluvio-glaciáricos, hasta encontrar en las partes superficiales los depósitos fluviales modernos. (INDECI, 2005)

### **3.3.2.2. Análisis de agregado fino y agregado grueso**

Para el análisis de agregado fino se utilizaron las siguientes para el cálculo de cada uno de los parámetros que se requirió en la presente investigación:

- Contenido de Humedad: ASTM C 70 / NTP 339.185, ASTM D 2216.
- Análisis Granulométrico: ASTM C 136 / NTP 400.012
- Peso Unitario de los agregados: ASTM C 29 / NTP 400.017
- Peso Específico y Absorción: ASTM C 127 / NTP 400.021 para agregado grueso y ASTM C 128 / NTP 400.022 para agregado fino.
- Cantidad de Material Fino que pasa el tamiz N° 200: ASTM C 117 / NTP 339.132

Las siguientes tablas presentan el resumen de las propiedades del agregado fino y grueso empleado en el diseño de mezcla del concreto.

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	VALOR
1	MODULO DE FINURA (MF)	-	3.006
2	PESO UNITARIO SECO SUELTO	(kg/m3)	1714.2
3	PESO UNITARIO SECO SUELTO COMPACTADO	(kg/m3)	1795.74
4	CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	2.86
5	PESO ESPECIFICO DE MASA	(kg/m3)	2594.9
6	PESO ESPECIFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO	(kg/m3)	2627.05
7	PESO ESPECIFICO APARENTE	(kg/m3)	2681.11
8	ABSORCIÓN	(%)	1.24
9	PORCENTJAE DE FINOS QUE PASAN EL TAMIZ N°200	(%)	3.03

*Tabla 16: Resumen de las propiedades del agregado fino.*

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	VALOR
1	PERFIL DEL AGREGADO	-	ANGULAR
2	TAMAÑO MAXIMO	-	3/4 "
3	TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	-	1/2 "
4	MODULO DE FINURA DE AG. (MF)	-	6.759
5	PESO UNITARIO SECO SUELTO	(kg/m3)	1526.86
6	PESO UNITARIO SECO COMPACTADO	(kg/m3)	1698.28
7	CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	0.44
8	PESO ESPECIFICO DE MASA	(kg/m3)	2710.48
9	PESO ESPECIFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO	(kg/m3)	2740.86
10	PESO ESPECIFICO APARENTE	(kg/m3)	2795.41
11	ABSORCION	(%)	1.12
12	PORCENTAJE DE FINO QUE PASAN EL TAMIZ N° 200	(%)	0.496
13	% VACIOS ESTADO SUELTO	(%)	43.44
14	% VACIOS ESTADO COMPACTADO	(%)	37.09

*Tabla 17: Resumen de las propiedades del agregado grueso.*

### 3.3.3. Cemento.

Se utilizó el Cemento Portland compuesto I Co el cual está diseñado para usos generales y que, además de su óptimo desarrollo de resistencias, presenta una excelente trabajabilidad. (Cementos Pacasmayo, 2018)



Figura 83: Cemento Portland compuesto Tipo I Co. (Cementos Pacasmayo, 2018)

<b>Normas</b>	
ASTM C 595 y NTP 334.090	
<b>Requerimientos químicos</b>	
SO <sub>3</sub> , máximo (%)	4
MgO, máximo (%)	6
<b>Resistencia a la Compresión</b>	
3 días (kg/cm <sup>2</sup> ), valor mínimo	132.56
7 días (kg/cm <sup>2</sup> ), valor mínimo	203.94
28 días (kg/cm <sup>2</sup> ), valor mínimo	254.93
<b>Tiempo de Fraguado</b>	
Inicial, mínimo en minutos	45
Final, máximo en minutos	420

Tabla 18: Normas y características físicas y químicas del cemento. Anexo II (Cementos Pacasmayo, 2018)

#### 3.3.4. Agua.

El agua que se utilizó en la elaboración de la mezcla del concreto con adiciones bacterianas, fue agua potable del campus de la Universidad Nacional de Cajamarca, la cual cumple con las normas ASTM D 1293 / NTP 339.088.

#### 3.3.5. Diseño de mezcla.

El diseño de mezcla se realizó como se muestra en el Anexo III.

#### 3.3.6. Elaboración de especímenes de concreto

Se elaboraron especímenes de concreto cilíndricos para pruebas a compresión (150 mm por 300 mm).

El diseño de mezcla, se encuentran en el Anexo IV (Diseño de mezcla), según el procedimiento indicado en el apartado 3.1.5. del presente capítulo.

### 3.3.6.1. Instrumentos y aparatos utilizados

#### 3.3.6.1.1. Probetas prismáticas

##### A. Moldes prismáticos.

Se elaboraron moldes prismáticos de 7.5x2.5x2.5 cm de láminas portaobjetos, se eligió dicho material por ser transparente y dicho tamaño para la evaluación de la reparación del fisuramiento a nivel microscópico.

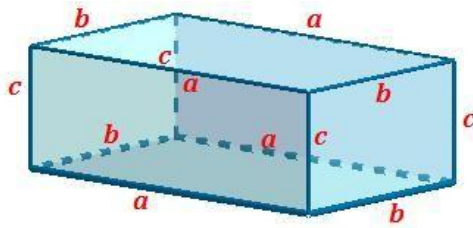


Figura 84: Molde prismático de 7.5x2.5x2.5 cm de láminas portaobjetos ( $a=7.5\text{cm}$ ,  $b=2.5\text{cm}$  y  $c=2.5\text{cm}$ ).

##### B. Herramientas de laboratorio.

Se utilizaron espátula, fuente de aluminio, frascos de plástico, probetas graduadas de vidrio.

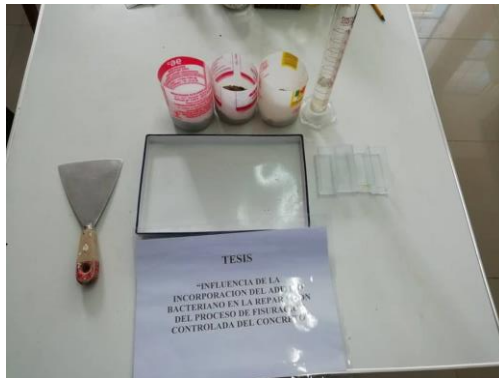


Figura 85: De izquierda a derecha: espátula, fuente de aluminio, frascos de plástico, probeta graduada de vidrio, moldes prismáticos elaborados a base de láminas porta objetos.

##### C. Viales y jeringas

Se utilizaron viales de vidrio de capacidad de 20ml y jeringas de 5ml previamente esterilizados



Figura 86: Viales 20ml y jeringa de 5ml.

### 3.3.6.1.2. Probetas cilíndricas

#### A. Moldes cilíndricos.

Se utilizaron moldes de acero y de plástico de 6"x12" de 4 mm de espesor, los cuales fueron fabricados de acuerdo a la norma ASTM C39 para las probetas cilíndricas.



Figura 87: Moldes cilíndrico para ensayo en concreto de acero y de plástico de 6"x12" de 4 mm de espesor.

#### B. Varilla de compactación

Se utilizó una varilla lisa de acero, redondeada de 16 mm de diámetro y aproximadamente 600 mm de longitud, teniendo ambos extremos de forma redondeada tipo semiesférica, con 16 mm de diámetro.

#### C. Herramientas manuales

Se utilizaron badilejo de albañil tipo francesa, baldes, espátulas, cucharones, martillo de goma y reglas graduadas

#### D. Cono de Abrams

Se utilizó el aparato (cono de Abrams) que consiste en un molde de acero cincado de no menos de 1,5 mm de espesor de chapa, de forma de tronco de cono recto abierto en sus extremos, de 20 cm de diámetro de la base inferior,

10 cm de diámetro de la base superior y 30 cm de altura. El molde está provisto de piezas adecuadas para asegurar su perfecto asiento.



*Figura 88: De izquierda a derecha: martillo de goma, badilejo, cono de Abrams y varilla compactadora, cucharón.*

### **E. Balanzas**

Balanza con exactitud dentro del 0.1% de la carga de ensayo, en cualquier punto del rango de uso, con graduación al menos de 0.05 kg.

### **F. Trompo mezclador**

Se utilizó el trompo mezclador de concreto de capacidad de 120lts eléctrico marca Bauker. Tiene una potencia de 600 Watts y su capacidad es de 120 kg máximo por mezcla, a su vez permite un volumen interno del tambor de 120 litros y un volumen final de mezclado de 95 litros. Es de acero y su nivel de ruido es 100,1 dB.



*Figura 89: Trompo mezclador de concreto de capacidad de 120lts eléctrico marca Bauker*

### 3.3.6.2. Procedimiento.

#### A. Elaboración de las probetas prismáticas.

1. Una vez obtenidas las cepas bacterianas se procedió a elaborar el aditivo bacteriano mediante un conteo de cepas tal como indica el acápite 3.1.1.4. del presente capítulo. Se consideró una dilución de equiparable a una turbidez estándar de 1 en la escala de McFarland, lo que equivale a una densidad de  $3 \times 10^8$  cepas bacterianas.
2. Los moldes fueron esterilizados antes de su uso, en la cabina de flujo laminar.

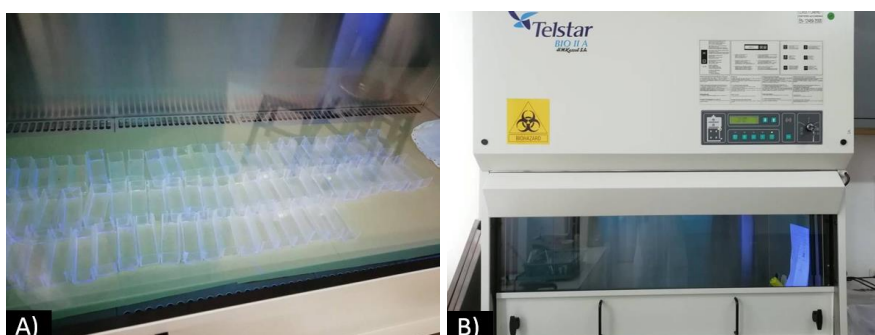


Figura 90: Proceso de esterilización de los moldes con rayos UV en la Cabina de flujo laminar.

3. El caldo de nutrientes de la tabla 29 y otros productos químicos se mezclaron con agua destilada estéril en cantidades requeridas, luego se sometió al proceso de autoclave, luego de 24 horas de esterilización se introdujo la cantidad pre establecida de cepas bacterianas, finalmente para tener listo el aditivo bacteriano en frascos estériles y se sometió al proceso de incubación durante 24 horas (Soundari et al.,2015).

<b>Composición del medio de cultivo</b>	
<b>Componentes</b>	<b>Gramos por litro</b>
Caldo BHI	2.10
NaHCO <sub>3</sub>	1.50
NH <sub>4</sub> Cl	7.00
Urea	7.00
CaCl <sub>2</sub>	5.00

Tabla 19: Composición del medio de cultivo. (Soundari et al.,2015).

4. Luego se mezcló manualmente los materiales de la pasta en las proporciones que se indican en las tablas. Cabe resaltar que se obtuvieron

17 cepas bacterianas diferentes de diversas zonas de muestreo, de dichas cepas se elaboró una tanda de 7 probetas para cada una, las 3 primeras fueron diseñadas con el aditivo bacteriano incluido dentro de la mezcla, las 3 siguientes fueron diseñadas sin aditivo bacteriano en la mezcla, para posteriormente agregarlo superficialmente en zonas donde se presentaba fisuras; además de ello se elaboró 1 probeta que sin ninguna adición que sirvió como patrón para el proceso de evaluación. En total se elaboraron 119 moldes prismáticos.

<b>Composición de la mezcla por probeta con aditivo bacteriano incluido en la mezcla</b>			
<b>Materiales</b>	<b>N° de probeta</b>		
	<b>1°</b>	<b>2°</b>	<b>3°</b>
Cemento (gr)	18.2	18.2	18.2
Arena fina (gr)	43.8	43.8	43.8
Agua (ml)	7.5	6	4
Aditivo Bacteriano (ml)	0.21	2	4

Tabla 20: Composición de la mezcla por probeta con aditivo bacteriano incluido en la mezcla.

<b>Composición de la mezcla por probeta con aditivo agregado superficialmente</b>			
<b>Materiales</b>	<b>N° de probeta</b>		
	<b>1°</b>	<b>2°</b>	<b>3°</b>
Cemento (gr)	18.2	18.2	18.2
Arena fina (gr)	43.8	43.8	43.8
Agua (ml)	7.5	6	4

Tabla 21: Composición de la mezcla por probeta con aditivo agregado superficialmente



Figura 91: Proceso de elaboración de la mezcla. A) mezcla de materiales solidos arena y cemento. B) Adición de agua. C) Adición de aditivo Bacteriano.

- Se vertió la mezcla en los moldes en 3 capas, finalmente se enrasó para que la superficie quede plana.





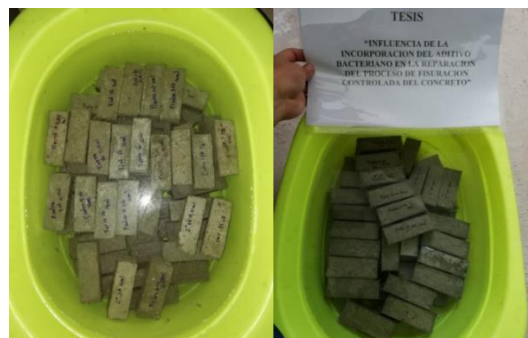
*Figura 92: Probeta prismática enrasada.*

6. Se codifico cada espécimen con el tipo de adición y proporción que presentaba.



*Figura 93: Probetas de concreto con adiciones bacterianas y sin adiciones bacterianas listas para el proceso de fragua.*

7. Transcurridas 24 horas después de elaborar los especímenes, estos fueron sacados de los moldes y se procedió a realizar el curado estándar.



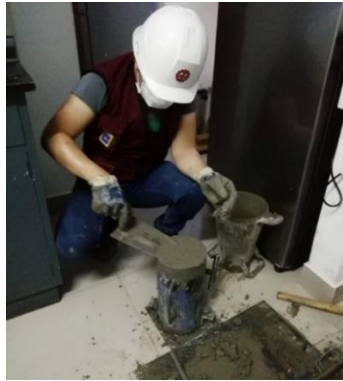
*Figura 94: Curado estándar de concreto bacteriano.*

NOTA: Se presenta una galería fotográfica del proceso anterior en el Anexo V: Probetas prismáticas.

## **B. Elaboración de las probetas cilíndricas**

1. Después de la verificación de resultados del efecto que produce cada una de las cepas bacterianas en las probetas prismáticas se observó que las cepas con codificación: “C° 2b” (*Bacillus firmus*) y “Piedra 4 2b” (*Paenibacillus lactis*) precipitaron calcita en una proporción considerable, bien, estas fueron consideradas para realizar las probetas cilíndricas.
2. Las cepas seleccionadas se reactivaron siendo sembradas en placas tipo Petri con agar nutritivo, se incubó durante 24 horas.
3. Se reactivó cada cepa bacteriana en un proceso de siembra e incubación.
4. Se añadió una concentración de  $3 \times 10^8$  cepas bacterianas en el medio de cultivo estéril.
5. Se incubó durante 24 horas, luego de este proceso el aditivo bacteriano quedó listo para ser añadido al concreto.
6. Se pesó cada material en la proporción dada en el diseño de mezcla para  $0.02 \text{ m}^3$  por probeta y se procedió a añadirlos en el trompo mezclador.
7. No existe norma alguna que indique el procedimiento para cargar la mezcladora con los materiales, sin embargo numerosos antecedentes aconsejan que se debe agregar una porción del agua a la mezcladora, luego se añadió el agregado fino y posteriormente el grueso, finalmente se agregó el cemento y el resto del agua con aditivo bacteriano, se continuó mezclando hasta que se presente homogeneidad, consistencia y color uniforme en la mezcla, presentándose el agregado grueso totalmente cubierto por la pasta. Así mismo, se controló que el tiempo de mezclado después de haber sido adicionado el volumen final de agua con aditivo bacteriano.
8. Para cada caso de las mezclas se midió el tiempo de mezclado lo cual estuvo alrededor de 4 minutos para la mezcla de diseño sin aditivo bacteriano, 4 a 5 minutos para el caso de mezclas con aditivo bacteriano.
9. Se ubicaron los moldes en una superficie horizontal, rígida y libre de vibraciones.
10. La colocación del concreto se realizó en 3 capas de igual volumen, en cada una de ellas se hizo realizando un reacomodo con la varilla metálica.
11. Se utilizó el método de apisonado con un martillo de goma para realizar la compactación del concreto en el interior del molde.

12. Se enraso con la varilla de compactación y se utilizó un badilejo y espátula para que la superficie superior quede totalmente plana
13. Se codifico cada espécimen con el código de cepa, para su posterior evaluación.
14. Transcurridas 24 horas después de elaborar los especímenes, estos fueron desmoldados y se procedió a realizar el curado estándar.



*Figura 95: Elaboración de probetas cilíndricas de concreto bacteriano.*

NOTA: Se presenta una galería fotográfica del proceso anterior en el Anexo VI: Probetas cilíndricas

15. El proceso de curado estándar se realizó siguiendo los procedimientos indicados en las normas: ASTM C 192 M – 16a / NTP 339.183.2013. Cada serie de probetas cilíndricas con cada tipo de aditivo bacteriano se curaron por separado en distintos cilindros. En total se realizaron 45 probetas cilíndricas, 15 que contenían aditivo bacteriano de la cepa “C° 2b” (*Bacillus firmus*), 15 de la cepa “Piedra 4 2b” (*Paenibacillus lactis*) y 15 sin ninguna adición que sirvieron como patrón para el análisis posterior, las mismas que se codificaron como “C° Normal”



*Figura 96: Curado de las probetas de concreto.*

### 3.3.7. Variables de estudio

Las variables de estudio fueron las siguientes:

- Asentamiento del concreto bacteriano en estado fresco.
- Peso unitario (Densidad de masa) del concreto bacteriano en estado fresco.
- Resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de concreto bacteriano a la edad de 7, 14 y 28 días.
- Desarrollo de la resistencia a la compresión del concreto bacteriano.

#### 3.3.7.1. Asentamiento del concreto bacteriano en estado fresco

Para la evaluación del presente ensayo se siguió lo mencionado en las normas:  
ASTM C143/C143M - 15a / NTP 339.035.2009



*Figura 97: Ensayo de asentamiento de concreto bacteriano.*

#### 3.3.7.2. Peso unitario del concreto bacteriano en estado fresco.

Para la evaluación del presente ensayo se siguió lo citado en las normas: ASTM C138/C138M-09 y NTP 339.046



*Figura 98: Ensayo peso unitario del concreto bacteriano en estado fresco.*

### **3.3.7.3. Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días**

Para la evaluación del presente ensayo se siguió lo citado en las normas ASTM C39 y NTP 339.034.

El método consistió en aplicar una carga de compresión axial a los cilindros moldeados a una velocidad normalizada en un rango prescrito mientras ocurre la falla. La resistencia a la compresión de la probeta es calculada por división de la carga máxima alcanzada durante el ensayo, entre el área de la sección recta de la probeta. (NTP 339.034.)

En esta prueba se evalúa las características de diseño con respecto a datos reales de resistencia a la compresión, lo que está directamente relacionado con el cálculo del Módulo de Elasticidad del concreto; además, cabe mencionar que en este caso se utilizó el método destructivo con especímenes cilíndricos estándar.

En esta prueba se utilizaron equipos tales como: prensa hidráulica, deflectómetro, cronometro y libreta de apuntes. El procedimiento seguido fue tal como se indica a continuación:

1. Se colocó el espécimen en la prensa hidráulica y se aplicó la carga a velocidad constante, durante este proceso se registró la carga que se estaba aplicando y la deformación observada en el deflectómetro.

2. La carga se aplicó en intervalos de 1tn, a una velocidad de  $1.5\text{kg/cm}^2/\text{s}$  lo que representa aproximadamente  $0.15\text{MPa/s}$ . Posteriormente se procedió a registrar el tipo de falla de cada espécimen ensayado y si fallo la pasta o el agregado durante el proceso. De acuerdo a la NTP 339.034, se puede registrar los siguientes tipos de fallas:

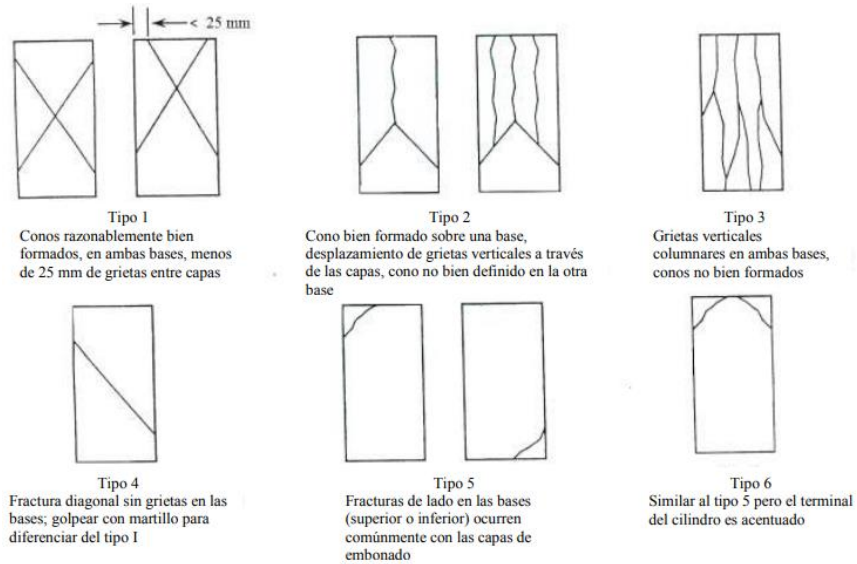


Figura 99: Esquema de los patrones de tipos de fracturas. (NTP 339.034)



Figura 100: Ensayo a compresión de concreto bacteriano. Izquierda: tesista. Derecha: Encargado de laboratorio.

3. Se evaluó el proceso de desarrollo a la resistencia del concreto bacteriano gráficamente y estadísticamente a los 7, 14 y 28 días.

### 3.3.7.4. Módulo de elasticidad del concreto con aditivo bacteriano.

En esta prueba se utilizó la norma ASTM C 469, que tiene como objetivo determinar el módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson del concreto sometido a compresión. Este método de ensayo, proporciona un valor de la relación esfuerzo vs deformación y una relación de deformación lateral a la longitudinal para el concreto endurecido a cualquier edad y condiciones de curado que pueden ser establecidas.

En la determinación del Esfuerzo - Deformación en los especímenes ensayados a compresión a la edad de 28 días, al no contar con un compresómetro, se determinaron con un deformímetro ubicado en la base móvil de la prensa hidráulica, por lo que la deformación que se obtuvo fue no solo del concreto, sino también de los dos discos de neopreno utilizados para el cabeceo del espécimen, por lo que de usarse estas deformaciones para determinar el módulo de Elasticidad con la curva esfuerzo - deformación se obtuvieron resultados dispersos para los diferentes especímenes.

Así se optó por calcular el módulo de elasticidad con la fórmula teórica, que relaciona la resistencia del concreto con el módulo de elasticidad del mismo según el método ACI 318S, tal como se indica a continuación:

$$E_c = W_c^{1.5} * 4270 * \sqrt{f'_c}$$

*Ecuación 3: Módulo de elasticidad. (ACI 318S)*

Donde:

$E_c$ : Modulo de elasticidad (kg/cm<sup>2</sup>)

$W_c$ : Densidad de concreto (Tn/m<sup>3</sup>)

$f'_c$  : Resistencia a la compresión del concreto (kg/cm<sup>2</sup>)

### 3.3.8. Técnicas e instrumentos de recopilación de información

Para la recopilación de información se utilizaron métodos cuantitativos y cualitativos.

En el método cuantitativo se consideraron variables cuantitativas del estudio de dosificaciones de concreto, lo que abarco el uso de laboratorio de ensayo de

materiales y Laboratorio de Microbiología de la Universidad Nacional de Cajamarca, con los respectivos equipos y materiales; además, se utilizaron libros, artículos científicos, revistas, páginas web, normas (NTP y ASTM), etc. que fueron necesarios para la ejecución del presente trabajo de investigación.

El método cualitativo se utilizó para la descripción de propiedades y variables cualitativas en el proceso de evaluación de la fisuración y propiedades del concreto como la apariencia del concreto, tipo de fractura, modo de falla, trabajabilidad, etc.

### **3.3.9. Técnicas e instrumentos de procesamiento y análisis de resultados.**

La información cuantitativa obtenida de las variables de estudio, fue procesada mediante métodos estadísticos como la determinación de promedios, desviación estándar, coeficiente de variación; se empleó software Microsoft Excel versión 2019 y el software IBM SPSS statistics, con los que se obtuvieron diversos resultados y se elaboraron gráficas representativas (Anexo V).

#### **3.3.9.1. Análisis de los resultados**

La información de los resultados obtenidos puede variar, debido a diversos factores, entre ellos el cuidado que se tuvo al momento de verificar la uniformidad durante su realización; así, también, con estas variaciones se puede diferenciar el comportamiento de las dosificaciones de estudio mediante el análisis estadístico de las siguientes variables de evaluación: (a) Asentamiento en el concreto en estado fresco, (b) Peso unitario del concreto fresco, (c) Peso unitario de los especímenes cilíndricos de concreto endurecido, (d) Resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de concreto a la edad de 7, 14 y 28 días, (f) Módulo de elasticidad del concreto 7, 14 y 28 días. (g) Inspección visual y medición de reparación de las fisuras del concreto.



### 3.3.9.2. Evaluación de los resultados

#### A. Control de Calidad

El proceso de control de calidad de datos, se realizó en estricta aplicación de las normas técnicas y procedimientos específicos. El concreto por ser un material heterogéneo, está sujeto a la variabilidad de sus componentes y también de su producción, transporte, colocación, compactación y curado; existiendo por ello resultados variables. (ACI 214,2017).

FUENTES DE VARIACION EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO	
Variaciones en sus propiedades	Deficiencias en métodos de prueba
2. Cambios en la relación a/c a. Control deficiente. b. Variación de humedad en los agregados	1. Procedimientos de muestreo inadecuados 2. Dispersión debido a la forma de preparación, manipuleo y curado de los cilindros de prueba
3. Variación de agua de mezcla a. Gradación de agregados, absorción. b. Características del cemento, aditivo c. Tiempo de suministro y temperatura	3. Mala calidad de los cilindros de prueba 4. Defectos de curado a. Variación de la temperatura b. Humedad variable c. Demoras en el transporte
4. Variación en las características y proporción de los insumos a. Agregados b. Cemento	5. Procedimientos de ensayo deficientes a. El ensayo a Compresión b. El ensayo a Flexión

Tabla 22: Fuentes de variación en la resistencia del concreto. (ACI 214,2017)

En base a los criterios dados, la evaluación se dio en función a:

- La utilización las normativas existentes que permitieron evaluar cuantitativamente y cualitativamente los objetos de estudio.
- Contar con laboratorios bien equipados que nos brinden resultados fiables.
- La evaluación de resultados de especímenes usados para determinar el esfuerzo del concreto, se ejecuta siguiendo el manual ACI 214 del 2017.

#### B. Análisis Estadístico

El presente análisis se realizó para garantizar la confiabilidad de los resultados obtenidos. Permite anticipar un programa mínimo de ensayos, haciendo la investigación económica y haciendo que los resultados obtenidos puedan ser utilizados completamente haciéndola eficaz. (Díaz S., 2017). Las medidas de dispersión que se evaluaron fueron: la media aritmética, la desviación estándar, el coeficiente de variación y la curva de distribución normal, entre otras.

### **3.4.Tratamiento y Análisis de datos y presentación de resultados.**

#### **3.4.1. Especies de cepas bacterianas obtenidas.**

Luego de las realizadas las pruebas bioquímicas se procedió a procesar los datos obtenido en la enciclopedia online ABIS con la finalidad de identificar el género y la especie bacteriana, los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla de acuerdo a la codificación previamente dada en la tabla 23:

N°	Código Cepa Bacteriana	Pres. de endospora	Descrip. de endospora	Crec. 45 °C	Crec. 65 °C	Catalasa	V.P.	SIM			Citrato	Ureasa	Lecitinasa	FERMENTACION DE CARBOHIDRATOS												ESPECIE	Similitud
								Glucosa						Manitol			Xylosa			Arabinosa							
								Gas	Cre	pH				Ga	Cre	pH	Gas	Cre	pH	Gas	Cre	pH					
1	Calcita Pura "c"	+	1	+	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	+	7.5	-	+	6.5	-	+	7.5	-	+	6.5	<i>Bacillus endophyticus</i>	82.70%
2	Tierra "1a"	+	2	+	+	+	-	-	+	-	-	-	+	-	+	5.5	-	+	4.5	-	+	4.5	-	-		<i>Bacillus gelatini</i>	82.60%
3	C° "2b"	+	3	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	5.5	-	+	5.5	-	+	5.5	-	-		<i>Bacillus firmus</i>	89.30%
4	C° "2a"	+	1	+	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	+	5.5	-	+	5.5	-	+	5.5	-	-		<i>Bacillus smithii</i>	82.80%
5	Tierra "1b"	+	1	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	6.5	-	+	6.5	-	-		<i>Bacillus firmus</i>	83.40%
6	Piedra 4 "2b"	+	3	+	+	+	-	-	+	-	-	-	+	-	+	6	-	+	5.5	-	+	4.5	+	+	7	<i>Paenibacillus lactis</i>	80.20%
7	Piedra 4 "1a"	+	3	+	+	+	-	-	+	-	-	-	+	-	+	4.5	-	+	4.5	-	+	4.5	-	+	5.5	<i>Paenibacillus lactis</i>	81.40%
8	Piedra Calcita "3b"	+	1	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		<i>Bacillus farraginis</i>	82.60%
9	Piedra Calcita "3a"	+	1	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	6.5	-	+	5.5	-	+	5.5	-	+	7	<i>Paenibacillus lactis</i>	81.40%
10	Piedra 3 "1a"	+	1	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	6.5	-	-	-	-	-		<i>Bacillus oleronius</i>	84.60%
11	Piedra 3 "1b"	+	1	+	+	+	-	-	+	-	-	-	+	-	+	4.5	-	+	5.5	-	+	5.5	-	+	6.5	<i>Paenibacillus lactis</i>	81.40%
12	Piedra 1 "2b"	+	1	+	+	+	-	-	+	-	-	-	+	-	+	4.5	-	+	6.5	-	+	5.5	-	+	5.5	<i>Paenibacillus lactis</i>	81.40%
13	Piedra 1 "2a"	+	4	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	+	6.5	-	+	6.5	-	+	4.5	-	-		<i>Brevibacillus laterosporus</i>	84.60%
14	Piedra 2 "2b"	+	5	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	+	6.5	-	-	-	-	-		<i>Brevibacillus laterosporus</i>	84.60%
15	Piedra 2 "2a"	+	6	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	6.5	-	-	-	-	-		<i>Brevibacillus brevis</i>	84.00%
16	Vial 4 "b"	+	1	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		<i>Bacillus cirroflagelosus</i>	85.90%
17	Vial 1 "b"	+	1	+	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	+	4.5	-	+	6.5	-	+	5.5	-	+	5.5	<i>Bacillus endophyticus</i>	82.70%

Tabla 23: Tabla de resultados de las pruebas de identificación bacteriana con las especies obtenidas.

Leyenda: +: Prueba positiva. -: Prueba negativa. Descripción de la endospora: 1 Bacilos cortos con espora ovalada central deformante. 2 bacilos medianos en cadena con espora central esférica deformante. 3 bacilos cortos en cadena con espora central ovalada deformante. 4 bacilos largos en cadena con espora central esférica. 5 bacilos cortos con espora ovalada central. 6 bacilos cortos con espora central esférica deformante. V.P.: Voges Proskauer.

### **3.4.2. Probetas prismáticas**

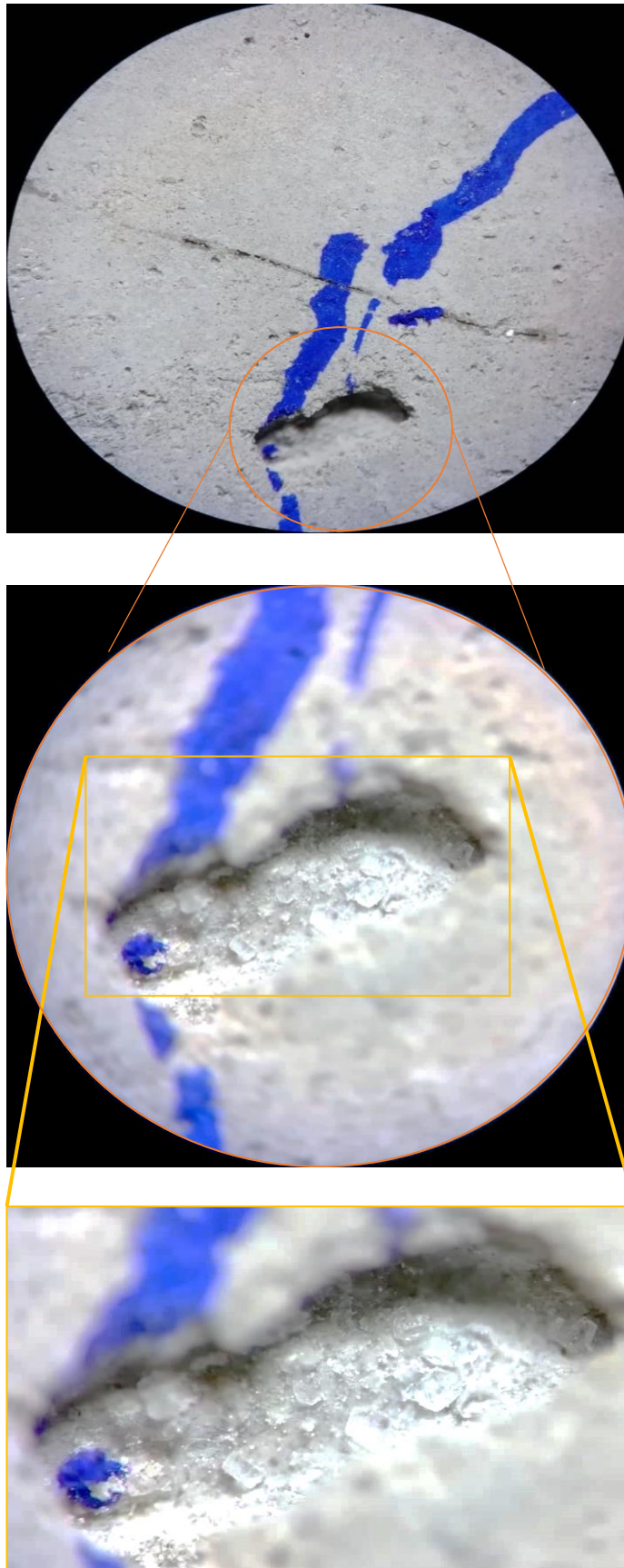
#### **3.4.2.1. Diseño de mezcla 1**

El diseño de mortero se realizó siguiendo el método dado en (*Rivera,2002*), del mismo que se obtuvieron las proporciones que se muestran en el Anexo III.

#### **3.4.2.2. Evaluación de reparación del fisuramiento.**

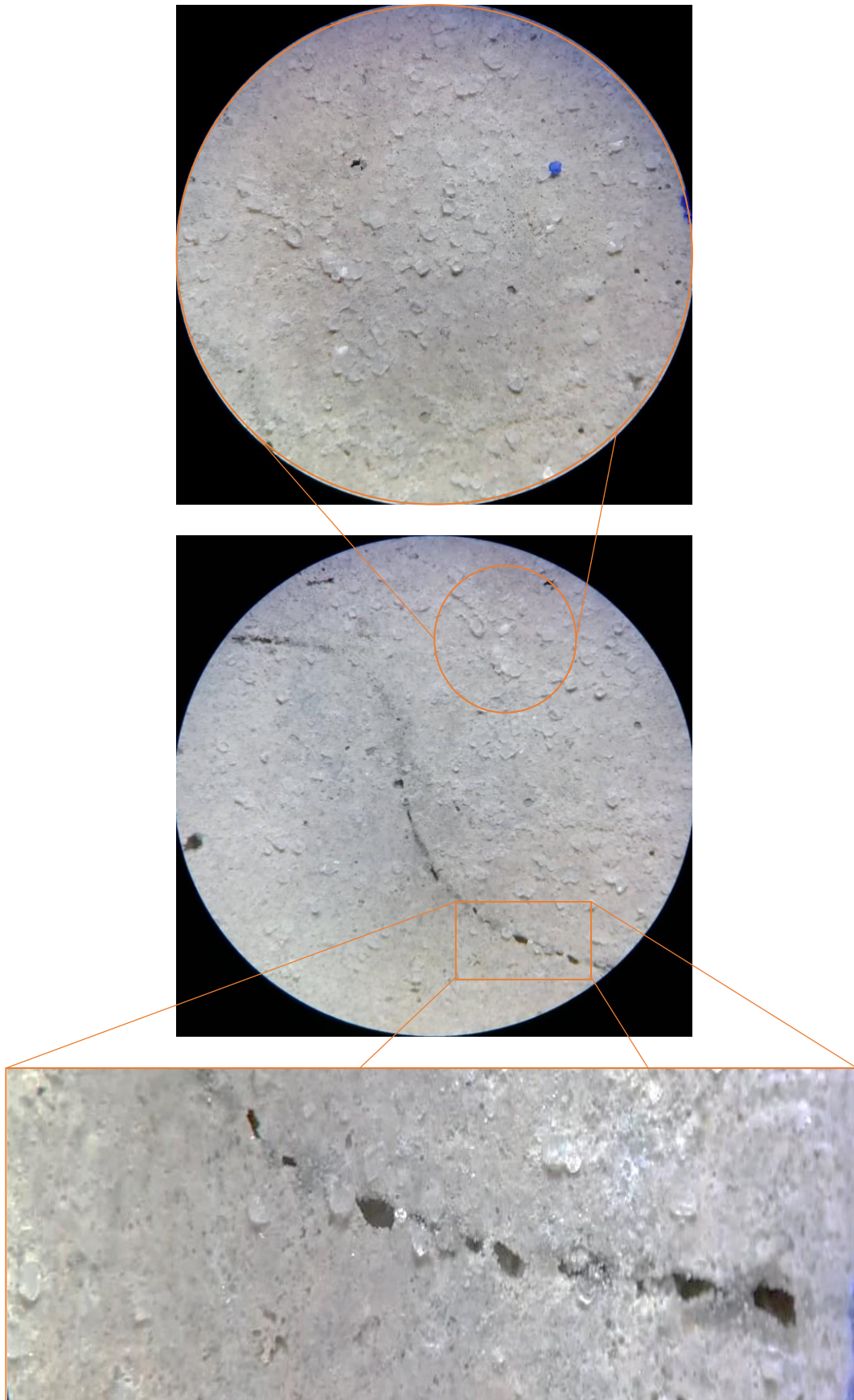
En esta etapa se evaluó la influencia que tenía cada aditivo bacteriano en el proceso de reparación de las fisuras en el concreto. Dicha evaluación se realizó a nivel microscópico con un aumento de 100x de zoom, de manera progresiva, a los 14 y 28 días. Los resultados de aquellas probetas nos mostraron que dos de las cepas precipitaban calcita en una cantidad considerable para reparar las fisuras, las cuales fueron las que estuvieron codificadas como **Piedra 4 2b** y **C° 2b**. A continuación, se presenta un registro fotográfico de dicho proceso: (la evaluación de las demás probetas prismáticas se presenta en el Anexo IV).

**Piedra 4 2b 2**



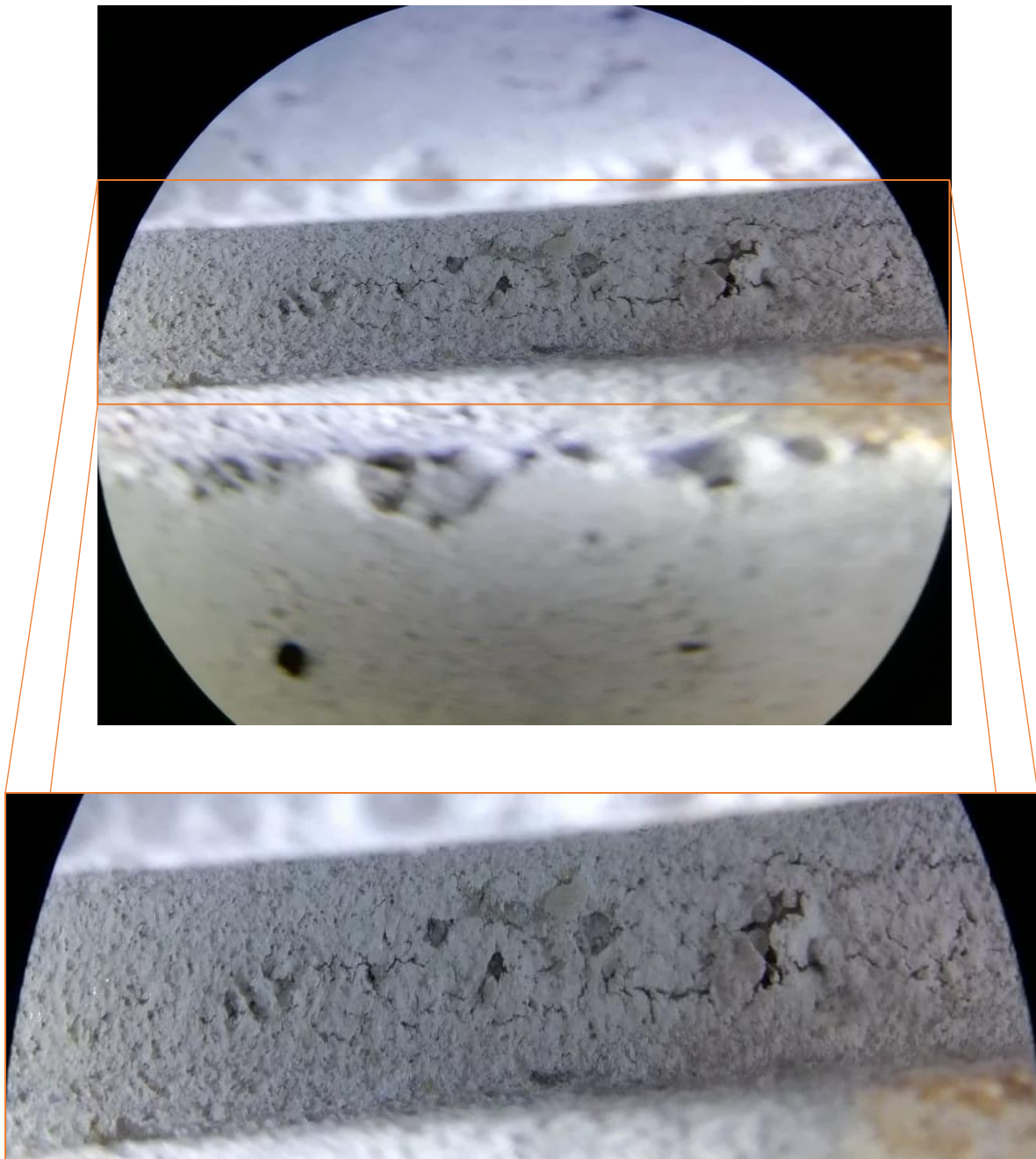
*Figura 101: Fisura 1 con aumentos de 10x, 50x y 100x de zoom.*

**Piedra 4 2b 2**



*Figura 102: Fisura 2 con aumentos de 10x y 50x.*

## C° 2b 1



*Figura 103: Fisura 3 con aumentos de 10x y 50x.*

De acuerdo a las imágenes, se muestra que la precipitación de calcita en las fisuras y aberturas que presenta el concreto se estuvieron reparando al momento de la evaluación, lo que progresivamente fue sellando las fisuras o aberturas que presentaban las probetas de concreto.

A continuación, se presenta una tabla resumen con las medidas de las fisuras mostradas en las fotografías anteriores:

<b>EVALUACION DE LA REPARACION DEL FISURAMIENTO</b>										
N° de fisura	Código De mezcla	A 01 día de preparación				A los 28 días de preparación				Porcentaje de reparación (%)
		Ancho (mm)	Largo (mm)	Profundidad (mm)	Volumen inicial (mm <sup>3</sup> )	Ancho (mm)	Largo (mm)	Profundidad (mm)	Volumen final (mm <sup>3</sup> )	
1	Piedra 4 2b 2	2.0	4.0	4.0	<b>32.0</b>	2.0	4.0	1.2	<b>9.6</b>	<b>70.0</b>
2	Piedra 4 2b 2	1.0	24.8	0.9	<b>22.3</b>	0.6	12.0	0.6	<b>4.3</b>	<b>80.6</b>
3	C° 2b 1	3.0	5.0	50.0	<b>750.0</b>	2.5	5.0	19.0	<b>237.5</b>	<b>68.3</b>

*Tabla 24: Evaluación de la reparación del fisuramiento en porcentaje.*

Nota: Al no contar con instrumentos de medición microscópica se presentan valores redondeados en cuanto a las medidas de ancho largo y profundidad en la tabla.

### **3.4.3. Probetas cilíndricas**

#### **3.4.3.1. Diseño de mezcla 2**

El diseño se realizó siguiendo el método de módulo de fineza de la combinación de los agregados, los resultados y el proceso de diseño se muestran en el Anexo III.

#### **3.4.3.2. Propiedades del concreto**

A continuación, se presentan las principales propiedades de las diferentes mezclas de concreto, así como la codificación que le corresponde a cada probeta, para concluir con un análisis comparativo de las mismas



### 3.4.3.2.1. Código: C° normal

PRINCIPALES PROPIEDADES DEL CONCRETO (Código: C° Normal)																	
N°	Edad (días)	Código de la probeta	Diámetro promedio (mm)	Altura promedio (mm)	Esfuerzo de rotura f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación Unitaria (mmx10 <sup>-3</sup> )	Proyección a los 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )	Peso concreto		Volumen del molde (m <sup>3</sup> )	Peso Unitario del concreto		Módulo de elasticidad ACI 318S	Módulo de elasticidad ACI 318S (28 días)	Tipo de Falla	Modo de Falla	f'c (kg/cm <sup>2</sup> ) Promedio (7,14 y 28 días)
								Fresco (kg)	Endurecido (kg)		Fresco (kg/m <sup>3</sup> )	Endurecido (kg/m <sup>3</sup> )					
1	7	C° Normal 1	150.5	304.6	161.9	0.0064	261.1	11.86	11.79	0.005419	2188.73	2175.81	174373.26	221454.26	3	Dúctil	162.7
2		C° Normal 2	150.7	305.1	158.1	0.0052	255.0	11.82	11.71	0.005441	2172.35	2152.13	169510.16	215278.12	3	Dúctil	
3		C° Normal 3	150.8	307.6	168.0	0.0056	271.0	12.34	12.11	0.005492	2246.81	2204.93	181217.80	230146.84	3	Dúctil	
4		C° Normal 4	150.7	305.7	160.8	0.0078	259.4	11.92	11.70	0.005450	2187.16	2146.79	170324.32	216312.10	3	Dúctil	
5		C° Normal 5	150.8	305.4	164.7	0.0065	265.6	12.10	11.90	0.005453	2219.05	2182.37	176650.83	224346.77	6	Dúctil	
6	14	C° Normal 6	151.9	303.8	218.1	0.0065	247.9	11.87	11.67	0.005501	2157.82	2121.46	194858.72	207720.09	3	Dúctil	222.3
7		C° Normal 7	151.3	303.9	222.6	0.0074	253.0	11.82	11.65	0.005461	2164.53	2133.40	198530.69	211634.42	3	Dúctil	
8		C° Normal 8	150.6	301.1	227.2	0.0071	258.2	11.62	11.50	0.005366	2165.41	2143.04	201940.61	215269.42	3	Dúctil	
9		C° Normal 9	150.8	304.0	226.8	0.0072	257.7	11.93	11.80	0.005430	2197.22	2173.28	206010.07	219607.47	3	Dúctil	
10		C° Normal 10	151.0	304.1	216.8	0.0076	246.4	11.78	11.60	0.005441	2164.93	2131.85	195704.61	208621.81	3	Dúctil	
11	28	C° Normal 11	151.1	304.4	259.2	0.0074	259.2	12.04	11.93	0.005459	2205.42	2185.27	222087.59	222087.59	3	Dúctil	258.8
12		C° Normal 12	151.1	305.5	255.9	0.0081	255.9	12.02	11.90	0.005480	2193.10	2171.57	218578.31	218578.31	3	Dúctil	
13		C° Normal 13	151.3	305.5	259.8	0.0096	259.8	12.12	12.00	0.005491	2207.33	2185.47	222357.90	222357.90	2	Dúctil	
14		C° Normal 14	151.5	304.9	263.7	0.0077	263.7	12.16	12.04	0.005492	2214.21	2192.36	225074.00	225074.00	2	Dúctil	
15		C° Normal 15	151.6	305.3	255.6	0.0080	255.6	12.02	11.80	0.005506	2182.97	2143.01	214145.51	214145.51	3	Dúctil	
		<b>Promedio</b>	<b>151.03</b>	<b>304.71</b>	-	<b>0.0072</b>	<b>257.96</b>	<b>11.96</b>	<b>11.81</b>	<b>0.005459</b>	<b>2191.14</b>	<b>2162.85</b>	-	<b>218175.64</b>	-	-	-

Tabla 25: Principales propiedades del concreto (código: C° Normal).

A continuación, se presentan los resultados obtenidos gráficamente:

➤ Análisis gráfico de las probetas codificadas como C° Normal:

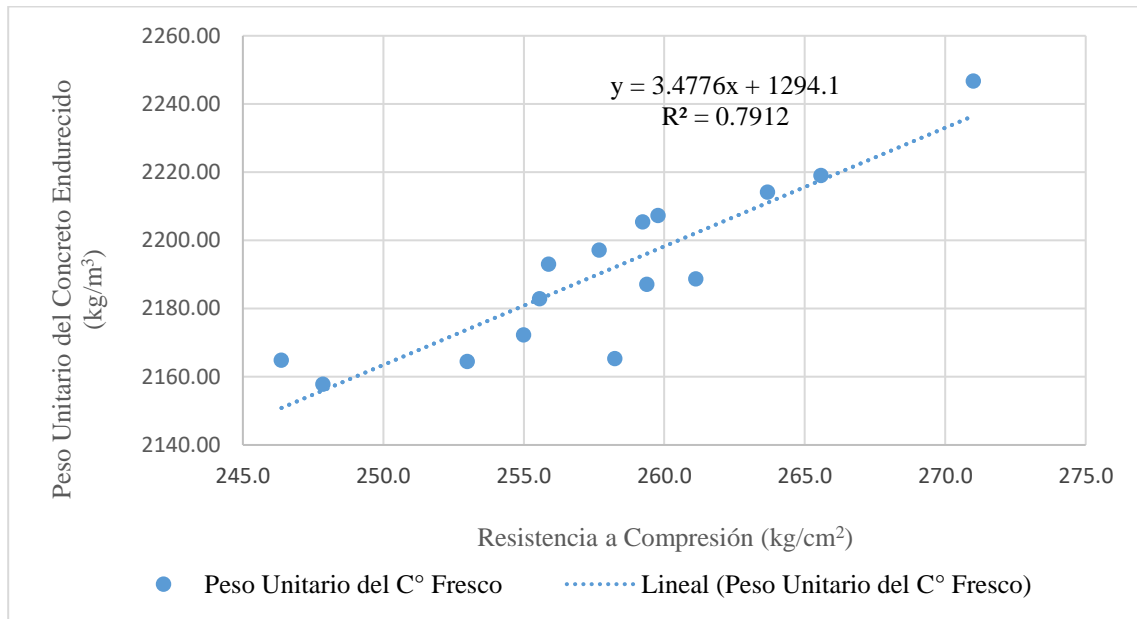


Gráfico 4: Resistencia a la Compresión vs Peso Unitario del concreto fresco. (C° Normal).

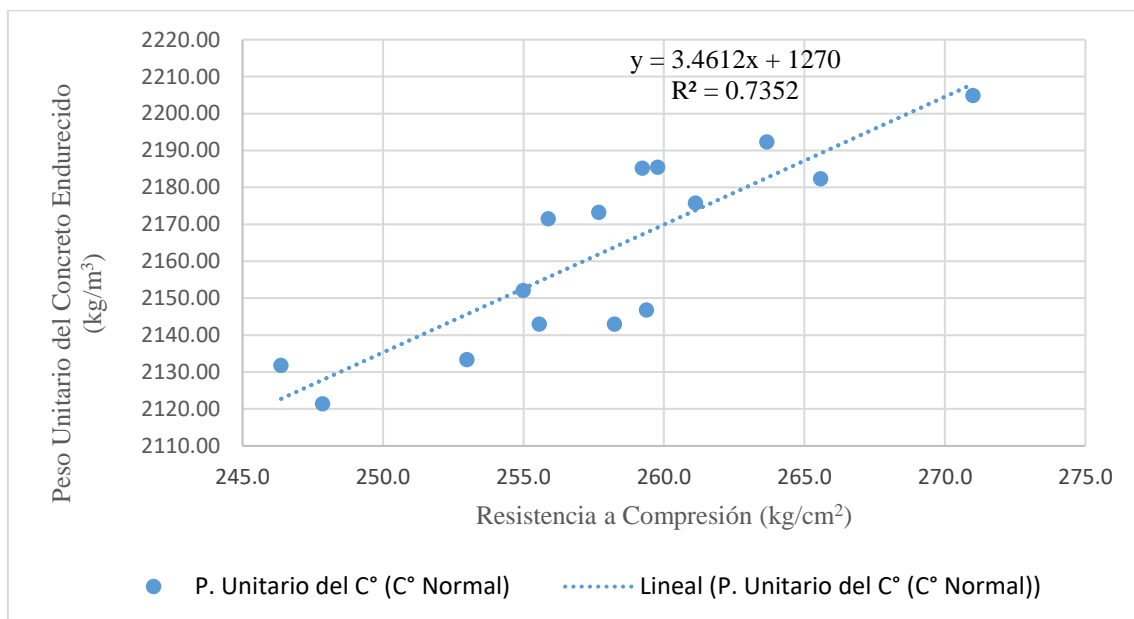


Gráfico 5: Resistencia a la Compresión vs Peso Unitario del concreto endurecido. (C° Normal).

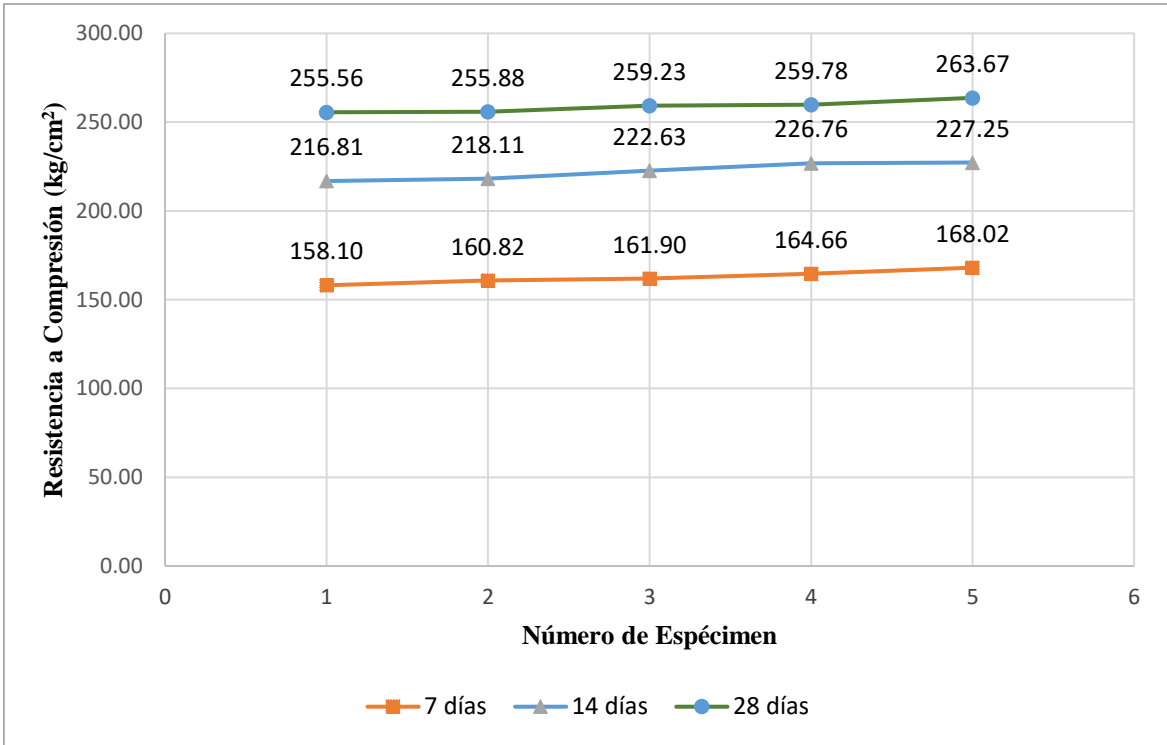


Gráfico 6: Variación de valores de  $f'c$  (kg/cm<sup>2</sup>) a las edades de 7,14 y 28 días (C° Normal).

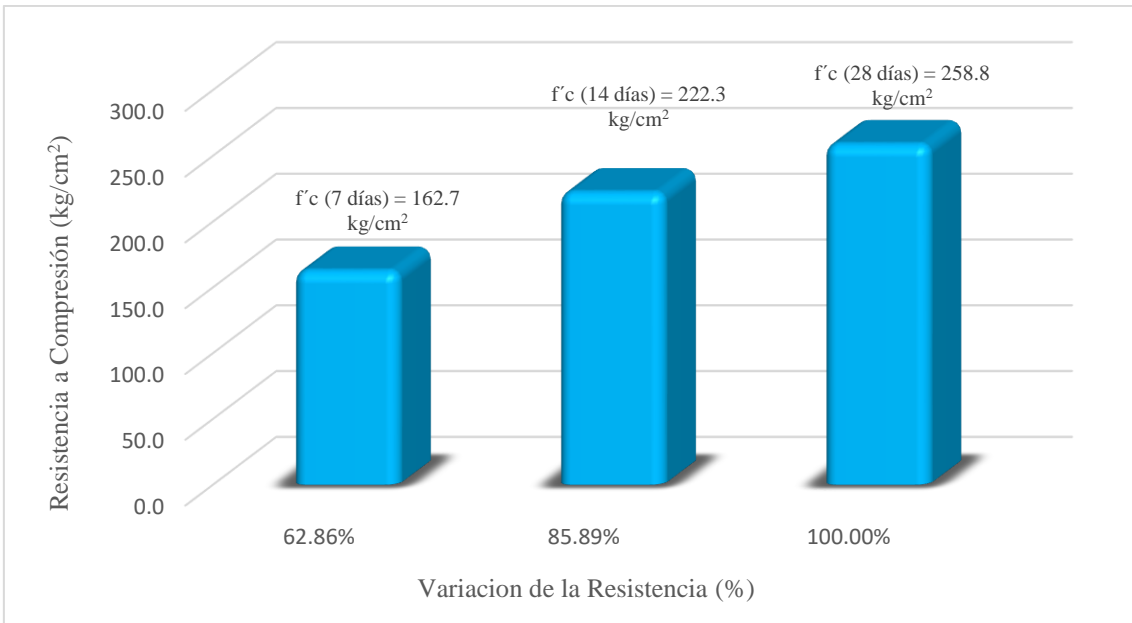


Gráfico 7: Variación del  $f'c$  (kg/cm<sup>2</sup>) a las edades de 7,14 y 28 días en porcentaje % (C° Normal)

### 3.4.3.2.2. Código: C° 2b

PRINCIPALES PROPIEDADES DEL CONCRETO (Código: C° 2b)																	
N°	Edad (días)	Código de la probeta	Diámetro promedio (mm)	Altura promedio (mm)	Esfuerzo de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación Unitaria (mmx10 <sup>-3</sup> )	Proyección a los 28 días	Peso concreto		Volumen del molde (m <sup>3</sup> )	Peso Unitario del concreto		Módulo de elasticidad ACI 318S	Módulo de elasticidad ACI 318S (28 días)	Tipo de Falla	Modo de Falla	f'c (kg/cm <sup>2</sup> ) Promedio
								Fresco (kg)	Endurecido (kg)		Fresco (kg/m <sup>3</sup> )	Endurecido (kg/m <sup>3</sup> )					
16	7	Piedra 4 2b 1	150.1	302.1	172.4	0.0099	282.6	11.92	11.80	0.005346	2229.51	2207.06	183812.35	235347.60	3	Dúctil	167.8
17		Piedra 4 2b 2	150.4	300.7	174.5	0.0095	286.1	11.96	11.85	0.005341	2239.33	2218.73	186410.81	238674.58	6	Dúctil	
18		Piedra 4 2b 3	150.0	300.1	163.8	0.0088	268.5	11.76	11.65	0.005307	2216.07	2195.34	177769.63	227610.69	6	Dúctil	
19		Piedra 4 2b 4	150.1	300.1	166.8	0.0099	273.5	11.82	11.70	0.005307	2227.10	2204.49	180508.37	231117.29	6	Dúctil	
20		Piedra 4 2b 5	150.0	300.7	161.3	0.0105	264.4	11.75	11.68	0.005314	2211.32	2198.14	176727.24	226276.04	3	Dúctil	
21	14	Piedra 4 2b 6	150.8	303.2	256.5	0.0109	285.0	12.11	12.00	0.005413	2237.53	2216.83	225719.23	237928.96	3	Dúctil	251.6
22		Piedra 4 2b 7	150.0	303.7	254.5	0.0086	282.8	11.95	11.88	0.005369	2225.69	2212.65	224201.29	236328.91	3	Dúctil	
23		Piedra 4 2b 8	150.3	304.9	246.8	0.0100	274.3	12.08	11.95	0.005411	2232.55	2208.52	220180.90	232091.05	3	Dúctil	
24		Piedra 4 2b 9	151.4	304.8	247.2	0.0094	274.6	12.18	12.10	0.005486	2220.05	2205.46	219879.87	231773.74	3	Dúctil	
25		Piedra 4 2b 10	150.4	305.0	253.2	0.0095	281.3	12.11	11.95	0.005421	2234.01	2204.50	222391.24	234420.95	3	Dúctil	
26	28	Piedra 4 2b 11	150.9	304.8	291.0	0.0112	291.0	12.19	12.10	0.005447	2237.73	2221.21	241116.99	241116.99	3	Dúctil	295.3
27		Piedra 4 2b 12	151.5	305.0	285.7	0.0120	285.7	12.27	12.17	0.005498	2232.21	2213.48	237674.81	237674.81	3	Dúctil	
28		Piedra 4 2b 13	151.8	304.9	293.8	0.0112	293.8	12.34	12.25	0.005514	2237.74	2221.42	242308.15	242308.15	3	Dúctil	
29		Piedra 4 2b 14	151.3	305.5	299.7	0.0102	299.7	12.34	12.23	0.005494	2245.91	2225.89	245483.91	245483.91	3	Dúctil	
30		Piedra 4 2b 15	150.5	304.6	306.3	0.0094	306.3	12.18	12.08	0.005420	2247.41	2228.95	248673.15	248673.15	3	Dúctil	
		<b>Promedio</b>	<b>150.64</b>	<b>303.32</b>	<b>-</b>	<b>0.0101</b>	<b>283.29</b>	<b>12.06</b>	<b>11.96</b>	<b>0.005406</b>	<b>2231.61</b>	<b>2212.18</b>	<b>-</b>	<b>236455.12</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

Tabla 26: Principales propiedades del concreto (código: C° 2b).

➤ Análisis gráfico de las probetas codificadas como C° 2b:

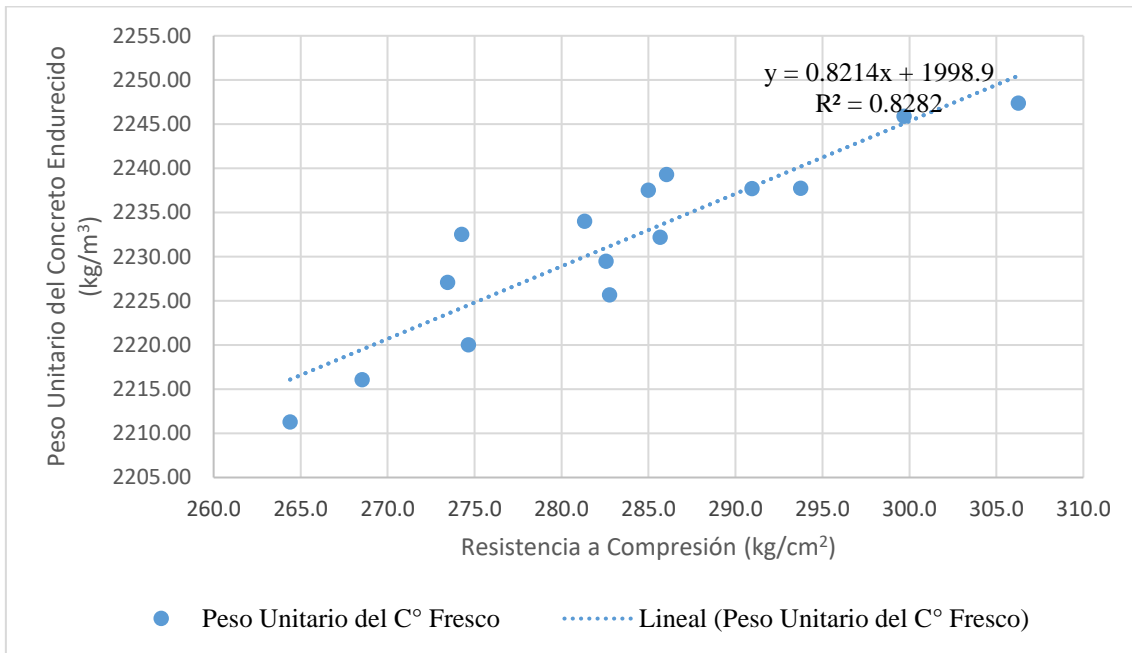


Gráfico 8: Resistencia a la Compresión vs Peso unitario del concreto fresco (C° 2b).

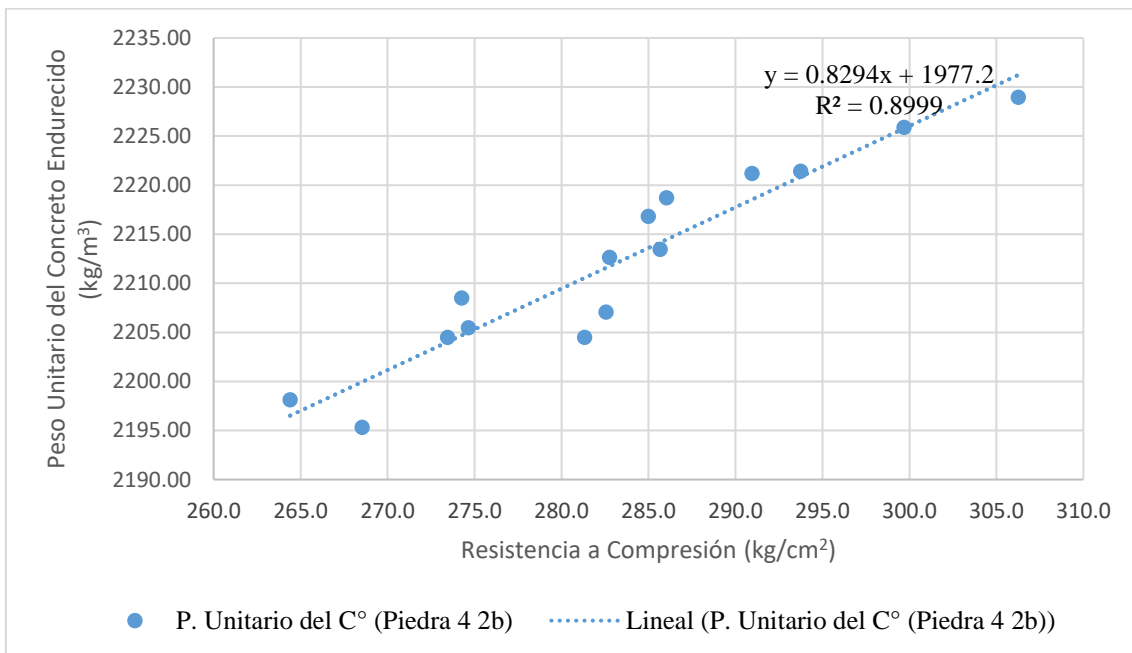


Gráfico 9: Resistencia a la Compresión vs Peso unitario del concreto endurecido (C° 2b).

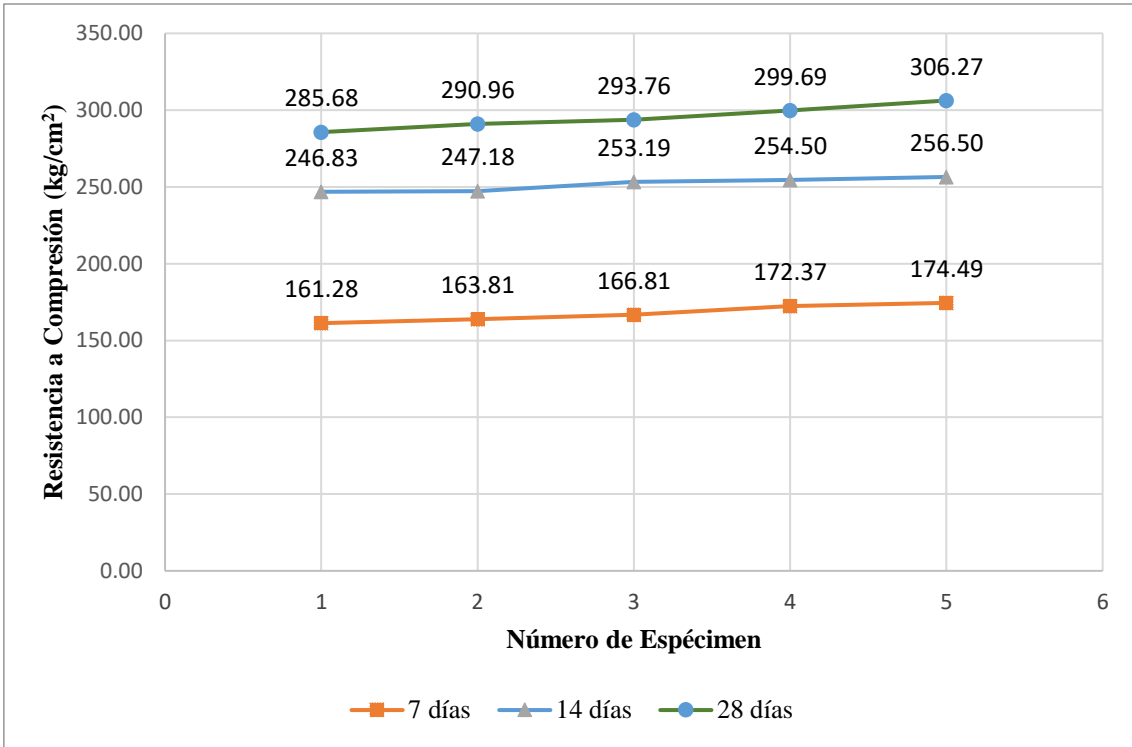


Gráfico 10: Variación de valores de  $f'c$  (kg/cm<sup>2</sup>) a las edades de 7,14 y 28 días (C° 2b).

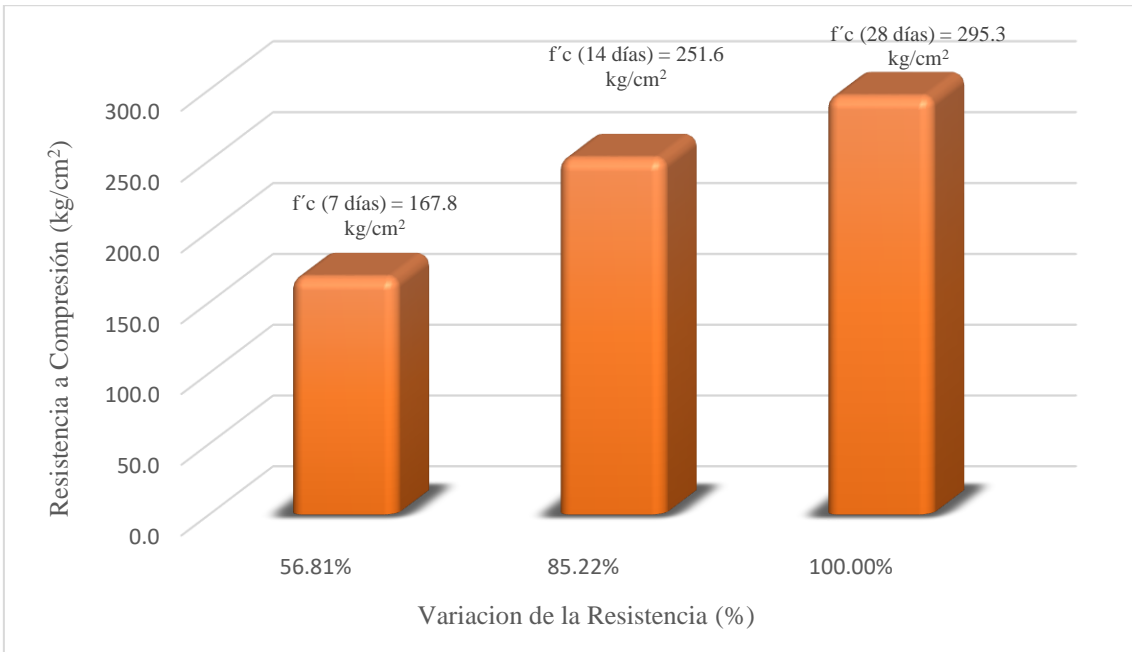


Gráfico 11: Variación del  $f'c$  (kg/cm<sup>2</sup>) a las edades de 7,14 y 28 días en porcentaje % (C° 2b)

### 3.4.3.2.3. Código: Piedra 4 2b

PRINCIPALES PROPIEDADES DEL CONCRETO (Código: Piedra 4 2b)																	
N°	Edad en (días)	Código de la probeta	Diámetro promedio (mm)	Altura promedio (mm)	Esfuerzo de rotura kg/cm <sup>2</sup>	Deformación Unitaria (mmx10 <sup>-3</sup> )	Proyección a los 28 días	Peso concreto		Volumen del molde m <sup>3</sup>	Peso Unitario del concreto		Módulo de elasticidad ACI 318S	Módulo de elasticidad ACI 318S (28 días)	Tipo de Falla	Modo de Falla	F'c (kg/cm <sup>2</sup> ) Promedio
								Fresco kg	Endurecido kg		Fresco kg/m <sup>3</sup>	Endurecido kg/m <sup>3</sup>					
31	7	C° 2b 1	151.5	304.7	233.1	0.0093	347.9	11.64	11.54	0.005490	2120.22	2102.00	198660.86	242702.87	3	Dúctil	232.4
32		C° 2b 2	151.3	303.7	233.6	0.0080	348.6	11.58	11.42	0.005462	2120.08	2090.79	197297.78	241037.60	3	Dúctil	
33		C° 2b 3	150.8	307.1	224.0	0.0089	334.4	11.57	11.46	0.005482	2110.45	2090.39	193160.53	235983.14	6	Dúctil	
34		C° 2b 4	151.5	307.1	241.2	0.0093	360.0	11.84	11.72	0.005537	2138.38	2116.70	204234.25	249511.85	3	Dúctil	
35		C° 2b 5	150.7	305.9	230.0	0.0100	343.3	11.54	11.42	0.005453	2116.40	2094.76	196339.11	239866.40	3	Dúctil	
36	14	C° 2b 6	150.9	305.8	293.8	0.0119	330.1	11.62	11.45	0.005464	2126.47	2095.36	221977.38	235295.55	3	Dúctil	285.0
37		C° 2b 7	150.6	302.5	292.1	0.0131	328.2	11.40	11.31	0.005385	2117.04	2100.32	222144.77	235472.98	3	Dúctil	
38		C° 2b 8	150.8	304.8	287.3	0.0120	322.8	11.30	11.22	0.005441	2076.76	2062.61	214403.40	227267.15	2	Dúctil	
39		C° 2b 9	150.8	302.8	275.5	0.0119	309.6	11.29	11.18	0.005406	2088.42	2068.07	210798.33	223445.79	3	Dúctil	
40		C° 2b 10	151.1	306.0	276.0	0.0116	310.1	11.50	11.32	0.005487	2095.70	2062.90	210193.93	222805.12	3	Dúctil	
41	28	C° 2b 11	151.3	304.6	336.4	0.0136	336.4	11.68	11.57	0.005477	2132.42	2112.34	240433.85	240433.85	3	Dúctil	351.2
42		C° 2b 12	151.5	304.5	352.1	0.0130	352.1	11.84	11.62	0.005491	2156.28	2115.31	246513.62	246513.62	3	Dúctil	
43		C° 2b 13	151.0	305.6	358.6	0.0116	358.6	11.82	11.72	0.005474	2159.12	2141.03	253330.88	253330.88	3	Dúctil	
44		C° 2b 14	151.4	304.5	363.7	0.0115	363.7	11.94	11.82	0.005484	2177.37	2154.94	257606.05	257606.05	3	Dúctil	
45		C° 2b 15	151.3	305.2	345.0	0.0143	345.0	11.65	11.57	0.005485	2124.17	2109.58	243000.46	243000.46	3	Dúctil	
		<b>Promedio</b>	<b>151.09</b>	<b>304.96</b>	-	<b>0.0113</b>	<b>339.39</b>	<b>11.61</b>	<b>11.49</b>	<b>0.005468</b>	<b>2123.95</b>	<b>2101.14</b>	-	<b>239618.22</b>	-	-	-

Tabla 27: Principales propiedades del concreto (código: Piedra 4 2b).

➤ Análisis gráfico de las probetas codificadas como Piedra 4 2b:

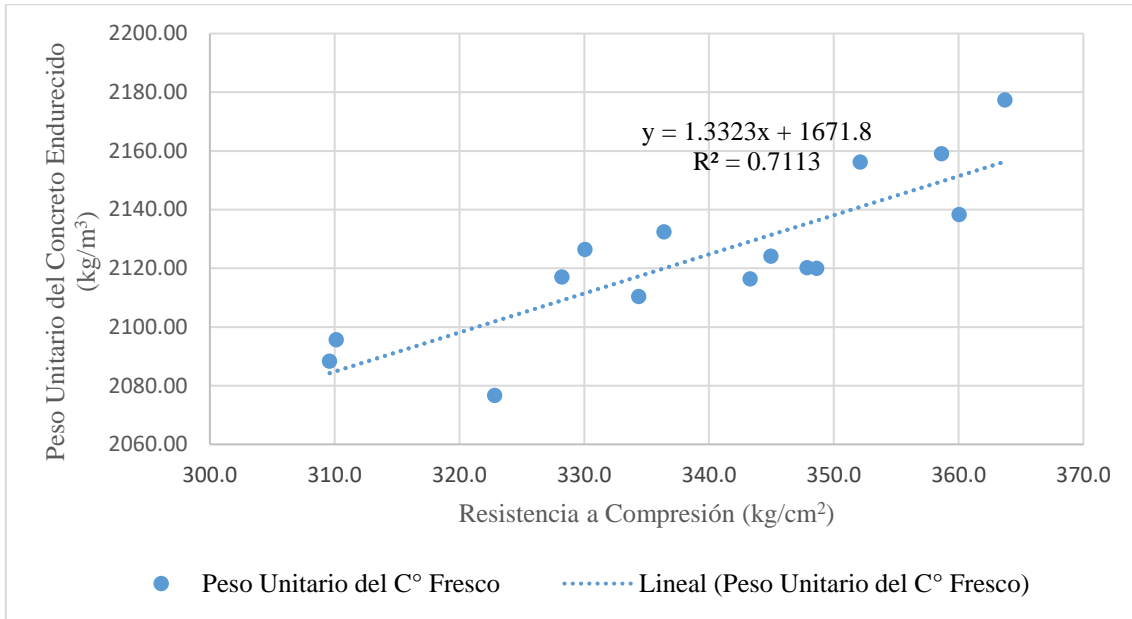


Gráfico 12: Resistencia a la Compresión vs Peso unitario del concreto fresco (Piedra 4 2b).

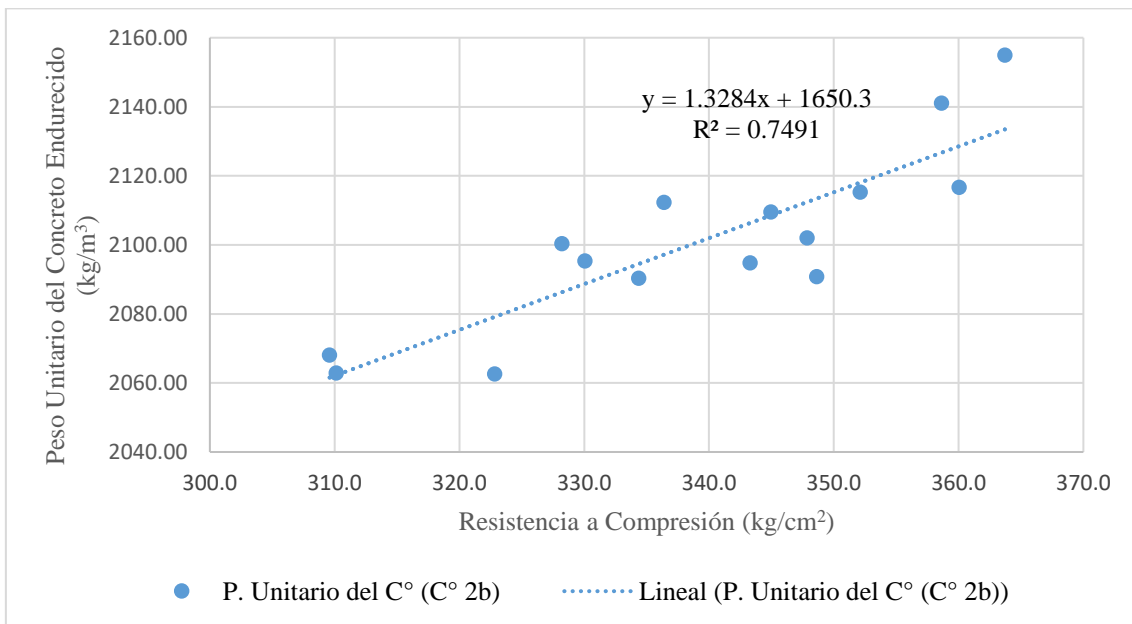


Gráfico 13: Resistencia a la Compresión vs Peso unitario del concreto endurecido (Piedra 4 2b).



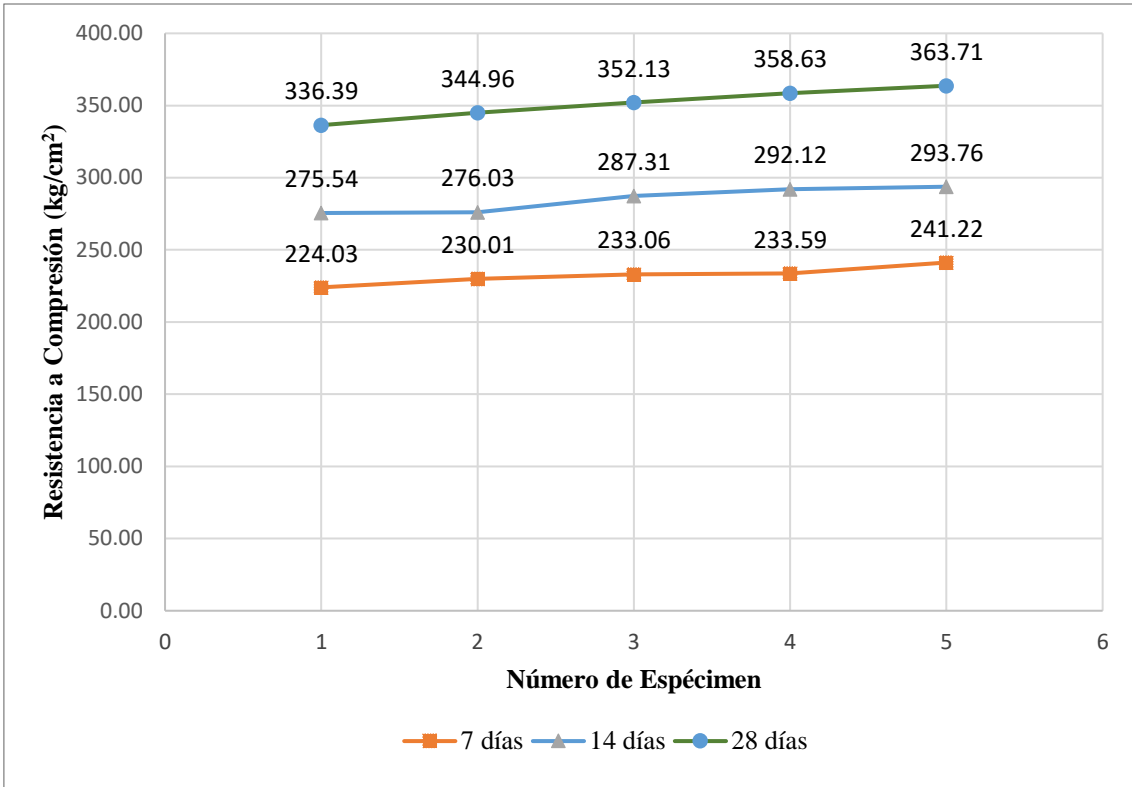


Gráfico 14: Variación de valores de  $f'c$  (kg/cm<sup>2</sup>) a las edades de 7,14 y 28 días (Piedra 4 2b).

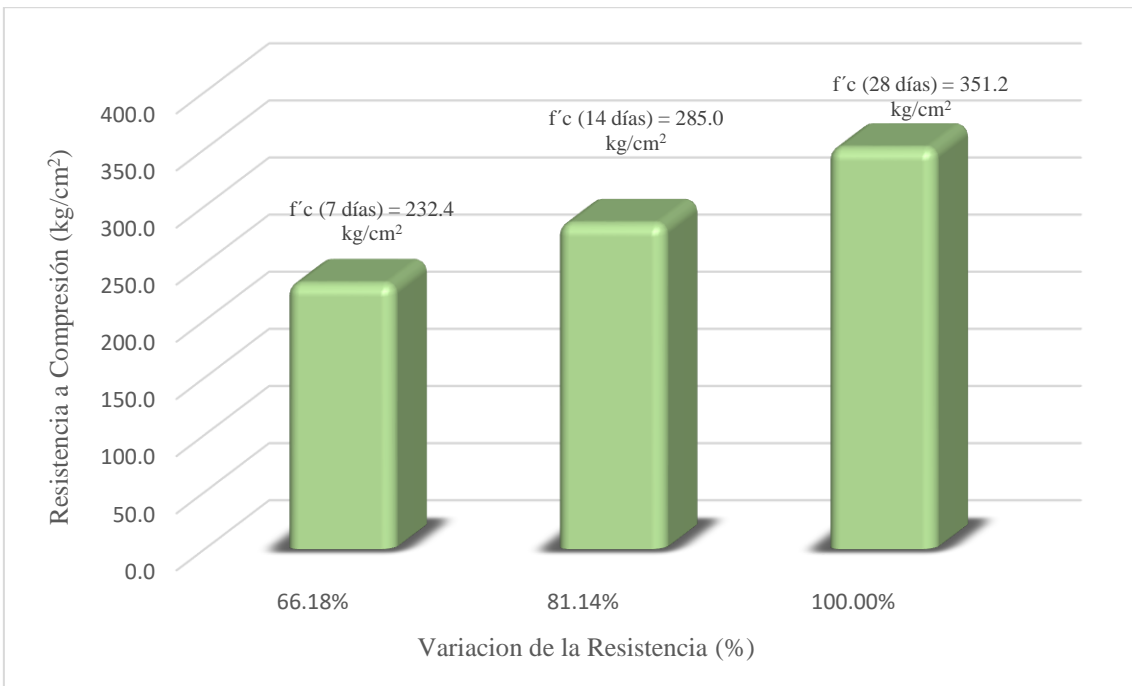


Gráfico 15: Variación del  $f'c$  (kg/cm<sup>2</sup>) a las edades de 7,14 y 28 días en porcentaje % (Piedra 4 2b)

### 3.4.3.2.4. Análisis comparativo de las tres series de probetas.

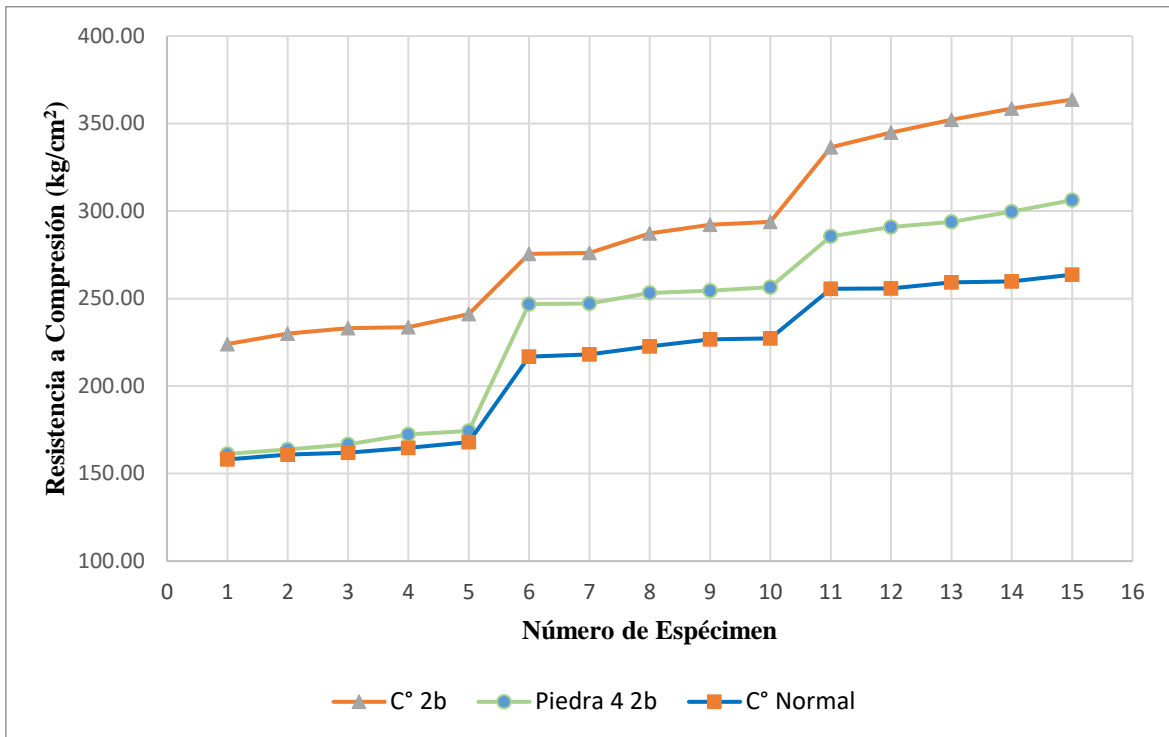


Gráfico 16: Análisis Comparativo Global de  $f'c$  (kg/cm<sup>2</sup>) a las edades de 7, 14 y 28 días de las tres series de probetas.

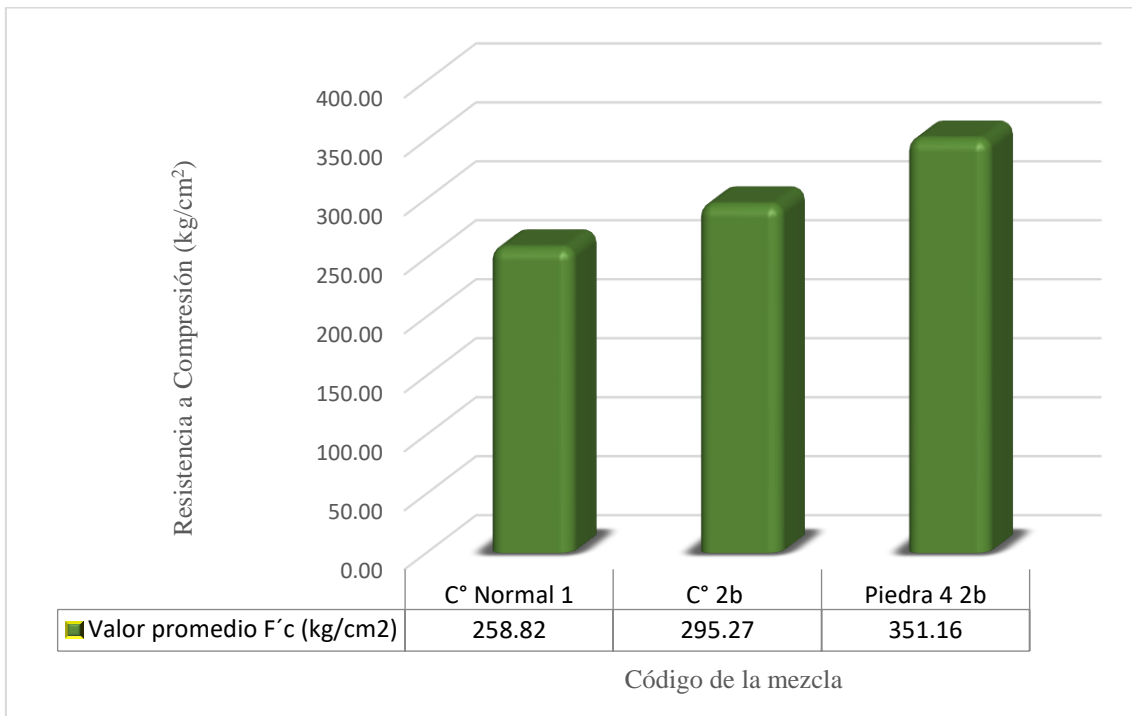


Gráfico 17: Histograma comparativo de la variación del  $f'c$  (kg/cm<sup>2</sup>) a la edad de 28 días.

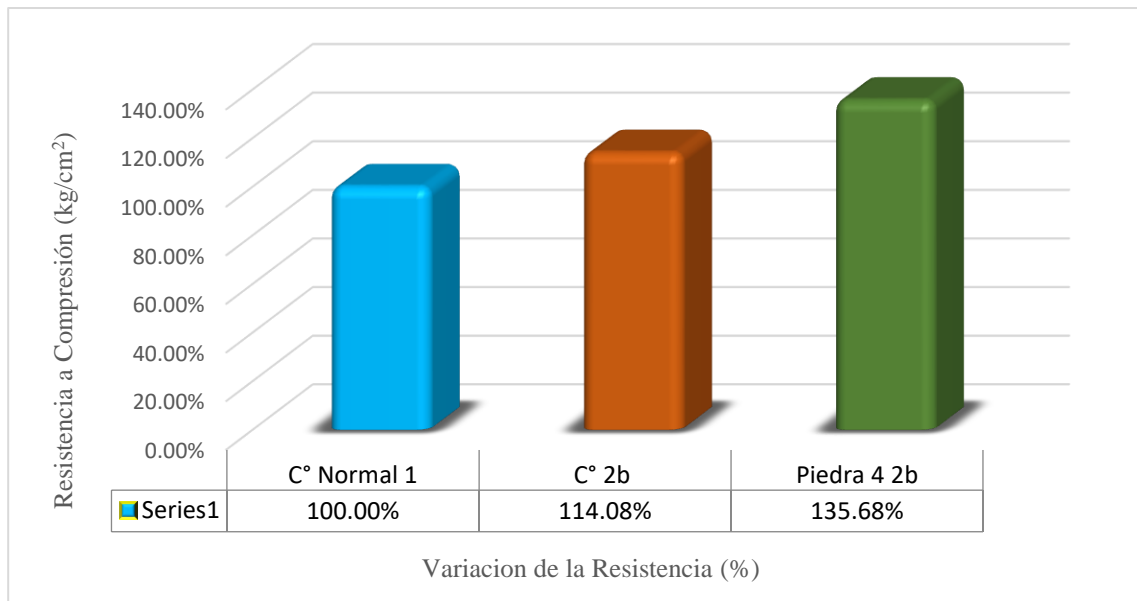


Gráfico 18: Histograma comparativo de la variación del  $f'c$  ( $kg/cm^2$ ) en porcentaje a la edad de 28 días.

### 3.4.3.2.5. Análisis estadístico en SPSS.

#### Diagramas de caja y bigotes para comparar grupos según resistencia a la compresión

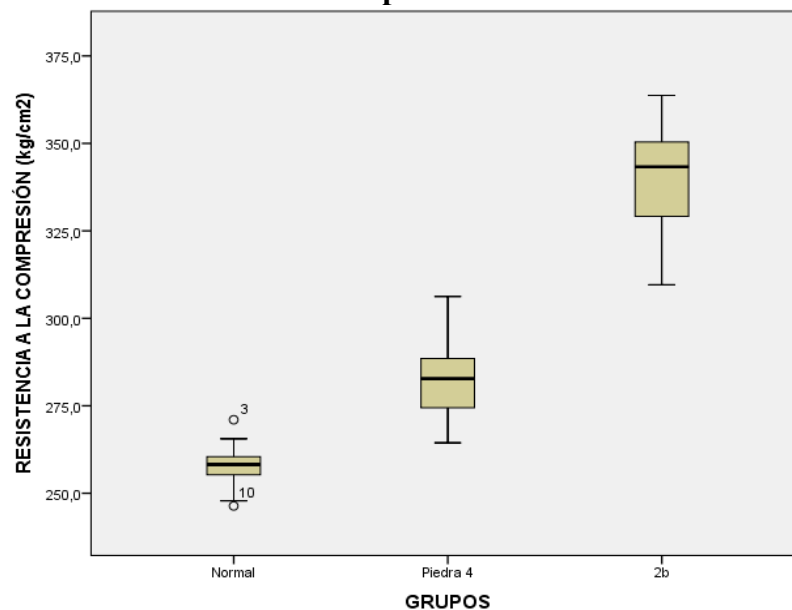


Gráfico 19: Diagramas de caja y bigotes para comparar grupos según resistencia a la compresión en IBM SPSS Statistics ( $kg/cm^2$ ).

La prueba de normalidad, el  $p > 0,05$ , por lo tanto, SÍ hay distribución normal de los datos, y eso apoya la opción de aplicar un estadístico paramétrico, en este caso, la prueba de ANOVA. Como la cantidad de mediciones hechas en cada grupo es pequeña (15 por grupo), la prueba a tener en cuenta, es la de Shapiro-Wilk, dicha prueba se muestra en el anexo 5.8.

## CAPITULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

### 4.1. Reparación del fisuramiento.

De acuerdo a la evaluación realizada, la cual se muestra en la tabla 35 del acápite 3.4.1. y en la tabla 36 del acápite 3.4.2.2. se pudo observar que en el caso de la fisura 1 (Código de probeta: Piedra 4 2b 2) elaboradas en base a las cepas bacterianas de *Paenibacillus Lactis* (Similaridad al 80.2%), se obtuvo un porcentaje de reparación del 70%.

En la fisura 2 (Código de probeta: Piedra 4 2b 2) elaboradas en base a las cepas bacterianas de *Paenibacillus Lactis* (Similaridad al 80.2%), se obtuvo un porcentaje de reparación del 80.6%.

En la fisura 3 (Código de probeta: C° 2b 1) elaboradas en base a las cepas bacterianas de *Bacillus firmus* (Similaridad al 83.4%), se obtuvo un porcentaje de reparación del 68.3%.

Los resultados obtenidos caen en concordancia con lo señalado por (Jonkers; 2007,2011), quien obtuvo una reparación a nivel micrométrico del 100% a los 14 días de evaluación con la utilización de cepas bacterianas del género *Bacillus* y también con (PradeepKumar et al, 2015), el cual mediante la utilización de bacterias *Bacillus subtilis* obtuvo una reparación del fisuramiento del 100% a los 28 días de evaluación mediante la precipitación de carbonato de calcio en la fisura.

✓ En contraste con Jonkers, et al, (2007); no hay límite para el largo de la grieta que este material puede reparar, desde centímetros a kilómetros. Para el ancho, sin embargo, sí hay límite: las grietas no deben tener una amplitud mayor a 8 milímetros. En nuestro caso el ancho de la fisura máximo fue de 3 milímetros.

### 4.2. Resistencia mecánica.

En la evaluación de la resistencia a la compresión se observó que en las probetas codificadas como “Piedra 4 2b” elaboradas en base a las cepas bacterianas de *Paenibacillus Lactis* (Similaridad al 80.2%) , para una dosificación en peso de 1: 2.15:

1.85: 20.83lt/bol (Agua): 2.12lt/bol (Aditivo bacteriano) se tuvo un incremento porcentual del 35.68% de resistencia a la compresión en comparación con concreto sin aditivo bacteriano, lo que en valor numérico del  $f'c$  es de 258.82 kg/cm<sup>2</sup> (C° Normal) a 351.16 kg/cm<sup>2</sup> (Piedra 4 2b) a la edad de 28 días.

En cuanto a las probetas codificadas como “C° 2b” elaboradas en base a las cepas bacterianas de *Bacillus firmus* (Similaridad al 83.4%), en la evaluación de la resistencia a la compresión se observó que para una dosificación en peso de 1: 2.15: 1.85: 20.83lt/bol (Agua): 2.12lt/bol (Aditivo bacteriano) se tuvo un incremento porcentual del 14.08% de resistencia a la compresión en comparación con concreto sin aditivo bacteriano, lo que en valor numérico del  $f'c$  es de 258.82 kg/cm<sup>2</sup> (C° Normal) a 295.27 kg/cm<sup>2</sup> (C° 2b) a la edad de 28 días.

Coincidentemente con (Salmabanu et. al, 2015) quienes obtuvieron aumentos en ensayos de resistencia a la compresión con la utilización de cepas de *Bacillus sphaericus* del 30.76%, 46.15% y 32.21% a los 3,7 y 28 días respectivamente; con (Koustubh et. al, 2016) quienes presentaron incrementos del 23.93 %, 26.86%, 30.30%, 33.8% y 52.71% a los 7 y 28 días en ensayos de resistencia a la compresión para diversas dosificaciones de aditivo bacteriano elaborado a base de cepas de *Bacillus subtilis*; y con (Kumar et al.,2017) quienes obtuvieron un incremento del 22.6% en ensayos de resistencia a la compresión con cepas de *Bacillus subtilis* a los 28 días; en la presente investigación obtuvimos resultados similares, pero al ser diferentes cepas bacterianas, diferentes condiciones de elaboración y diferentes características de los cementos y agregados utilizados, el porcentaje de incremento de resistencia a compresión varía en análisis con los datos obtenidos.

#### **4.3. Contrastación de la hipótesis**

Teniendo presente el planteamiento de la hipótesis que se planteó al inicio de la presente investigación, la cual fue la siguiente:

Hipótesis general: *La incorporación del aditivo bacteriano en el proceso de fisuración controlada del concreto, influye reparando el fisuramiento estructural y mejora su resistencia mecánica.*

De acuerdo al análisis estadístico realizado en SPSS se obtuvo un valor de  $p \geq 0.05$ , lo que comprobó que la incorporación de aditivo bacteriano influye reparando las fisuras, además, mejora la resistencia mecánica, aumentando la misma lo que favorecería en gran medida a la estructura, quedando así, verificada y contrastada la hipótesis general planteada al inicio de la presente investigación.

## CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### 5.1. Conclusiones

- ✓ Se comprobó la hipótesis planteada en la presente investigación.
- ✓ Se determinó que la influencia de la incorporación del aditivo bacteriano es positiva en el proceso de reparación de la fisuración controlada del concreto y mejora su resistencia mecánica.
- ✓ Se aislaron e identificaron en total 17 cepas bacterianas de las cuales 2 precipitaron carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), las cuales fueron cepas de *Paenibacillus lactis* con una similaridad de acuerdo al software ABIS del 80.2% y *Bacillus firmus* con una similaridad de acuerdo al software ABIS del 83.4%.
- ✓ Se calculó el porcentaje de reparación de las fisuras en el concreto; en la fisura 1 de las cepas de *Paenibacillus lactis* repararon la fisura en un 70%; en la fisura 2 las mismas cepas repararon la fisura en un 80.6%, y en la fisura 3 las cepas de *Bacillus firmus* repararon la fisura en un 68.3%.
- ✓ Se evaluó la resistencia a la compresión de los especímenes de bioconcreto, así como de concreto sin adiciones y se observó que el aditivo bacteriano aumenta la resistencia a compresión, en el caso de las cepas de *Paenibacillus lactis* en un 35.68% y en el caso de las cepas de *Bacillus firmus* en un 14.08% en comparación con el concreto sin adiciones.
- ✓ Se utilizó una suspensión bacteriana que contenía aproximadamente  $3 \times 10^8$  bacterias por ml, tanto en el aditivo incorporado a la mezcla como en el inoculado superficialmente.
- ✓ En las probetas prismáticas, se observó que el aditivo vertido superficialmente, así como el aditivo incorporado a la mezcla precipitaron carbonato de calcio en proporciones similares, sellando así las fisuras en los porcentajes previamente detallados.

✓ Se incorporo el aditivo bacteriano a mezcla de concreto (probetas cilíndricas) por que se buscó la precipitación de carbonato de calcio en el interior de la misma, para así obtener una mayor resistencia a la compresión.

✓ Se pudo observar que el máximo ancho de la fisura sellado por la precipitación de  $\text{CaCO}_3$  fue de 3 mm.

## 5.2. Recomendaciones.

✓ Se recomienda que para futuras investigaciones se amplíe el universo de muestreo de cepas bacterianas, ya que de acuerdo a las investigaciones realizadas a nivel internacional se ha trabajado con varios tipos de cepas bacterianas que no se encontraron en la presente investigación, tal es el caso de *Bacillus subtilis*, *Bacillus sphaericus*, entre otras.

✓ Para futuras investigaciones afines con el presente tema se recomienda realizar evaluaciones a la flexión, así como la evaluación de permeabilidad, esfuerzo de ruptura y el análisis de durabilidad.

✓ En la presente investigación no se evaluó la interacción bacteriana con el concreto reforzado con acero y tampoco se encontraron antecedentes de la interacción que pudiese tener con el acero estructural, por lo que sería un punto suelto a tener en cuenta en futuras investigaciones.

✓ Se recomienda analizar la interacción química de los compuestos que conforman el cemento principalmente, tales como el silicato dicálcico, silicato tricálcico, aluminato tricálcico, ferroaluminato tetracálcico, entre otros; así como también con los compuestos químicos que se pudiesen encontrar en los agregados y el agua.

✓ Se recomienda hacer un análisis de permeabilidad en futuras investigación para conocer el porcentaje de disminución de poros en el concreto con el uso de aditivo bacteriano.



## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abanto Castillo, F. (2001).** Tecnología del concreto (Teoría y Problemas). 1ra ed. Lima. Editorial San Marcos E.I.R.L.
- Abanto Castillo, F. (2009).** Tecnología del concreto (Teoría y Problemas). 2da ed. Lima. Editorial San Marcos E.I.R.L.
- ACI 214RS-11. (2017).** Guía para la evaluación de resultados de ensayos de resistencia del concreto. Comité ACI 214 .1ra Edición. Farmington Hills, MI, USA.
- Al-Thawadi, S. (2011).** Ureolytic Bacteria and Calcium Carbonate Formation as a Mechanism of Strength Enhancement of Sand. *Journal of Advanced Science and Engineering Research*. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/230603500\\_Ureolytic\\_Bacteria\\_and\\_Calcium\\_Carbonate\\_Formation\\_as\\_a\\_Mechanism\\_of\\_Strength\\_Enhancement\\_of\\_Sand](https://www.researchgate.net/publication/230603500_Ureolytic_Bacteria_and_Calcium_Carbonate_Formation_as_a_Mechanism_of_Strength_Enhancement_of_Sand).
- Al-Thawadi, S., Cord-Ruwisch, R. and Bououdina, M. (2012).** Consolidation of Sand Particles by Nanoparticles of Calcite after Concentrating Ureolytic Bacteria In Situ. *International Journal of Green Nanotechnology* 4(1), pp.28-36. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/230603401\\_Consolidation\\_of\\_Sand\\_Particles\\_by\\_Nanoparticles\\_of\\_Calcite\\_after\\_Concentrating\\_Ureolytic\\_Bacteria\\_In\\_Situ](https://www.researchgate.net/publication/230603401_Consolidation_of_Sand_Particles_by_Nanoparticles_of_Calcite_after_Concentrating_Ureolytic_Bacteria_In_Situ).
- American Concrete Institute (ACI). (1993).** **ACI 224.1R-93.** Causas, evaluación y reparación de fisuras. Washington, American Concrete Institute. (sitio web). Consultado 14 oct. 2018. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/36305318/ACI-224-Causas-evaluacion-y-reparacion-de-fisuras-en-estructuras-de-hormigon>
- American Concrete Institute (ACI). (2001).** **ACI 224.R-01.** Control de la Fisuración en Estructuras de Hormigón. Washington, American Concrete Institute. (sitio web). Consultado 14 oct. 2018. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/317067002/ACI-224-R-01-Control-de-La-Fisuracion>
- Anderson, T.H. (2003).** Microbial eco-physiological indicators to asses soil quality. *Agriculture, Ecosystem and Environment*. Volume 98. Pages 285-293. Consultado 14 octubre 2018. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880903000884>

**Ardeshana A.B., Pitroda J.R., Rana Digvijaysinh. (2016).** A Critical Literature Review on Gainful Utilization of Bacteria in Construction Industry. International Journal of Emerging Technologies and Applications in Engineering, *Technology and Sciences* 9 (7). Consultado 14 enero. 2018. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/296839856\\_A\\_CRITICAL\\_LITERATURE\\_REVIEW\\_ON\\_GAINFUL\\_UTILIZATION\\_OF\\_BACTERIA\\_IN\\_CONSTRUCTION\\_INDUSTRY](https://www.researchgate.net/publication/296839856_A_CRITICAL_LITERATURE_REVIEW_ON_GAINFUL_UTILIZATION_OF_BACTERIA_IN_CONSTRUCTION_INDUSTRY)

**Aryal, S., & Assadig, M. (2018).** Voges–Proskauer (VP) Test- Principle, Reagents, Procedure and Result. Consultado 25 agosto. 2018. Disponible en: <https://microbiologyinfo.com/voges-proskauer-vp-test-principle-reagents-procedure-and-result/>

**Ash, C., Priest, F. G. & Collins, M. D. (1993).** Molecular identification of rRNA group 3 bacilli (Ash, Farrow, Wallbanks and Collins) using a PCR probe test. Proposal for the creation of a new genus *Paenibacillus*. *Antonie van Leeuwenhoek*. Volume 64: Pages 253–260. Consultado 26 septiembre 2018. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00873085>

**ASTM C 33 (2001).** Especificación de norma para agregados para concreto. Standard Specification for Concrete Aggregates. EE.UU. EE.UU. Book of Standards Volume: 04.02. Consultado 26 septiembre 2018. Disponible en: <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/C33C33M-08-SP.htm>

**ASTM C39/C39M – 18. (2000).** Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto. EE.UU. Book of Standards Volume: 04.02. Consultado 26 septiembre 2018. Disponible en: <https://www.astm.org/Standards/C39C39M-SP.htm>

**ASTM C138/C138M-09. (2000).** Historical Standard: Método de Ensayo Normalizado de Densidad (Peso Unitario), Rendimiento, y Contenido de Aire (Gravimétrico) del Concreto. EE.UU. Consultado 26 septiembre 2018. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/330341735/318885487-ASTM-C138-14SP-pdf-pdf>

**ASTM C143 / C143M – 15a. (2000).** “Standard test method for slump of portland cement concrete.” (Método de Ensayo Normalizado para Asentamiento de Concreto de Cemento Hidráulico.) Developed by Subcommittee: C09.60. EE.UU. Consultado 26

septiembre 2018. Disponible en:  
<http://www.getjsw.com/aspimages/kpintercon/civil/reference/ASTM%20C143%20Test%20Method%20for%20Hydraulic-Cement%20Concrete.pdf>

**ASTM C 192 M – 16a** Práctica Normalizada para Preparación y Curado de Especímenes de Concreto para Ensayo en Laboratorio. EE.UU. Consultado 26 septiembre 2018. Disponible en: <https://www.astm.org/Standards/C192>

**ASTM C469 / C469M - 14(2000)**. Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression. Método estándar para la determinación del módulo de elasticidad estático y de la relación de Poisson del concreto sometido a compresión. EE.UU. Consultado 26 septiembre 2018. Disponible en: <https://www.astm.org/DATABASE.CART/WORKITEMS/WK60392.htm>

**A.T. Manikandan, A. Padmavathi. (March 2015)**. An Experimental Investigation on Improvement of Concrete Serviceability by using Bacterial Mineral Precipitation. IJRSI, Volume II, 4. Consultado 8 septiembre 2017. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/314141609\\_Bacterial\\_concrete\\_A\\_review](https://www.researchgate.net/publication/314141609_Bacterial_concrete_A_review)

**Bacillus firmus. (2018)**. Disponible en: Consultado 10 noviembre 2018. [http://atlas.sund.ku.dk/microatlas/food/bacteria/Bacillus\\_firmus/phaseconspo1.html](http://atlas.sund.ku.dk/microatlas/food/bacteria/Bacillus_firmus/phaseconspo1.html)

**Bacterial Endospores (2018)**. Cornell University Ithaca. Department of Microbiology. New York. Consultado 10 noviembre 2018. Disponible en: <https://micro.cornell.edu/research/epulopiscium/bacterial-endospores/>

**Banco Central de Reserva. (2017)** Perú: Sector construcción crecerá 0.5 % este año y 8 % en 2018. Lima, Banco Central de Reserva. Consultado 5 noviembre 2017. Disponible en: <http://andina.pe/agencia/noticia-peru-sector-construccion-crecera-05-este-ano-y-8-2018-681224.aspx>

**Bergey, D., & Holt, J. (2000)**. Bergey's manual of determinative bacteriology (9th ed., p. 589). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.

**Bhavana, R., Raju, P. and Asadi, S. (2017)**. Experimental Study On Bacterial Concrete With Partial Replacement Of Cement By Fly Ash. International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET), (Issue 4). Consultado 5 enero 2019. Disponible en:

[https://www.iaeme.com/MasterAdmin/uploadfolder/IJCIET\\_08\\_04\\_026/IJCIET\\_08\\_04\\_026.pdf](https://www.iaeme.com/MasterAdmin/uploadfolder/IJCIET_08_04_026/IJCIET_08_04_026.pdf)

**Bosma, E., Koehorst, J., van Hijum, S., Renckens, B., Vriesendorp, B., & van de Weijer, Antonius H. P. Schaap, Peter J. De Vos, Willem M. Van der Oost, John. Van Kranenburg, Richard P. Y.** (2016). Complete genome sequence of thermophilic *Bacillus smithii* type strain DSM 4216<sup>T</sup>. *Standards in Genomic Sciences*, 11(1). Consultado 5 enero 2019. Disponible en: <https://standardsingenomics.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40793-016-0172-8>

**Burg, Ronald G.** (1996), The Influence of Casting and Curing Temperature on the Properties of Fresh and Hardened Concrete (La Influencia de la Temperatura de Colocación y del Curado sobre las Propiedades del Concreto Fresco y Endurecido), Research and Development Bulletin RD113. Portland Cement Association. USA 18 Páginas. Consultado 5 octubre 2019. Disponible en: [https://www.cement.org/docs/default-source/th-paving-pdfs/soil\\_cement/rd113-the-influence-of-casting-and-curing-temperature-on-the-properties-of-fresh-and-hardened-concrete.pdf](https://www.cement.org/docs/default-source/th-paving-pdfs/soil_cement/rd113-the-influence-of-casting-and-curing-temperature-on-the-properties-of-fresh-and-hardened-concrete.pdf)

**Castanier, S., Le Métayer-Levrel, G., & Perthuisot, J. P.** (1999). Carbonates precipitation and limestone genesis—the microbiologist point of view. *Sedimentary Geology*, 126 (1 -4), 9-23.

**Castanier, S., Le Metayer-Levrel, G., & Perthuisot, J. P.** (2000). Bacterial roles in the precipitation of carbonate minerals. In Riding, R.E., Awramik & S.M. (Eds.), *Microbial Sediments* (pp. 32-39). Heidelberg: Springer-Verlag.

**Castanier, S., Le Métayer-Levrel, G., Oriol, G., Loubière, J. F., & Perthuisot, J. P.** (2000). Bacterial carbonatogenesis and applications to preservation and restoration of historic property. In O. Ciferri, P. Tiano, & G. Mastromei (Eds.), *Of Microbes and Art -The Role of Microbial Communities in the Degradation and Protection of Cultural Heritage* (pp. 203-218). New York, NY: Kluwer Academic-Plenum.

**CEM Solutions.** (2018). Slump Test for Concrete - CEM Solutions. [online] Consultado 5 octubre 2019. Disponible en: <http://cemsolutions.org/concrete-slump-test/>

- Christopher, W., Kaplan, R. & Christopher, L. (2004).** Bacterial succession in a petroleum land treatment unit. *Appl. Environ. Microbiol.* 70:1777-1786. Consultado 23 octubre 2019. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC368334/>
- Chung, Y.R., Kim, C.H., Hwang, I. & Chun, J. (2000).** *Paenibacillus koreensis* sp. nov., a new species that produces an iturin-like antifungal compound. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 50:495-500.
- C. Mohanasundharam, R. Jeevakkumar, K. Shankar. (November-2014).** An Experimental Study on Performance of Bacteria in Concrete. *International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology (IJIRCST)*, Volume-2, 5. Consultado 20 julio 2017. Disponible en: [http://www.ijircst.org/DOC/1\\_IRP20780f5aba7-c12c-4e20-b85c-b27e3447c54d.pdf](http://www.ijircst.org/DOC/1_IRP20780f5aba7-c12c-4e20-b85c-b27e3447c54d.pdf)
- Collantes Q., E. (2017).** “Estudio de las propiedades del concreto con adición de Puzolana volcánica en Cajamarca”. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil. Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca - Perú.
- Córdova Z., Manuel. (2003).** *Estadística Descriptiva e Inferencial*. Quinta edición. Editorial Moshera S.R.L. Lima – Perú
- Cuervo Lozada, J. (2010).** Aislamiento y caracterización de *bacillus spp* como fijadores biológicos de nitrógeno y solubilizadores de fosfatos en dos muestras de biofertilizantes comerciales. Trabajo de grado presentado para obtener el grado de Licenciatura. Pontificia Universidad Javeriana Facultad de Ciencias Básicas. Bogotá D.C. Colombia.
- Daane, L.L., Harjono, I., Barns, S.M., Launen, L.A., Palleroni, N.J. & Haggblom, M.M. (2002).** PAH-degradation by *Paenibacillus* spp. And description of *Paenibacillus aphthalenovorans* sp. nov., a naphthalene degrading bacterium from the rhizosphere of salt marsh plants. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 52:131–139.
- Diaz S., N. (2017).** “Diseño de mezcla de concreto permeable elaborado con aditivo y adición de fibra de polipropileno para uso en pavimentos, en la ciudad de Cajamarca”. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil. Universidad Nacional de Cajamarca. Facultad de ingeniería. Cajamarca – Peru.

- Ehrlich, H. L. (1998).** Geomicrobiology: Its significance for geology. *Earth-Science Reviews*, 45:45-60. Consultado 20 julio 2018. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012825298000348>
- E.060. (2009)** Concreto armado. Norma técnica de edificación. RNE. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Lima – Peru.
- GeoDatos. (2018).** Coordenadas geográficas de Cajamarca, Cajamarca, Perú. Consultado 20 diciembre 2018. Disponible en: <https://www.geodatos.net/coordenadas/peru/cajamarca>
- González Sandoval, F. (2013).** Manual de supervisión de obras de concreto. 2da ed. México. Editorial Limusa.
- Google. (s.f.). (2018)** [Mapa de cantera La Victoria, Cajamarca, Perú en Google maps. Consultado 24 agosto, 2018. Disponible en: <https://www.google.com/maps/@-7.1818805,-78.4733018,5817m/data=!3m1!1e3>
- Goodfellow, M., Kämpfer, P., Busse, H., Trujillo, M., Suzuki, K., Ludwig, W., & Whitman, W. (2009).** *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology* New York, NY: Springer New York. (2nd ed., pp. 126-127, 131, 312, 314 – 315, 319).
- Gutiérrez Pulido, H. and Vara Salazar, R. (2013).** Control estadístico de la calidad y Seis Sigma. 3rd ed. México: McGraw-Hill Education.
- Hanson, J. A. (1968).** Effects of Curing and Drying Environments on Splitting Tensile Strength of Concrete (Efecto de los Ambientes de Curado y Secado sobre la Resistencia a la Tensión Indirecta del Concreto). Development Department Bulletin DX141, Portland Cement Association, Consultado 24 agosto, 2018. Página 11. Disponible en : <https://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal/m/details/id/7495>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. and Baptista Lucio, M. (2010).** Metodología de la investigación. 5th ed. Mexico: A Subsidiary of The McGraw-Hill Companies, Inc.

- INDECI. (2005).** “Programa de prevención y medidas de mitigación ante desastres de la ciudad de Cajamarca”. Cajamarca – Perú. Consultado 20 noviembre, 2018. Página 11. Disponible en: [http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios\\_CS/Region\\_cajamarca/cajamarca/cajamarca.pdf](http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios_CS/Region_cajamarca/cajamarca/cajamarca.pdf)
- Itzdarkbato. (2018).** Lecitinasas. Consultado 05 septiembre, 2018. Disponible en: <https://es.slideshare.net/itzdarkbato/lecitinasas>
- JCM Catalogue. (2018).** Lactobacillus farraginis Endo and Okada 2007. Disponible en: [http://www.jcm.riken.jp/cgi-bin/jcm/jcm\\_keyword?AN=Lactobacillus&BN=farraginis&CN=&DN](http://www.jcm.riken.jp/cgi-bin/jcm/jcm_keyword?AN=Lactobacillus&BN=farraginis&CN=&DN)
- Jonkers, H.M. (2007).** Self-healing concrete: a biological approach. In Self-healing materials - An alternative approach to 20 centuries of materials science. ed. S. van der Zwaag. 36. Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Department of Materials and Environment – Microlab, Delft, the Netherlands. pp. 195–204. Consultado 05 septiembre, 2017. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/226526866\\_Self\\_Healing\\_Concrete\\_A\\_Biological\\_Approach](https://www.researchgate.net/publication/226526866_Self_Healing_Concrete_A_Biological_Approach)
- Jonkers, H.M. (2011).** Bacteria-based self-healing concrete. Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Department of Materials and Environment – Microlab, Delft, the Netherlands. Consultado 05 septiembre, 2017. Disponible en: [https://www.academia.edu/1780680/H.Jonkers\\_-\\_Self\\_Healing\\_concrete\\_by\\_bacterial\\_mineral\\_precipitation](https://www.academia.edu/1780680/H.Jonkers_-_Self_Healing_concrete_by_bacterial_mineral_precipitation)
- Koneman. E. W. (2001).** Diagnostico microbiológico: Texto y atlas de color. 5ta Edición. Buenos Aires. Argentina. Editorial Médica Panamericana
- Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W. and Tanesi, J. (2004).** Diseño y control de mezclas de concreto. 1st ed. Skokie, Ill.: Portland Cement Association. USA.
- Koustubh A. Joshi , Madhav B. Kumthekar , Vishal P Ghodake . (2016).** Bacillus Subtilis Bacteria Impregnation in Concrete for Enhancement in Compressive Strength. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Volume: 03, 6.

Consultado 05 septiembre, 2017. Disponible en:  
<https://www.irjet.net/archives/V3/i5/IRJET-V3I5252.pdf>

**Kumar R. B. D., P. Venkata S. K. C., Shaik S., & K. Mounika, (2017).** Experimental Study on Bacterial Concrete. IJSTE - International Journal of Science Technology & Engineering. Consultado 07 Julio, 2018 Disponible en:  
<http://www.ijste.org/articles/IJSTEV3I11099.pdf>.

**Lavayna, P., Harathi, D., Venkaiah, N., Ramakrishna, K., Mohan sai, J. and Vinay kumar, Y. (2018).** Effect of Bacteria “*Bacillus Subtiliosus*” On Mechanical Properties of Concrete. International Journal of Engineering Trends and Applications (IJETA), (Issue 2), pp.1-8. Consultado 05 Julio, 2018. Disponible en:  
<http://www.ijetajournal.org/volume-5/issue-2/IJETA-V5I2P20.pdf>

**Lauryl Tryptose Mannitol Broth. (2018).** Consultado 05 agosto, 2018. Disponible en:  
<http://www.medioscultivo.com/lauryl-tryptose-mannitol-broth/>

**Li, V. and Herbert, E. (2012).** Robust Self-Healing Concrete for Sustainable Infrastructure. Journal of Advanced Concrete Technology, [online] 10(6), pp.207-218. Consultado 02 julio, 2018. Disponible en: [https://www.researchgate.net/figure/Self-healing-of-tight-cracks-ECC-Li-Herbert-2012-The-major-challenge-for-the-ECC\\_fig3\\_287337655](https://www.researchgate.net/figure/Self-healing-of-tight-cracks-ECC-Li-Herbert-2012-The-major-challenge-for-the-ECC_fig3_287337655)

**Luna Fontalvo, J. (2012).** Manual de prácticas de laboratorio (1st ed.). Santa Marta, Colombia: Universidad del Magdalena. Consultado 10 septiembre, 2018. Disponible en:  
[https://books.google.com.pe/books?id=MdBBDwAAQBAJ&pg=PA48&lpg=PA48&dq=Crecimiento+a+45%C2%B0C+y+a+65+%C2%B0C+bacterias&source=bl&ots=B6E\\_-gTRxl&sig=KCaCfvcsf0tzhaeMJhDiLVD674&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwipk8aG\\_bjeAhUOnlMKHXb9AFYQ6AEwC3oECAgQAQ#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=MdBBDwAAQBAJ&pg=PA48&lpg=PA48&dq=Crecimiento+a+45%C2%B0C+y+a+65+%C2%B0C+bacterias&source=bl&ots=B6E_-gTRxl&sig=KCaCfvcsf0tzhaeMJhDiLVD674&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwipk8aG_bjeAhUOnlMKHXb9AFYQ6AEwC3oECAgQAQ#v=onepage&q&f=false)

**MacFaddin, J. (2003).** Pruebas bioquímicas para la identificación de bacterias de importancia clínica (3rd ed.). Madrid : Médica Panamericana.

**Maletta, H. (2009).** Metodología y técnica de la producción científica. Lima: CEPES - Universidad del Pacífico.



**Medidores de pH. (2018).** Consultado el 05 septiembre, 2018. Disponible en:  
<https://www.experimentoscientificos.es/ph/medidores-de-ph/>

**Medios diferenciales. (2018).** Consultado 05 septiembre, 2018. Disponible en:  
<https://microbiologia-monitoria.weebly.com/medios-diferenciales.html>

**Métodos Catalasa y Oxidasa. (2018).** Consultado 04 septiembre, 2018. Disponible en:  
[http://www.ugr.es/~pomif/pom-bac/pb-v/pb-v-3-catalasa\\_oxidasa.htm](http://www.ugr.es/~pomif/pom-bac/pb-v/pb-v-3-catalasa_oxidasa.htm) (04/09/2018).

**Neville, A. (2012).** Properties of concrete. 4th Ed. Harlow. Pearson Education. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. Mexico

**NTP 339.033:2009.** HORMIGÓN (CONCRETO). Práctica normalizada para la elaboración y curado de los especímenes de concreto de campo. 3a. ed. Lima: INDECOPI ,2009. 17 p. (ASTM C-31).

**NTP 339.034:2008.** HORMIGÓN (Concreto). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas. 3a. ed. Lima: INDECOPI ,2008. 18 p. (ASTM C-39).

**NTP 339.035.2009.** HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland. 3ªEd. R. 2009-CRT-INDECOPI.

**NTP 339.046.2008.** HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto). 2ª Ed. R. 2008-CRT-INDECOPI

**NTP 339.088.2006.** HORMIGÓN. (CONCRETO). Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. 2ªEd. R. 2006-CRT-INDECOPI.

**NTP 339.088.2008** Requisitos de calidad del agua para el concreto. 2ª Ed. R. 2008-CRT-INDECOPI.

**NTP 339.183.2013.** Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio. 2ª Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.

**NTP 339.185.2013.** AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. 2ª Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.

- NTP 400.011.2008.** AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones (concretos). 2ª Ed. R. 2008-CRT-INDECOPI.
- NTP 400.012. 2001.** AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. 2001-05-31 2ª Edición.
- NTP 400.037.2002.** AGREGADOS. Especiaciones normalizadas para agregados en hormigón 2ª Ed. R. 2002-CRT-INDECOPI- CRT-INDECOPI.
- NTP 400.017.2011.** AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (peso unitario) y los vacíos en los agregados. 3ª Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- NTP 400.021.2013.** AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa (Peso específico) y absorción del agregado grueso. 2ª . Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- NTP 400.022.2013.** AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa (Peso específico) y absorción del agregado fino. 2ª Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- NTP 400.037.2014.** AGREGADOS. Especiaciones normalizadas para agregados en concreto. 3ª Ed. R. 2014-CRT-INDECOPI.
- Rivera López, G. (2002).** Concreto simple. Popayán: Universidad del Cauca, Colombia. pp.199-217.
- Rivva López. E. (2013).** Diseño de Mezclas. Segunda edición. Lima-Perú. Imprenta Williams E.I.R.L. (292 pp.)
- Rivva López. E. (2014).** Diseño de Mezclas. Segunda edición. Lima-Perú. ICG. (208 pp.)
- Onaka, T.J, Konishi. J., Ishii, Y.& Maruhashi, K. (2001).** Desulfurization characteristics of thermophilic Paenibacillus sp. Strain a11-2 against asymmetrically alkylated dibenzothiophenes". J. Biosci. Bioeng. 92:193-196. Consultado 04 septiembre, 2018. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389172301802255>

**Pacasmayo Cementos (2018).** Ficha técnica cementos Pacasmayo. cemento tipo I Co. Consultado el 4 septiembre, 2018. Disponible en: [https://www.pacasmayoprofesional.com/aplicaciones/pprofesional/Pacasmayo.nsf/xsp\\_detalle.xsp?numeproduc=1#](https://www.pacasmayoprofesional.com/aplicaciones/pprofesional/Pacasmayo.nsf/xsp_detalle.xsp?numeproduc=1#)

**Pasquel Carbajal, E. (1998).** Tópicos de tecnología del concreto en el Perú. 2nd ed. Lima: Colegio de Ingenieros del Perú.

**Perilla, M. (2009).** Manual de laboratorio para la identificación y prueba de susceptibilidad a los antimicrobianos de patógenos bacterianos de importancia para la salud pública en el mundo en desarrollo. (pp. 557-561). Colombia: Editora Médica Colombiana.

**Powers, T. C., (1948)** A Discussion of Cement Hydration in Relation to the Curing of Concrete (Una Discusión sobre la Hidratación del Cemento en Relación al Curado del Concreto), Research Department Bulletin RX025, Portland Cement Association, 14 páginas. Disponible en: [http://www.portcement.org/pdf\\_files/RX025.pdf](http://www.portcement.org/pdf_files/RX025.pdf),

**PradeepKumar.A, Akila Devi, Anestraj.S, Arun.S, Santhoshkumar.A (2015).** An Experimental Work on Concrete by Adding Bacillus Subtilis. International Journal of Emerging Technologies and Engineering (IJETE), Volume 2, 5. Consultado el 4 septiembre, 2017. Disponible en: <http://www.ijete.org/wp-content/uploads/2015/04/140251.pdf>

**Price, Walter H. (1982),** Control of Cracking During Construction. Concrete International: Design and Construction, V. 4, No. 1, January, pp. 40-43. Consultado el 4 septiembre, 2017. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/237226616\\_Prediction\\_of\\_Cracking\\_in\\_Reinforced\\_Concrete\\_Structures](https://www.researchgate.net/publication/237226616_Prediction_of_Cracking_in_Reinforced_Concrete_Structures)

**Pruebas bioquímicas primarias: Tinción de GRAM, prueba de catalasa, prueba de oxidasa, prueba de O/F y motilidad. (2018).** Consultado el 9 septiembre, 2018. Disponible en: <http://microbitosblog.com/2011/09/27/pruebas-bioquimicas-primarias/>

**Ravindranatha Rao, Udaya Kumar, Suhas Vokunnaya, Priyodip Paul, Ioannou Orestis. (2015).** Effect of Bacillus Flexus in Healing Concrete Structures. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (An ISO 3297:

2007 Certified Organization), Vol. 4, 9. Consultado el 9 noviembre, 2018. Disponible en: [http://www.ijirset.com/upload/2015/august/106\\_Effect.pdf](http://www.ijirset.com/upload/2015/august/106_Effect.pdf)

**Reva, Oleg & V Smirnov, Valerie & Pettersson, Bertil & Priest, Fergus. (2002).** *Bacillus endophyticus* sp. nov., isolated from the inner tissues of cotton plants (*Gossypium* sp.). *International journal of systematic and evolutionary microbiology*. 52. 101-7.10.1099/00207713-52-1-101. Consultado el 9 noviembre, 2018. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/11524189\\_Bacillus\\_endophyticus\\_sp\\_nov\\_isolated\\_from\\_the\\_inner\\_tissues\\_of\\_cotton\\_plants\\_Gossypium\\_sp](https://www.researchgate.net/publication/11524189_Bacillus_endophyticus_sp_nov_isolated_from_the_inner_tissues_of_cotton_plants_Gossypium_sp)

**Rivas, R., Mateos, P.F., Martínez-Molina, E. & Velázquez, E. (2005).** *Paenibacillus phyllosphaera* sp. nov., a xylanolytic bacterium isolated from the phyllosphere of *Phoenix dactylifera*. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 55:743 –746. Consultado el 9 marzo, 2018. Disponible en: [http://www.ijirset.com/upload/2015/august/106\\_Effect.pdf](http://www.ijirset.com/upload/2015/august/106_Effect.pdf)

**Rivera López, G. (2002).** *Concreto simple*. Popayán: Universidad del Cauca. Colombia.

**Rodríguez Martínez, R. (2008).** *Análisis de la población bacteriana endófito presente en nódulos de lupinus: interacción y localización in situ*. Doctorado Universidad De Salamanca. Departamento De Microbiología Y Genética. Salamanca – España.

**Sánchez de Guzmán, D. (2001).** *Tecnología del concreto y del mortero*. Santafé de Bogotá, Colombia. Bhandar Editores.

**Salmabanu L. , Suthar G. (2015).** *A Review Paper on Self-Healing Concrete*. *Journal of Civil Engineering Research*, 3, 6. Consultado el 9 noviembre, 2017. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/303172092\\_A\\_review\\_paper\\_on\\_self\\_healing\\_concrete](https://www.researchgate.net/publication/303172092_A_review_paper_on_self_healing_concrete)

**Salamanca Correa, Rodrigo. (2001).** *La Tecnología De Los Morteros*. Bogotá – Colombia: Universidad Militar Nueva Granada.

**Shida, O., Takagi, H., Kadowaki, K., & Komagata, K. (1996).** *Proposal for Two New Genera, Brevibacillus gen. nov. and Aneurinibacillus gen. nov.* *International journal of systematic and evolutionary microbiology*. Volume 46, Issue 4. Consultado el 15 noviembre, 2018. Disponible en: <https://www.microbiologyresearch.org/content/journal/ijsem/10.1099/00207713-46-4-939>

**Simons Citrate Agar | www.imagenesmy.com. (2018).** Consultado el 15 noviembre, 2018. Disponible en: <http://microbiologiabioanalisis.blogspot.com/2012/06/prueba-de-citrato-de-simmons-fundamento.html>

**Soundari. L. S.Anthoniraj, E.Karthikeyan, L. (2015).** An experimental study on strengthening of concrete by using bacterial mineral precipitation. *International Journal of Core Engineering & Management (IJCEM) Volume 2, Issue 9, December 2015*, (Volume 2, Issue 9), pp.1 - 9. Consultado el 15 noviembre, 2018. Disponible en: <http://ijcem.in/wp-content/uploads/2016/01/AN-EXPERIMENTAL-STUDY-ON-STRENGTHENING-OF-CONCRETE-BY-USING-BACTERIAL-MINERAL-PRECIPIATION1.pdf>

**Stark, David. (2002).** Performance of Concrete in Sulfate Environments (Comportamiento del Concreto en Ambientes con Sulfatos), R&D Serial No. 2248, Portland Cement Association. USA.

**Stoica, C. (2018).** www.tgw1916.net. ABIS online - Bacterial identification. [online] Tgw1916.net. Consultado el 02 octubre, 2018. Disponible en: [http://www.tgw1916.net/bacteria\\_logare\\_desktop.html](http://www.tgw1916.net/bacteria_logare_desktop.html)

**Taylor, H. F. W., (1997).** Cement Chemistry (Química del Cemento), Thomas Telford Publishing, London, UK. 477 páginas.

**Tortora, G., Funke, B., & Case, C. (2007).** Introducción a la Microbiología (9th ed.). Buenos Aires - Argentina.: Editorial Médica Panamericana.

**Uca.edu.sv. (2018).** Prueba de revenimiento. Consultado el 07 septiembre, 2018 Disponible en: <http://www.uca.edu.sv/mecanica-estructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoConcretoFresco/REVENIMIENTO.pdf>

**Valenzuela, E. (2003).** Guía Pasos Prácticos Microbiología 112, Edita Instituto de Microbiología, Universidad Austral de Chile, Chile 40 p.

**Vásquez E., M. (2016).** Influencia del fotocatalizador dióxido de titanio en la propiedad autolimpiable del concreto  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ . Maestría. Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca – Perú.

**Vaz-Moreira, I., Faria, C., Nobre, M.F, Schumann, P., Nunes, O.C. & Manaia, C.M.(2007).** *Paenibacillus humicus* sp. nov., isolated from poultry litter compost. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 57:2267-2271. Consultado el 06 septiembre, 2018 Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/5ac8/d8feef59882390779b50627c45525dc45754.pdf>

**Velázquez, E., de Miguel, T., Poza, M., Rivas, R., Rosselló-Mora, R., & Villa, T.G. (2004).** *Paenibacillus favisporus* sp. nov., a xylanolytic bacterium isolated from cow faeces. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 54:59-64. Consultado el 06 septiembre, 2018 Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/90ab/a44bbf7b82e802587f30ff922f5caab07a01.pdf>


**Vieytes, R. (2004).** Metodología de la investigación en organizaciones, mercado y sociedad, epistemología y técnicas. Buenos Aires, Argentina. Editorial de las Ciencias. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/159577695/Vieytes-Rut-Metodologias-de-La-Investigacion-Social-en-Organizaciones-Mercado-y-Sociedad-Cap4>

**Whiting, D. (1989),** “Permeability of Selected Concretes (Permeabilidad de Concretos Seleccionados),” *Permeability of Concrete*, SP108, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, USA. Páginas 195 a 222.

**Winn, W. C.; S. D. Allen; W. M. Janda; E. W. Koneman; G.W. Procop; P. C. Screckenberger y G.L. Woods. (2008).** Koneman. Diagnóstico Microbiológico. Texto y Atlas en color. 6ª ed. Edit. Médica Panamericana S.A. Argentina.

## ANEXOS

### I. Anexo I: Ficha técnica cemento Tipo I Co.

 Pacasmayo Control de Calidad	<h3 style="margin: 0;">ESPECIFICACIÓN TÉCNICA CEMENTO EXTRAFORTE</h3>	G-CC-EST-08 Versión 25 / 03 de setiembre de 2018 Página 1/1
--	---	--

**Descripción:** El Cemento EXTRAFORTE (ICo) es un producto que se obtiene mediante la pulverización conjunta de clinker, yeso, filler calizo, puzolana y/o escoria. El clinker es un mineral artificial y esta compuesto esencialmente de silicatos de calcio producidos a partir de materiales calcáreos y correctores de sílice, alumina y hierro en un proceso efectuado a temperaturas cercanas a los 1450°C. Este tipo de cemento sigue los requisitos de la Norma Técnica Peruana 334,090 y de la ASTM C 595. Es un cemento de uso general, para estructuras que no requieran propiedades especiales.

Ensayos	Requisitos			Normas de Referencia	Normas de Ensayo
<b>REQUERIMIENTOS QUIMICOS</b>					
SO <sub>3</sub>	Máximo	4,0	%	ASTM C595 NTP 334,090	ASTM C114 NTP 334,086
MgO	Máximo	6,0	%	ASTM C595 NTP 334,090	ASTM C114 NTP 334,086
<b>REQUERIMIENTOS FISICOS</b>					
Contenido de Aire	Máximo	12,0	%	ASTM C595 NTP 334,090	ASTM C 185 NTP 334,048
<b>Finura</b>					
a) Superficie Específica	-	-	-	ASTM C595 NTP 334,090	ASTM C204 NTP 334,002
b) Retenido M325	-	-	-	ASTM C595 NTP 334,090	ASTM C430 NTP 334,045
Expansión en autoclave	Máximo	0,80	%	ASTM C595 NTP 334,090	ASTM C151 NTP 334,004
Contracción en autoclave	Máximo	0,20	%	ASTM C595 NTP 334,090	ASTM C 151 NTP 334,004
<b>Resistencia a la Compresión</b>					
a) Resistencia compresión a 1 día (*)	Mínimo	8,3 (1,200)	MPa (psi)	n/a	ASTM C109 NTP 334,051
b) Resistencia compresión a 3 días	Mínimo	13,0 (1,890)	MPa (psi)	ASTM C595 NTP 334,090	ASTM C109 NTP 334,051
c) Resistencia compresión a 7 días	Mínimo	20,0 (2,900)	MPa (psi)	ASTM C595 NTP 334,090	ASTM C109 NTP 334,051
d) Resistencia compresión a 28 días	Mínimo	25,0 (3,630)	MPa (psi)	ASTM C595 NTP 334,090	ASTM C109 NTP 334,051
<b>Tiempo de Fraguado Vicat</b>					
a) Fraguado Inicial	Mínimo	45	minutos	ASTM C595 NTP 334,090	ASTM C191 NTP 334,006
b) Fraguado Final	Máximo	420	minutos	ASTM C595 NTP 334,090	ASTM C191 NTP 334,006
<b>REQUERIMIENTOS DE PESOS NETOS</b>					
Peso unitario (Neto)	Mínimo	41,65	kg	ASTM C595 NTP 334,090	n/a
Peso promedio por lotes ≥ 50 bolsas (Neto)	Mínimo	42,50	kg	ASTM C595 NTP 334,090	n/a

<b>Generado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
Ing. Victor Milla Analista de Aseguramiento de la Calidad	Ing. Gabriel Mansilla Superintendente de Aseguramiento de la Calidad e Investigación y Desarrollo	Ing. Hugo Villanueva Castillo Gerente Central de Operaciones

(\*) Requisito interno impuesto por la compañía.

*Tabla 28: Ficha técnica cemento Tipo I Co. (Cementos Pacasmayo, 2018)*

## II. Anexo II: Propiedades de los agregados.

### 2.1. AGREGADO FINO.

#### 2.1.1. Granulometría

#### Módulo de finura y análisis granulométrico.

**TESIS** : “Influencia de la incorporación del aditivo bacteriano en la reparación del proceso de fisuración controlada del concreto”

**MATERIAL** : Agregado Fino

**PROCEDENCIA** : Cantera "La Victoria" km 1+800 Carretera Cajamarca – Jesús

**NORMAS** : NTP. 400.012, NTP 400.037/ ASTM C136, ASTM C 33

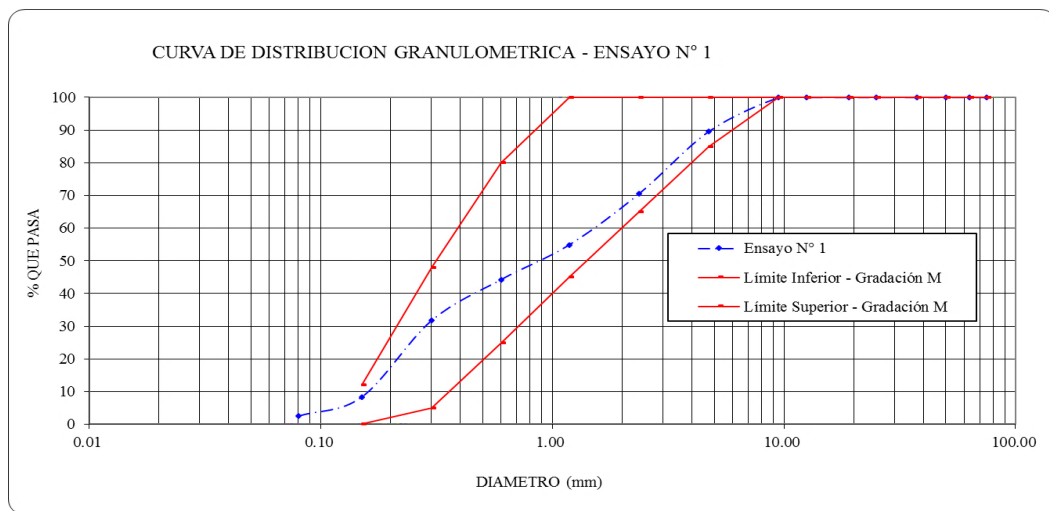
**FECHA** : Octubre 2018

**ENSAYO** : N°01

**PESO SECO INICIAL**: 1500g

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO (ENSAYO N° 01)									
TAMIZ		PESO TAMI Z (g)	PESO RETENIDO + TAMIZ (g)	PESO RETENIDO (g)	% DE PESO RETENIDO		% QUE PASA	REQUISITO GRANULOMÉTRICO "M" (%)	
(pulg./N°)	Ø(mm)				PARCIAL	ACUMULADO			
3/8 "	9.5	470.00	470.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
N° 4	4.75	480.00	635.00	155.00	10.33	10.33	89.67	89.00	100.00
N° 8	2.36	372.00	660.00	288.00	19.20	29.53	70.47	65.00	100.00
N° 16	1.18	676.00	910.00	234.00	15.60	45.13	54.87	45.00	100.00
N° 30	0.6	454.00	613.00	159.00	10.60	55.73	44.27	25.00	80.00
N° 50	0.3	380.00	569.00	189.00	12.60	68.33	31.67	5.00	48.00
N° 100	0.15	318.00	669.00	351.00	23.40	91.73	8.27	0.00	12.00
N° 200	0.075	300.00	387.00	87.00	5.80	97.53	2.47	-	-
CAZOLET A	-	322.00	359.00	37.00	2.47	100.00	0.00	-	-
<b>SUMATORIA</b>				1500.00	100.00	<b>Módulo de Finura (MF) =</b>	<b>3.008</b>		

Tabla 29: Análisis granulométrico del agregado fino (ensayo n° 01).



<b>D60 =</b>	1.568	<b>D30 =</b>	0.289	<b>D10 =</b>	0.161
<b>Cu =</b>	9.73	<b>Cc =</b>	0.33		

Gráfico 20: Curva de distribución granulométrica. Agregado fino (ensayo n° 01).

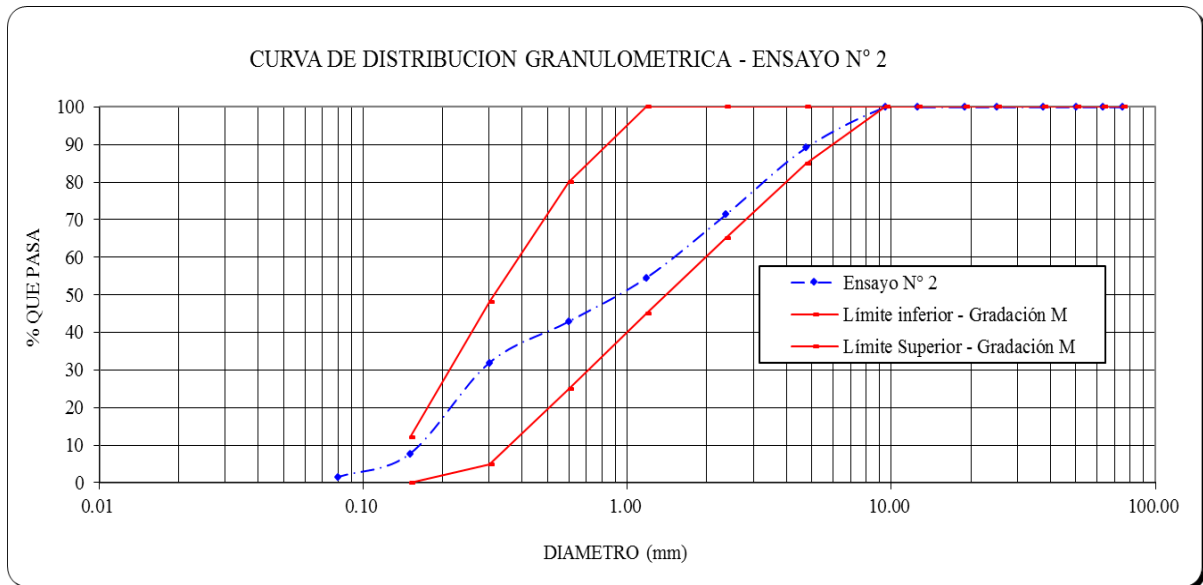
**OBSERVACIONES:** La curva de distribución granulométrica cumple con el huso granulométrico " M " y su módulo de finura es 3.008



ENSAYO : N°02  
 PESO SECO INICIAL: 1500g

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO (ENSAYO N° 02)									
TAMIZ		PESO TAMIZ (g)	PESO RETENIDO + TAMIZ (g)	PESO RETENIDO	% DE PESO RETENIDO		% QUE PASA	REQUISITO GRANULOMÉTRICO "M" (%)	
(pulg./N°)	Ø(mm)				PARCIAL	ACUMULADO			
3/8 "	9.5	470.00	470.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
N° 4	4.75	480.00	642.00	162.00	10.80	10.80	89.20	89.00	100.00
N° 8	2.36	372.00	639.00	267.00	17.80	28.60	71.40	65.00	100.00
N° 16	1.18	676.00	928.00	252.00	16.80	45.40	54.60	45.00	100.00
N° 30	0.6	454.00	628.00	174.00	11.60	57.00	43.00	25.00	80.00
N° 50	0.3	380.00	545.00	165.00	11.00	68.00	32.00	5.00	48.00
N° 100	0.15	318.00	681.00	363.00	24.20	92.20	7.80	0.00	12.00
N° 200	0.075	300.00	393.00	93.00	6.20	98.40	1.60	-	-
CAZOLETA	-	322.00	346.00	24.00	1.60	100.00	0.00	-	-
<b>SUMATORIA</b>				1500.00	100.00	<b>Módulo de Finura (MF) =</b>	<b>3.020</b>		

Tabla 30: Análisis granulométrico del agregado fino (ensayo n° 02).



<b>D60 =</b>	1.559	<b>D30 =</b>	0.288	<b>D10 =</b>	0.164
<b>Cu =</b>	9.53	<b>Cc =</b>	0.32		

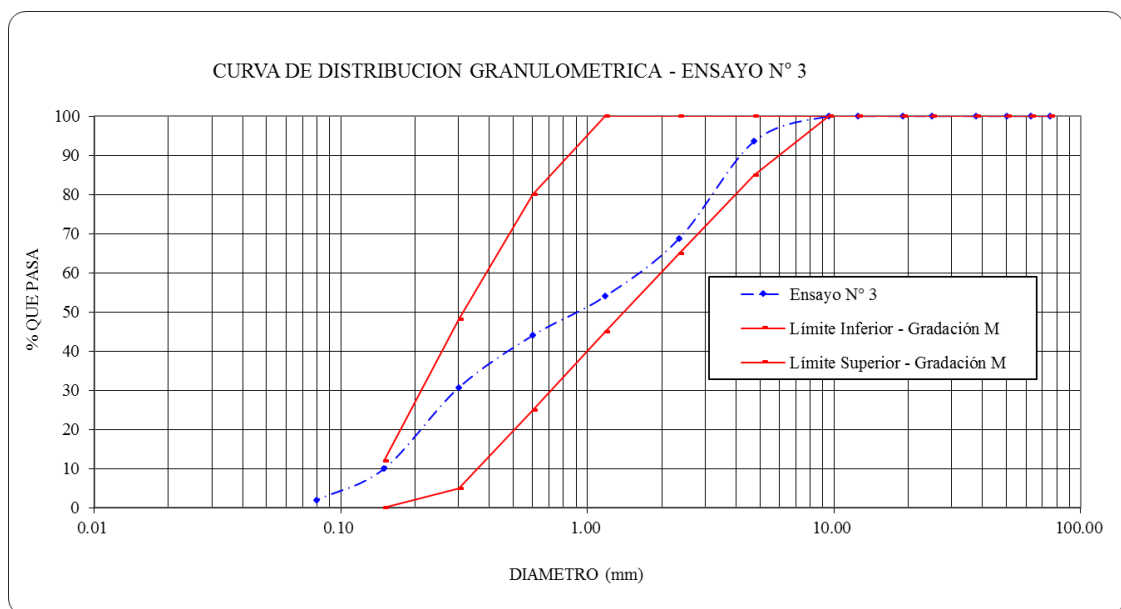
Gráfico 21: Curva de distribución granulométrica. (ensayo n° 02).

**OBSERVACIONES:** La curva de distribución granulométrica cumple con el huso granulométrico " M " y su módulo de finura es 3.020.

ENSAYO : N°03  
 PESO SECO INICIAL: 1500g

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO ( ENSAYO N° 03 )									
TAMIZ		PESO TAMIZ (g)	PESO RETENIDO + TAMIZ(g)	PESO RETENIDO	% DE PESO RETENIDO		% QUE PASA	REQUISITO GRANULOMÉTRICO "M" (%)	
(pulg./N°)	Ø (mm)				PARCIAL	ACUMULADO			
3/8 "	9.5	470.00	470.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
N° 4	4.75	480.00	576.00	96.00	6.40	6.40	93.60	89.00	100.00
N° 8	2.36	372.00	744.00	372.00	24.80	31.20	68.80	65.00	100.00
N° 16	1.18	676.00	898.00	222.00	14.80	46.00	54.00	45.00	100.00
N° 30	0.6	454.00	604.00	150.00	10.00	56.00	44.00	25.00	80.00
N° 50	0.3	380.00	581.00	201.00	13.40	69.40	30.60	5.00	48.00
N° 100	0.15	318.00	627.00	309.00	20.60	90.00	10.00	0.00	12.00
N° 200	0.075	300.00	420.00	120.00	8.00	98.00	2.00	-	-
CAZOLETA	-	322.00	352.00	30.00	2.00	100.00	0.00	-	-
<b>SUMATORIA</b>				1500.00	100.00	<b>Modulo de Finura (MF) =</b>	<b>2.990</b>		

Tabla 31: Análisis granulométrico del agregado fino (ensayo n° 03).



<b>D60 =</b>	1.658	<b>D30 =</b>	0.296	<b>D10 =</b>	0.150
<b>Cu =</b>	11.06	<b>Cc =</b>	0.35		

Gráfico 22: Curva de distribución granulométrica. (ensayo N° 02).

**OBSERVACIONES:** La curva de distribución granulométrica cumple con el huso granulométrico " M " y su módulo de finura es 2.990.

✓ **EL MF Promedio del Agregado Fino es de: 3.006**

## 2.1.2. Peso Unitario

### a. Cálculo del factor f.

<b>PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO</b>		
<b>ASTM C 29, NTP 400.017</b>		
<b>CALCULO DEL PESO ESPECÍFICO DEL AGUA</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Peso de fiola + agua	(gr)	642.00
Peso de fiola	(gr)	144.00
Peso de agua	(gr)	498.00
Volumen fiola	(cm3)	500.00
Peso específico=W/V	(gr/cm3)	0.9960
<b>Peso específico del agua</b>	<b>(kg/m3)</b>	<b>996.00</b>
<b>CALCULO DEL FACTOR f</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Peso específico del agua	(kg/m3)	996.00
Peso del Molde + Placa	(kg)	4.760
Peso del Molde + placa + Agua	(kg)	7.700
Peso del agua en el molde	(kg)	2.940
<b>Factor f</b>	<b>(lt/m3)</b>	<b>338.776</b>

Tabla 32: Calculo del peso específico del agua (Agregado fino).

**b. Peso unitario seco suelto.**

<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>ENSAYOS</b>		
		<b>1°</b>	<b>2°</b>	<b>3°</b>
Peso del recipiente	(kg)	3.89	3.89	3.89
Peso del recipiente + muestra	(kg)	8.95	8.97	8.93
Peso de muestra	(kg)	5.06	5.08	5.04
Factor f	(lt/m <sup>3</sup> )	338.78	338.78	338.78
Peso Unitario Seco Suelto	(kg/m <sup>3</sup> )	1714.20	1720.98	1707.43
<b>PESO UNITARIO SECO SUELTO PROMEDIO</b>	<b>(kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1714.20</b>		

Tabla 33: Peso unitario suelto (Agregado fino).

**c. Peso unitario seco compactado.**

<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>ENSAYOS</b>		
		<b>1°</b>	<b>2°</b>	<b>3°</b>
Peso del recipiente	(kg)	3.89	3.89	3.89
Peso del recipiente + muestra	(kg)	9.19	9.24	9.15
Peso de muestra	(kg)	5.30	5.35	5.26
Factor f	(lt/m <sup>3</sup> )	338.78	338.78	338.78
Peso Unitario Seco Compactado	(kg/m <sup>3</sup> )	1795.17	1810.76	1781.28
<b>PESO UNITARIO SECO COMPACTADO PROMEDIO</b>	<b>(kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1795.74</b>		

Tabla 34: Peso unitario seco compactado. (Agregado fino).

### 2.1.3. Contenido de humedad

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ENSAYO N°		
		1°	2°	3°
Peso tara	(g)	127.00	129.00	128.00
Peso tara + muestra húmeda	(g)	1632.00	1586.00	1549.00
Peso tara + muestra seca	(g)	1591.00	1544.00	1510.00
Contenido de humedad	(%)	<b>2.80%</b>	<b>2.97%</b>	<b>2.82%</b>
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO</b>	<b>(%)</b>	<b>2.86%</b>		

Tabla 35: Contenido de humedad. (Agregado fino).

### 2.1.4. Peso específico y absorción del agregado fino.

DESCRIPCION	UNIDAD	ENSAYO N°			PROMEDIO
		1	2	3	
Peso de la fiola	(g)	144	144	144	
Peso de tara	(g)	71	75	72	
Peso de tara + muestra seca al horno	(g)	564.85	568.88	565.91	
W <sub>0</sub> : peso muestra seca al horno	(g)	493.85	493.88	493.91	
Peso muestra saturada superficialmente seca	(g)	500	500	500	
Peso picnómetro + agua hasta calibrar	(g)	659.07	659.07	659.07	
Peso picnómetro + agua + muestra	(g)	970.16	969.17	970.02	
Va: Volumen de agua añadida al frasco	(cm <sup>3</sup> )	308.5	311.1	309.4	
V: Volumen de la fiola	(cm <sup>3</sup> )	500	500	500	
<b>PESO ESPECIFICO APARENTE</b>	<b>(kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>2664.4</b>	<b>2702.0</b>	<b>2676.9</b>	
<b>PESO ESPECIFICO APARENTE SSS</b>	<b>(kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>2611.0</b>	<b>2646.9</b>	<b>2623.3</b>	<b>2627.05</b>
<b>PESO ESPECIFICO DE MASA</b>	<b>(kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>2578.9</b>	<b>2614.5</b>	<b>2591.3</b>	<b>2594.90</b>
<b>ABSORCION</b>	<b>(%)</b>	<b>1.25</b>	<b>1.24</b>	<b>1.23</b>	<b>1.24</b>

Tabla 36: Peso específico y absorción del agregado fino.

### 2.1.5. Materiales que pasan el tamiz N°200 del agregado fino

DESCRIPCION	UNIDAD	ENSAYO N°		
		1	2	3
PESO DE TARA	(g)	71	75	72
PESO DE TARA + MUESTRA SECA SIN LAVAR	(g)	570	582	575
PESO DE TARA + MUESTRA SECA LAVADA	(g)	555	566.3	560
PORCENTAJE DE FINOS QUE PASAN EL TAMIZ N° 200	(g)	3.01	3.10	2.98
<b>PORCENTAJE PROMEDIO DE FINOS QUE PASAN EL TAMIZ N° 200</b>	<b>(%)</b>	<b>3.03</b>		

Tabla 37: Materiales que pasan el tamiz N° 200 del agregado fino.

## 2.1.6. Tabla resumen. Propiedades del agregado fino

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	VALOR
1	MODULO DE FINURA (MF)	-	3.006
2	PESO UNITARIO SECO SUELTO	(kg/m3)	1714.2
3	PESO UNITARIO SECO SUELTO COMPACTADO	(kg/m3)	1795.74
4	CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	2.86
5	PESO ESPECIFICO DE MASA	(kg/m3)	2594.9
6	PESO ESPECIFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO	(kg/m3)	2627.05
7	PESO ESPECIFICO APARENTE	(kg/m3)	2681.11
8	ABSORCIÓN	(%)	1.24
9	PORCENTJAE DE FINOS QUE PASAN EL TAMIZ N°200	(%)	3.03

Tabla 38: Tabla resumen. Propiedades del agregado fino.

## 2.2. AGREGADO GRUESO.

### 2.2.1. Granulometría

#### Módulo de finura y análisis granulométrico.

<b>TESIS</b>	: “Influencia de la incorporación del aditivo bacteriano en la reparación del proceso de fisuración controlada del concreto”
<b>MATERIAL</b>	: Agregado Grueso
<b>PROCEDENCIA</b>	: Cantera "La Victoria" km 1+800 Carretera Cajamarca – Jesús
<b>NORMAS</b>	: NTP. 400.012, NTP 400.037/ ASTM C136, ASTM C 33
<b>FECHA</b>	: Octubre 2018
<b>ENSAYO</b>	: N°01
<b>PESO SECO INICIAL:</b>	7000g

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO (ENSAYO N° 01)										
TAMIZ		PESO TAMIZ (g)	PESO RETENIDO + TAMIZ(g)	PESO RETENIDO (g)	% DE PESO RETENIDO		% QUE PASA	REQUISITO GRANULOMÉTRICO "M" (%)		
(pulgadas/N°)	Ø (mm)				PARCIAL	ACUMULADO				
	2 "	50.0	680.00	680.00	0.00	0.00	100.00	-	-	
	11/2 "	37.50	550.00	550.00	0.00	0.00	100.00	-	-	
	1 "	25.00	460.00	460.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00	
TM	3/4 "	19.00	538.00	538.00	0.00	0.00	100.00	90.00	100.00	
TMN	1/2 "	12.5	512.00	4328.00	3816.00	54.51	54.51	45.49	45.00	70.00
	3/8 "	9.5	770.00	2463.00	1693.00	24.19	78.70	21.30	20.00	55.00
	N° 4	4.8	480.00	1901.00	1421.00	20.30	99.00	1.00	0.00	10.00
	N° 8	2.36	372.00	426.00	54.00	0.77	99.77	0.23	0.00	5.00
	N° 200	0.075	300.00	302.00	2.00	0.03	99.80	0.20	-	-
	CAZOLETA	-	322.00	336.00	14.00	0.20	100.00	0.00	-	-
<b>SUMATORIA</b>					7000.00	100.00	<b>(MF) =</b>	<b>6.775</b>		

Tabla 39: Análisis granulométrico del agregado grueso (ensayo n° 01).

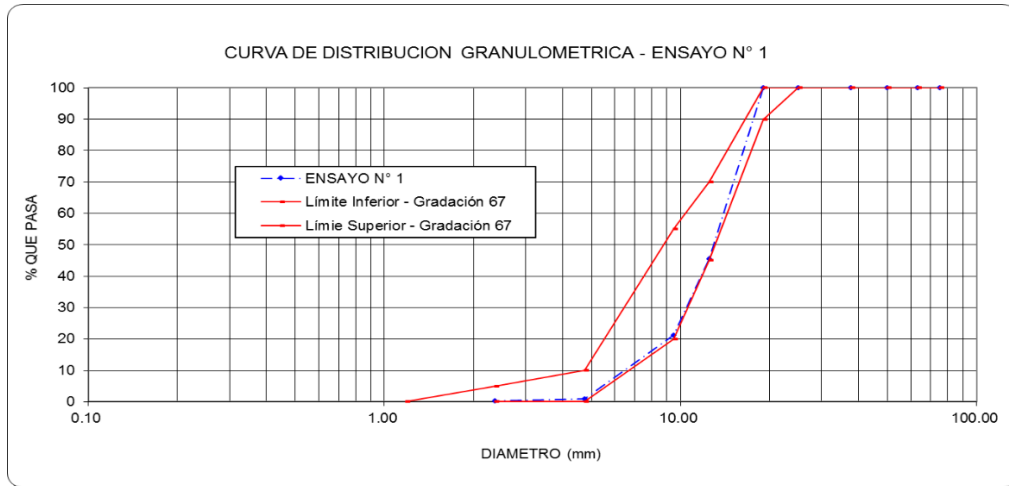


Gráfico 23: Curva de distribución granulométrica del agregado grueso (ensayo n° 01).

**ENSAYO : N°02. PESO SECO INICIAL: 7000g**

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO (ENSAYO N° 02)										
TAMIZ		PESO TAMIZ (g)	PESO RETENIDO + TAMIZ (g)	PESO RETENIDO (g)	% DE PESO RETENIDO		% QUE PASA	REQUISITO GRANULOMÉTRICO "M" (%)		
(pulgadas/N°)	Ø(mm)				PARCIAL	ACUMULADO				
	2 "	50.0	680.00	680.00	0.00	0.00	100.00	-	-	
	1 1/2 "	37.50	550.00	550.00	0.00	0.00	100.00	-	-	
	1 "	25.00	460.00	460.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00	
TM	3/4 "	19.00	538.00	538.00	0.00	0.00	100.00	90.00	100.00	
TMN	1/2 "	12.5	512.00	4212.30	3700.30	52.86	52.86	47.14	45.00	70.00
	3/8 "	9.5	770.00	2339.20	1569.20	22.42	75.28	24.72	20.00	55.00
	N° 4	4.8	480.00	2156.30	1676.30	23.95	99.23	0.77	0.00	10.00
	N° 8	2.36	372.00	396.00	24.00	0.34	99.57	0.43	0.00	5.00
	N° 200	0.075	300.00	322.20	22.20	0.32	99.89	0.11	-	-
	CAZOLETA	-	322.00	330.00	8.00	0.11	100.00	0.00	-	-
<b>SUMATORIA</b>				7000.00	100.00	(MF) =	<b>6.741</b>			

Tabla 40: Análisis granulométrico del agregado grueso (ensayo n° 02).

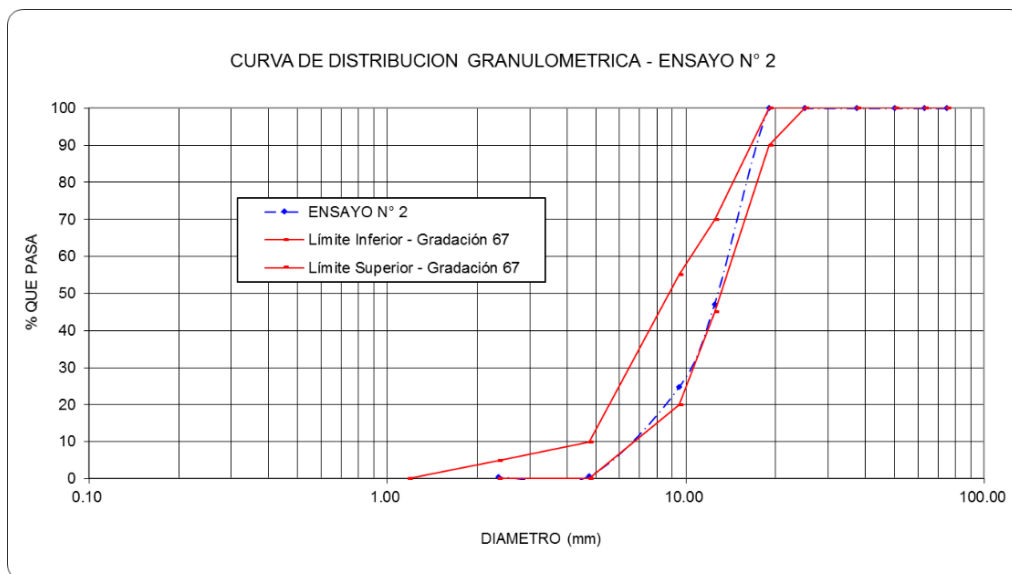


Gráfico 24: Curva de distribución granulométrica del agregado grueso (ensayo n° 02).

ENSAYO : N°03  
 PESO SECO INICIAL: 7000g

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO (ENSAYO N° 03)									
TAMIZ		PESO TAMIZ (g)	PESO RETENIDO + TAMIZ(g)	PESO RETENIDO (g)	% DE PESO RETENIDO		% QUE PASA	REQUISITO GRANULOMÉTRICO "M" (%)	
(pulgadas/N°)	Ø(mm)				PARCIAL	ACUMULADO			
	2 "	680.00	680.00	0.00	0.00	0.00	100.00	-	-
	1 1/2 "	550.00	550.00	0.00	0.00	0.00	100.00	-	-
	1 "	460.00	460.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
TM	3/4 "	538.00	538.00	0.00	0.00	0.00	100.00	90.00	100.00
TMN	1/2 "	512.00	4313.60	3801.60	54.31	54.31	45.69	45.00	70.00
	3/8 "	770.00	2417.90	1647.90	23.54	77.85	22.15	20.00	55.00
	N° 4	480.00	1962.30	1482.30	21.18	99.03	0.97	0.00	10.00
	N° 8	372.00	397.70	25.70	0.37	99.39	0.61	0.00	5.00
	N° 200	300.00	333.00	33.00	0.47	99.86	0.14	-	-
	CAZOLETA	322.00	331.50	9.50	0.14	100.00	0.00	-	-
SUMATORIA				7000.00	100.00	(MF) =	6.763		

Tabla 41: Análisis granulométrico del agregado grueso (ensayo N° 03).

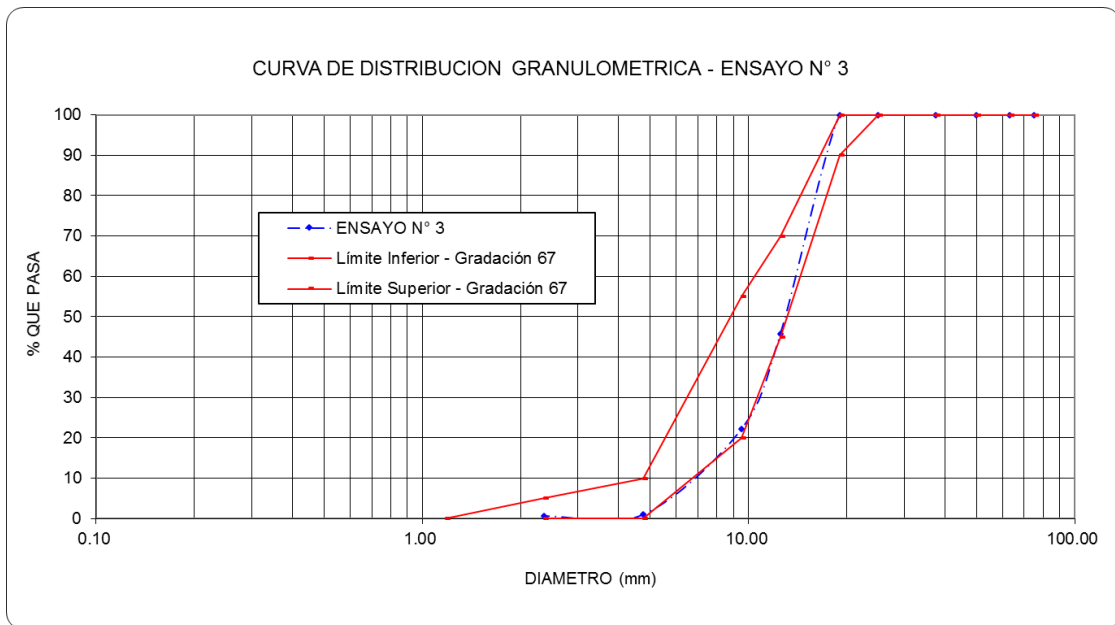


Gráfico 25: Curva de distribución granulométrica del agregado grueso (ensayo N° 03).

✓ El Módulo de Finura (MF) promedio del Agregado Grueso es de: 6.759

### 2.2.2. Peso Unitario

✓ Peso unitario del agregado grueso. (ASTM C 29, NTP 400.017)

#### a. Cálculo del factor f.

CALCULO DEL PESO ESPECÍFICO DEL AGUA		
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR
Peso de fiola + agua	(gr)	642.00
Peso de fiola	(gr)	144.00
Peso de agua	(gr)	498.00
Volumen fiola	(cm <sup>3</sup> )	500.00
Peso específico del agua = W/V	(gr/cm <sup>3</sup> )	0.9960
<b>PESO ESPECÍFICO DEL AGUA</b>	<b>(kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>996.00</b>
CALCULO DEL FACTOR F		
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR
Peso del Molde + placa	(kg)	4.760
Peso del Molde + placa + Agua	(kg)	14.560
Peso Agua en el Molde	(kg)	9.800
<b>FACTOR F PARA EL RECIPIENTE</b>	<b>(l/m<sup>3</sup>)</b>	<b>101.633</b>

Tabla 42: Calculo del peso específico del agua (Agregado grueso).

**b. Peso unitario seco suelto.**

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	ENSAYO N°		
		1	2	3
Peso del molde	(kg)	4.20	4.20	4.20
Peso del molde + muestra suelta	(kg)	19.10	19.32	19.25
Peso de muestra	(kg)	14.90	15.12	15.05
Factor f	(l/m <sup>3</sup> )	101.63	101.63	101.63
Peso Unitario Seco Suelto	(kg/m <sup>3</sup> )	1514.33	1536.69	1529.57
<b>PESO UNITARIO SECO SUELTO PROMEDIO</b>	<b>(kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1526.86</b>		

Tabla 43: Peso unitario seco suelto (Agregado grueso).

**c. Peso unitario seco compactado.**

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	ENSAYO N°		
		1°	2°	3°
Peso del recipiente	(kg)	4.20	4.20	4.20
Peso del recipiente + muestra	(kg)	20.45	20.98	21.30
Peso de muestra	(kg)	16.25	16.78	17.10
Factor f	(l/m <sup>3</sup> )	101.63	101.63	101.63
Peso Unitario Seco Compactado	(kg/m <sup>3</sup> )	1651.53	1705.40	1737.92
<b>PESO UNITARIO COMPACTADO PROMEDIO</b>	<b>(kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1698.28</b>		

Tabla 44: Peso unitario seco compactado (Agregado grueso).

**2.2.3. Contenido de humedad**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ENSAYO		
		1°	2°	3°
Peso tara	(g)	152	155	147
Peso tara + muestra húmeda	(g)	1258	1352	1270
Peso tara + muestra seca	(g)	1253	1347	1265
Contenido de humedad	(%)	0.454	0.419	0.447
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO</b>	<b>(%)</b>	<b>0.440%</b>		

Tabla 45: Contenido de humedad. (Agregado fino).



## 2.2.4. Peso específico y absorción del agregado grueso.

DESCRIPCION	UNIDAD	ENSAYO N°			PROMEDIO
		1	2	3	
Peso de tara	(gr)	776	776	776	
Peso de tara + muestra seca al horno	(gr)	6002	5980	6046	
A: Peso muestra seca al horno	(gr)	5226	5204	5270	
B: Peso muestra saturada superficialmente seca	(gr)	5286	5260	5330	
Peso aparente de la canastilla	(gr)	2436	2436	2436	
Peso aparente de la canastilla + muestra SSS	(gr)	5810	5783	5798	
C: peso aparente de la muestra sumergida	(gr)	3374	3347	3362	
<b>PESO ESPECIFICO APARENTE</b>	(kg/m3)	<b>2821.81</b>	<b>2802.37</b>	<b>2762.05</b>	
<b>PESO ESPECIFICO APARENTE SSS</b>	(kg/m3)	<b>2764.64</b>	<b>2749.61</b>	<b>2708.33</b>	<b>2740.86</b>
<b>PESO ESPECIFICO DE MASA</b>	(kg/m3)	<b>2733.26</b>	<b>2720.33</b>	<b>2677.85</b>	<b>2710.48</b>
<b>ABSORCION</b>	(%)	<b>1.15</b>	<b>1.08</b>	<b>1.14</b>	<b>1.12</b>

Tabla 46: Peso específico y absorción del agregado grueso.

## 2.2.5. Materiales finos que pasan el tamiz N°200 del agregado grueso.

DESCRIPCION	UNIDAD	ENSAYO N°		
		1	2	3
Peso de tara	(gr)	182	175	196
Peso de tara + Muestra seca sin lavar	(gr)	2800	2886	2760
Peso de tara + Muestra seca lavada	(gr)	2786	2875	2746
Porcentaje de finos que pasan el tamiz N°200	(%)	0.535	0.406	0.546
<b>% DE FINOS QUE PASAN EL TAMIZ N°200 PROMEDIO</b>	<b>(%)</b>	<b>0.496</b>		

Tabla 47: Materiales finos que pasan el tamiz N°200 del agregado grueso.

## 2.2.6. Tabla resumen. Propiedades del agregado grueso

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	VALOR
1	PERFIL DEL AGREGADO	-	ANGULAR
2	TAMAÑO MAXIMO	-	3/4 "
3	TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	-	1/2 "
4	MODULO DE FINURA DE AG. (MF)	-	6.759
5	PESO UNITARIO SECO SUELTO	(kg/m3)	1526.86
6	PESO UNITARIO SECO COMPACTADO	(kg/m3)	1698.28
7	CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	0.44
8	PESO ESPECIFICO DE MASA	(kg/m3)	2710.48
9	PESO ESPECIFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO	(kg/m3)	2740.86
10	PESO ESPECIFICO APARENTE	(kg/m3)	2795.41
11	ABSORCION	(%)	1.12
12	PORCENTAJE DE FINO QUE PASAN EL TAMIZ N° 200	(%)	0.496

Tabla 48: Tabla resumen. Propiedades del agregado fino.

### 2.3. Panel fotográfico de obtención y análisis de los agregados.



Figura 104: Absorción del agregado grueso.



Figura 105: Peso específico del agregado grueso.

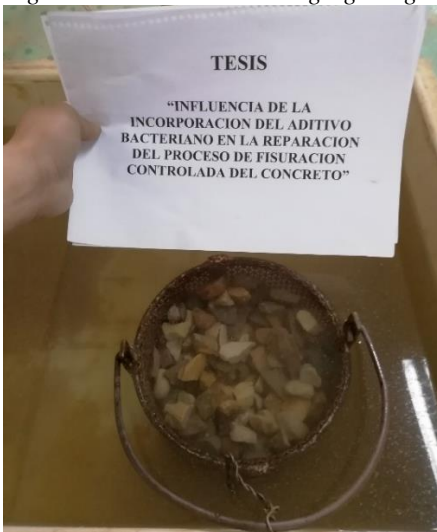


Figura 106: Agregado sumergido para determinar peso específico aparente



Figura 107: Determinación del agregado fino en la condición de las SSS.



Figura 108: Peso unitario del agregado fino.



Figura 109: Análisis granulométrico.

### III. Anexo III: Diseño de Mezcla.

#### 3.1. Diseños de mezcla de concreto

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO (SIN ADITIVO BACTERIANO)			
<b>1. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO</b>			
Para el presente diseño se utilizara el Metodo del modulo de fineza de la combinacion de los agregados.			
<b>2. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO</b>			
* Resistencia de diseño requerida	$f'c =$	250	(kg/cm <sup>2</sup> )
* Consistencia de la mezcla PLÁSTICA → Slump =		3" - 4"	
NOTA: El diseño solamente se realizo por resistencia			
<b>3. MATERIALES</b>			
<b>A. CEMENTO :</b>			
Cemento Portland TIPO I Co	Densidad =	2.96	g/ml
		2960	Kg/m <sup>3</sup>
<b>B. AGUA :</b>			
Se utilizo agua del campus universitario, la misma que cumple con la Norma E. 060			
<b>C. AGREGADOS :</b>			
<b>C.1. AGREGADO FINO</b>			
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	VALOR
1	MODULO DE FINURA (MF)	-	3.006
2	PESO UNITARIO SECO SUELTO	(kg/m <sup>3</sup> )	1714.2
3	PESO UNITARIO SECO SUELTO COMPACTADO	(kg/m <sup>3</sup> )	1795.74
4	CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	2.86
5	PESO ESPECIFICO DE MASA	(kg/m <sup>3</sup> )	2594.9
6	PESO ESPECIFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO	(kg/m <sup>3</sup> )	2627.05
7	PESO ESPECIFICO APARENTE	(kg/m <sup>3</sup> )	2681.11
8	ABSORCIÓN	(%)	1.24
9	PORCENTAJE DE FINOS QUE PASAN EL TAMIZ N° 200	(%)	3.03
10	% VACIOS ESTADO SUELTO	(%)	33.67
11	% VACIOS ESTADO COMPACTADO	(%)	30.52
<b>C.2. AGREGADO GRUESO</b>			
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	VALOR
1	PERFIL DEL AGREGADO	-	ANGULAR
2	TAMAÑO MAXIMO	-	3/4 "
3	TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	-	1/2 "
4	MODULO DE FINURA DE AG. (MF)	-	6.759
5	PESO UNITARIO SECO SUELTO	(kg/m <sup>3</sup> )	1526.86
6	PESO UNITARIO SECO COMPACTADO	(kg/m <sup>3</sup> )	1698.28
7	CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	0.44
8	PESO ESPECIFICO DE MASA	(kg/m <sup>3</sup> )	2710.48
9	PESO ESPECIFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO	(kg/m <sup>3</sup> )	2740.86
10	PESO ESPECIFICO APARENTE	(kg/m <sup>3</sup> )	2795.41
11	ABSORCION	(%)	1.12
12	PORCENTAJE DE FINO QUE PASAN EL TAMIZ N° 200	(%)	0.496
13	% VACIOS ESTADO SUELTO	(%)	43.44
14	% VACIOS ESTADO COMPACTADO	(%)	37.09
<b>4. DETERMINACION DE LA RESISTENCIA PROMEDIO</b>			
	$f'cr =$	287.52	(kg/cm <sup>2</sup> )
<b>5. SELECCIÓN DEL TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO</b>			
	TMN	1/2 "	
<b>6. SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO</b>			
	Consistencia PLASTICA	3" - 4"	
<b>7. VOLUMEN UNITARIO DE AGUA</b>			
		216	lts/m <sup>3</sup>
<b>8. SELECCIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE</b>			
	Contenido de Aire =	2.5	%
<b>9. RELACION AGUA/CEMENTO</b>			
		$f'cr$	Relación a/c
	LIMITE INFERIOR	250	0.62
	LIMITE SUPERIOR	300	0.55
	VALOR DEL DISEÑO	287.52	0.57
	→	a/c =	0.57

<b>10. FACTOR CEMENTO</b>				
	FACTOR CEMENTO =	380.64	Kg/m3	
	FACTOR CEMENTO =	8.96	bl/m3	
<b>11. CALCULO DEL VOLUMEN DE PASTA</b>				
	CEMENTO =	0.129	m3	
	AGUA =	0.216	m3	
	AIRE =	0.0025	m3	
	VOLÚMEN ABSOLUTO DE PASTA =	0.347	m3	
<b>12. VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO</b>				
	VOLÚMEN ABSOLUTO DE AGREGADO =	0.653	m3	
<b>13. CALCULO DEL MODULO DE FINURA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS</b>				
	mc (tabla)=	4.69	para 9 bolsas	
<b>14. CÁLCULO DEL VALOR DE " rf "</b>				
	rf =	55.13	%	
	rg =	44.87	%	
<b>15. CÁLCULO DE LOS VOLUMENES ABSOLUTOS DEL AGREGADO</b>				
	Vol. Absoluto A.F. =	0.36	m3	
	Vol. Absoluto A.G. =	0.29	m3	
<b>16. PESOS SECOS DE LOS AGREGADOS</b>				
	Agregado Fino =	934.01	Kg/m3	
	Agregado Grueso =	794.07	Kg/m3	
<b>17. VALORES DE DISEÑO</b>				
	CEMENTO =	380.64	Kg/m3	
	AGUA DE DISEÑO =	216	l/m3	
	AGREGADO FINO SECO =	934.01	Kg/m3	
	AGREGADO GRUESO SECO =	794.07	Kg/m3	
<b>18. CORRECCIÓN POR HUMEDAD</b>				
	AGREGADO FINO =	960.73	Kg/m3	
	AGREGADO GRUESO =	797.57	Kg/m3	
<b>19. AGUA EFECTIVA</b>				
	HUMEDAD SUPERFICIAL AF=	1.62	%	
	HUMEDAD SUPERFICIAL AG=	-0.68	%	
	APOORTE DE HUMEDAD :			
	Agregado Fino =	15.13	l/m3	
	Agregado Grueso =	-5.40	l/m3	
		9.73	l/m3	
	Agua Efectiva =	206.27	l/m3	
<b>20. MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD</b>				
	CEMENTO =	380.64	Kg/m3	
	AGUA DE DISEÑO =	206.27	l/m3	
	AGREGADO FINO HÚMEDO =	960.73	Kg/m3	
	AGREGADO GRUESO HÚMEDO =	797.57	Kg/m3	
<b>21. PROPORCION EN PESO :</b>				
		380.64	934.01	794.07
SIN CORREGIR	<b>1.00</b>	<b>2.45</b>	<b>2.09</b>	<b>24.12</b> lb/bol
CORREGIDAS	380.64	960.73	797.57	206.27
	<b>1.00</b>	<b>2.52</b>	<b>2.10</b>	<b>23.03</b> lb/bol
<b>22. PESOS POR TANDA DE UNA BOLSA :</b>				
	RELACION AGUA-CEMENTO DE DISEÑO =	0.57		
	RELACION AGUA-CEMENTO EFECTIVA =	0.54		
	* CANTIDADES DE MATERIALES POR TANDA DE UN SACO :			
	CEMENTO =	42.50	kg/bolsa	
	AGUA EFECTIVA=	23.03	l/bolsa	
	AGREGADO FINO HÚMEDO =	107.27	kg/bolsa	
	AGREGADO GRUESO HÚMEDO =	89.05	kg/bolsa	
<b>23. PROPORCION EN VOLÚMEN :</b>				
	PESOS UNITARIOS HUMEDOS DEL AGREGADO			
	AGREGADO FINO HÚMEDO =	1763.23	Kg/m3	
	AGREGADO GRUESO HÚMEDO =	1533.58	Kg/m3	
	PESO POR PIE CÚBICO DEL AGREGADO			
	A. FINO HÚMEDO =	49.92	Kg/pie3	
	A. GRUESO HÚMEDO =	43.42	Kg/pie3	
	BOLSA DE CEMENTO =	42.50	Kg/pie3	
	<b>DOSIFICACIÓN EN VOLÚMEN</b>			
	<b>1</b>	<b>2.15</b>	<b>2.05</b>	<b>23.03</b> lb/bol

**DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO  
(CON ADITIVO BACTERIANO)**

**1. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO**

Para el presente diseño se utilizara el Metodo del modulo de fineza de la combinacion de los agregados.

**2. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO**

\* Resistencia de diseño requerida  
 $f'c = 250 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$

\* Consistencia de la mezcla  
PLÁSTICA  
→ Slump = 3" - 4"

NOTA: El diseño solamente se realizo por resistencia

**3. MATERIALES**

**A. CEMENTO :**

Cemento Portland TIPO I Co  
Densidad = 2.96 g/ml  
2960 Kg/m<sup>3</sup>

**B. AGUA :**

Se utilizo agua del campus universitario, la misma que cumple con la Norma E. 060

**C. AGREGADOS :**

**C.1. AGREGADO FINO**

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	VALOR
1	MODULO DE FINURA (MF)	-	3.006
2	PESO UNITARIO SECO SUELTO	(kg/m <sup>3</sup> )	1714.2
3	PESO UNITARIO SECO SUELTO COMPACTADO	(kg/m <sup>3</sup> )	1795.74
4	CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	2.86
5	PESO ESPECIFICO DE MASA	(kg/m <sup>3</sup> )	2594.9
6	PESO ESPECIFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO	(kg/m <sup>3</sup> )	2627.05
7	PESO ESPECIFICO APARENTE	(kg/m <sup>3</sup> )	2681.11
8	ABSORCIÓN	(%)	1.24
9	PORCENTAJE DE FINOS QUE PASAN EL TAMIZ N° 200	(%)	3.03
10	% VACIOS ESTADO SUELTO	(%)	33.67
11	% VACIOS ESTADO COMPACTADO	(%)	30.52

**C.2. AGREGADO GRUESO**

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	VALOR
1	PERFIL DEL AGREGADO	-	ANGULAR
2	TAMAÑO MAXIMO	-	3/4 "
3	TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	-	1/2 "
4	MODULO DE FINURA DE AG. (MF)	-	6.759
5	PESO UNITARIO SECO SUELTO	(kg/m <sup>3</sup> )	1526.86
6	PESO UNITARIO SECO COMPACTADO	(kg/m <sup>3</sup> )	1698.28
7	CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	0.44
8	PESO ESPECIFICO DE MASA	(kg/m <sup>3</sup> )	2710.48
9	PESO ESPECIFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO	(kg/m <sup>3</sup> )	2740.86
10	PESO ESPECIFICO APARENTE	(kg/m <sup>3</sup> )	2795.41
11	ABSORCION	(%)	1.12
12	PORCENTAJE DE FINO QUE PASAN EL TAMIZ N° 200	(%)	0.496
13	% VACIOS ESTADO SUELTO	(%)	43.44
14	% VACIOS ESTADO COMPACTADO	(%)	37.09

**4. DETERMINACION DE LA RESISTENCIA PROMEDIO**

$f'cr = 287.52 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$

**5. SELECCIÓN DEL TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO**

TMN 1/2 "

**6. SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO**

Consistencia PLÁSTICA 3" - 4"

**7. VOLUMEN UNITARIO DE AGUA**

216 lts/m<sup>3</sup>

**8. SELECCIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE**

Contenido de Aire = 2.5 %

**9. RELACION AGUA/CEMENTO**

$f'cr$  Relación a/c

LIMITE INFERIOR 250 0.62  
LIMITE SUPERIOR 300 0.55  
VALOR DEL DISEÑO 287.52 0.57

→ a/c = 0.57

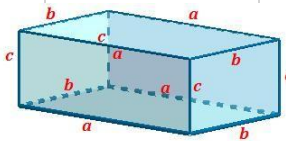
<b>10. FACTOR CEMENTO</b>				
	FACTOR CEMENTO =	380.64	Kg/m3	
	FACTOR CEMENTO =	8.96	bl/m3	
<b>11. CALCULO DEL VOLUMEN DE PASTA</b>				
	CEMENTO =	0.129	m3	
	AGUA =	0.216	m3	
	AIRE =	0.0025	m3	
	VOLÚMEN ABSOLUTO DE PASTA =	0.347	m3	
<b>12. VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO</b>				
	VOLÚMEN ABSOLUTO DE AGREGADO =	0.653	m3	
<b>13. CALCULO DEL MODULO DE FINURA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS</b>				
	mc (tabla)=	4.69	para 9 bolsas	
<b>14. CÁLCULO DEL VALOR DE " rf "</b>				
	rf =	55.13	%	
	rg =	44.87	%	
<b>15. CÁLCULO DE LOS VOLUMENES ABSOLUTOS DEL AGREGADO</b>				
	Vol. Absoluto A.F. =	0.36	m3	
	Vol. Absoluto A.G. =	0.29	m3	
<b>16. PESOS SECOS DE LOS AGREGADOS</b>				
	Agregado Fino =	934.01	Kg/m3	
	Agregado Grueso =	794.07	Kg/m3	
<b>17. VALORES DE DISEÑO</b>				
	CEMENTO =	380.64	Kg/m3	
	AGUA DE DISEÑO =	216	l/m3	
	AGREGADO FINO SECO =	934.01	Kg/m3	
	AGREGADO GRUESO SECO =	794.07	Kg/m3	
<b>18. CORRECCIÓN POR HUMEDAD</b>				
	AGREGADO FINO =	960.73	Kg/m3	
	AGREGADO GRUESO =	797.57	Kg/m3	
<b>19. AGUA EFECTIVA</b>				
	HUMEDAD SUPERFICIAL AF=	1.62	%	
	HUMEDAD SUPERFICIAL AG=	-0.68	%	
	APORTE DE HUMEDAD :			
	Agregado Fino =	15.13	l/m3	
	Agregado Grueso =	-5.40	l/m3	
		9.73	l/m3	
	Agua Efectiva =	206.27	l/m3	
<b>20. MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD</b>				
	CEMENTO =	380.64	Kg/m3	
	AGUA DE DISEÑO =	206.27	l/m3	
	AGREGADO FINO HÚMEDO =	960.73	Kg/m3	
	AGREGADO GRUESO HÚMEDO =	797.57	Kg/m3	
<b>21. PROPORCION EN PESO :</b>				
		380.64	934.01	794.07
SIN CORREGIR	<b>1.00</b>	<b>2.45</b>	<b>2.09</b>	<b>24.12</b> l/bol
		380.64	960.73	797.57
CORREGIDAS	<b>1.00</b>	<b>2.52</b>	<b>2.10</b>	<b>23.03</b> l/bol
<b>22. PESOS POR TANDA DE UNA BOLSA :</b>				
	RELACION AGUA-CEMENTO DE DISEÑO =	0.57		
	RELACION AGUA-CEMENTO EFECTIVA =	0.54		
	* CANTIDADES DE MATERIALES POR TANDA DE UN SACO :			
	CEMENTO =	42.50	kg/bolsa	
	AGUA EFECTIVA=	23.03	l/bolsa	
	AGREGADO FINO HÚMEDO =	107.27	kg/bolsa	
	AGREGADO GRUESO HÚMEDO =	89.05	kg/bolsa	
<b>23. PROPORCION EN VOLÚMEN :</b>				
	PESOS UNITARIOS HUMEDOS DEL AGREGADO			
	AGREGADO FINO HÚMEDO =	1763.23	Kg/m3	
	AGREGADO GRUESO HÚMEDO =	1533.58	Kg/m3	
	PESO POR PIE CÚBICO DEL AGREGADO			
	A. FINO HÚMEDO =	49.92	Kg/pie3	
	A. GRUESO HÚMEDO =	43.42	Kg/pie3	
	BOLSA DE CEMENTO =	42.50	Kg/pie3	
	<b>DOSIFICACIÓN EN VOLÚMEN</b>			
	<b>1</b>	<b>2.15</b>	<b>2.05</b>	<b>23.03</b> l/bol

AJUSTE DE LAS PROPORCIONES DEL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO			
<b>1. PROCEDIMIENTO DE AJUSTE</b>			
EL AJUSTE DE LA MEZCLA SE REALIZARA SIGUIENDO EL MÉTODO DE VOLUMENES ABSOLUTOS			
<b>2. MATERIALES POR m<sup>3</sup></b>			
<b>DISEÑO</b>			
CEMENTO =	380.64	Kg/m <sup>3</sup>	
AGUA DE DISEÑO =	216.00	lt/m <sup>3</sup>	
AGREGADO FINO SECO =	934.01	Kg/m <sup>3</sup>	
AGREGADO GRUESO SECO =	794.07	Kg/m <sup>3</sup>	
<b>DISEÑO CORREGIDO POR HÚMEDAD</b>			
CEMENTO =	380.64	Kg/m <sup>3</sup>	
AGUA DE DISEÑO =	206.27	lt/m <sup>3</sup>	
AGREGADO FINO SECO =	960.73	Kg/m <sup>3</sup>	
AGREGADO GRUESO SECO =	797.57	Kg/m <sup>3</sup>	
<b>3. PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS Y DEL CEMENTO</b>			
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>A. FINO</b>	<b>A. GRUESO</b>
PESO ESPECIFICO DE MASA	kg/m <sup>3</sup>	2594.9	2710.48
PESO ESPECIFICO SSS	kg/m <sup>3</sup>	2627.05	2740.86
ABSORCION	%	1.24	1.12
CONTENIDO DE HÚMEDAD	%	2.86	0.44
DENSIDAD CEMENTO PORTLAND TIPO I Co	gr/ml		2.96
<b>4. DATOS DE LA PRUEBA DE LABORATORIO</b>			
<b>4.1. ASENTAMIENTO</b>			
SLUMP =	7.5	cm	(3 pulg.)
<b>4.2. PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO:</b>			
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>ENSAYOS</b>	
PESO DEL MOLDE	kg	8.66	
PESO DEL MOLDE + CONCRETO FRESCO	kg	20.52	
PESO DEL CONCRETO FRESCO	kg	11.86	
VOLUMEN DEL MOLDE	m <sup>3</sup>	0.0054	
PESO UNITARIO DEL CONCRETO	kg/m <sup>3</sup>	2188.36	
<b>4.3. AGUA ADICIONAL</b>			
Cantidad de agua adicional =	300	cm <sup>3</sup>	
<b>4.4. APARIENCIA DE LA MEZCLA</b>			
Apariencia de mezcla =	Satisfactoria		
<b>5. PROPORCIONAMIENTO POR COLADA DE VOLUMEN 0.02 m<sup>3</sup> :</b>			
CEMENTO =	7.61	kg	
AGUA DE DISEÑO =	4.62	lt	
AGREGADO FINO SECO =	18.68	kg	
AGREGADO GRUESO SECO =	15.88	kg	
PESO DE COLADA =	46.79	kg	
<b>6. RENDIMIENTO DE LA MEZCLA DE ENSAYO</b>			
RENDIMIENTO =	0.021383	m <sup>3</sup>	
<b>7. AGUA DE MEZCLADO POR TANDA.</b>			
HUMEDAD SUPERFICIAL AF =	1.62	%	
HUMEDAD SUPERFICIAL AG =	-0.68	%	
AGUA ANADIDA =	4.62	lt	
<b>APORTE DE HUMEDAD :</b>			
Agregado Fino =	0.30	lt	
Agregado Grueso =	-0.11	lt	
AGUA DE MEZCLADO POR TANDA =	4.81	lt/tanda	
<b>8. CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO REQUERIDA POR METRO CUBICO DE CONCRETO</b>			
AGUA DE MEZCLADO =	225.16	lt/m <sup>3</sup>	
<b>9. CORRECCIÓN POR ASENTAMIENTO</b>			
La cantidad de agua de mezclado requerida por metro cúbico de concreto deberá ser aumentada en dos litros por cada incremento de 1 cm de asentamiento hasta obtener el asentamiento deseado.			
En nuestro caso habiendo obtenido un asentamiento de 3" equivalente 7.62 cm a un asentamiento de 3.5" equivalente a 8,89 cm, e tiene una diferencia de 1,27cm para la cual se deberá incrementar el agua en 2.54 lt.			
NUEVA AGUA DE MEZCLA =	227.70	lt/m <sup>3</sup>	
<b>10. NUEVA RELACION a/c</b>			
a/c ANTERIOR =	0.57		
NUEVA CONTENIDO DE CEMENTO =	401.25	Kg/m <sup>3</sup>	

<b>11. CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO</b>						
	AGREGADO GRUESO HÚMEDO =	742.70		Kg/m3		
	AGREGADO GRUESO SECO =	739.45		Kg/m3		
<b>12. CORRECCIÓN POR EL MÉTODO DE VOLÚMENES ABSOLUTOS</b>						
Se calcula el volumen absoluto de los materiales sin considerar al aire, en la mezcla de ensayo original						
	CEMENTO =	0.0025719		m3		
	AGUA DE DISEÑO =	0.0048146		m3		
	AGREGADO FINO SECO =	0.0071989		m3		
	AGREGADO GRUESO SECO =	0.0058593		m3		
	SUMA DE VOLÚMENES ABSOLUTOS =	0.0204446		m3		
	AIRE ATRAPADO =	4.39 %				
Establecidas ya las proporciones de todos los componentes de la unidad cúbica del concreto excepto el agregado fino las cantidades ajustadas de un metro cúbico pueden calcularse como sigue:						
<b>* VOLÚMENES ABSOLUTOS :</b>						
	CEMENTO =	0.1355571		m3		
	AGUA DE DISEÑO =	0.2251576		m3		
	AGREGADO GRUESO =	0.2728111		m3		
	AIRE ATRAPADO =	0.0439004		m3		
	SUMA DE VOLÚMENES ABSOLUTOS =	0.6774262		m3		
	VOLUMEN DE A.F. =	0.3225738		m3		
	PESO SECO DEL AF =	837.05		Kg/m3		
Los pesos ajustados de los materiales por metro cúbico de concreto seran:						
		SECO	HÚMEDO			
	CEMENTO =	401.2	401.2	Kg/m3		
	AGUA DE DISEÑO =	225.2	216.6	lt/m3		
	AGREGADO FINO SECO =	837.0	861.0	Kg/m3		
	AGREGADO GRUESO SECO =	739.4	742.7	Kg/m3		
<b>13. PROPORCIÓN EN PESO :</b>						
Al no contar con una ficha tecnica para el uso de aditivo bacteriano se tomo como referencia la cantidad de aditivo utilizado en previas experimentaciones realizadas por (Kumar et al.,2017) y (Lavayna et al., 2018)						
	ADITIVO =	20.0		lt/m3		
<b>* NUEVAS PROPORCIONES</b>						
	CEMENTO =	401.2		Kg/m3		
	AGUA DE DISEÑO =	196.6		lt/m3		
	AGREGADO FINO SECO =	861.0		Kg/m3		
	AGREGADO GRUESO SECO =	742.7		Kg/m3		
	ADITIVO =	20.0		lt/m3		
<b>13. PROPORCIÓN EN PESO :</b>						
	C	AF	AG	AGUA	ADITIVO	
	1	2.15	1.85	20.83	2.12	lt/bol
<b>14. PESOS POR TANDA DE UNA BOLSA :</b>						
<b>* CANTIDADES DE MATERIALES POR TANDA DE UN SACO :</b>						
	CEMENTO =	42.50		kg/bolsa		
	AGUA EFECTIVA =	20.83		lt/bolsa		
	AGREGADO FINO HÚMEDO =	91.20		kg/bolsa		
	AGREGADO GRUESO HÚMEDO =	78.67		kg/bolsa		
	ADITIVO =	2.12		lt/bolsa		
<b>15. PROPORCIÓN EN VOLÚMEN :</b>						
<b>PESOS UNITARIOS HUMEDOS DEL AGREGADO</b>						
	AGREGADO FINO HÚMEDO =	1763.23		Kg/m3		
	AGREGADO GRUESO HÚMEDO =	1533.58		Kg/m3		
<b>PESO POR PIE CÚBICO DEL AGREGADO</b>						
	A. FINO HÚMEDO =	49.92		Kg/pie3		
	A. GRUESO HÚMEDO =	43.42		Kg/pie3		
	BOLSA DE CEMENTO =	42.50		Kg/pie3		
<b>DOSIFICACIÓN EN VOLÚMEN</b>						
	C	AF	AG	AGUA	ADITIVO	
	1	1.83	1.81	20.83	2.12	lt/bol
<b>15. PROPORCIÓN PARA COLADA DE 0.03m3 ( 5 especiménes estándar ) :</b>						
	CEMENTO =	12.04		Kg/m3		
	AGUA EFECTIVA =	5.90		lt/m3		
	AGREGADO FINO HÚMEDO =	25.83		Kg/m3		
	AGREGADO GRUESO HÚMEDO =	22.28		Kg/m3		
	ADITIVO =	0.60		lt/m3		



### 3.2. Diseño de mezcla de mortero

DISEÑO DE MEZCLA DE MORTERO (CON Y SIN ADITIVO BACTERIANO)				
<b>1. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO</b>				
Para el presente diseño se utilizara el Metodo del modulo de fineza de la combinacion de los agregados.				
<b>3. MATERIALES</b>				
<b>A. CEMENTO :</b>				
Cemento Portland TIPO I Co				
	Densidad =	2.96	g/ml	
		2960	Kg/m3	
	Peso unitario suelto =	1200	Kg/m3	
<b>B. AGUA :</b>				
Se utilizo agua del campus universitario, la misma que cumple con la Norma E. 060				
<b>C. AGREGADO :</b>				
<b>C.1. AGREGADO FINO</b>				
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>	
1	MODULO DE FINURA (MF)	-	3.006	
2	PESO UNITARIO SECO SUELTO	(kg/m3)	1714.2	
3	PESO UNITARIO SECO SUELTO COMPACTADO	(kg/m3)	1795.74	
4	CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	2.86	
5	PESO ESPECIFICO DEMASA	(kg/m3)	2594.9	
6	PESO ESPECIFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO	(kg/m3)	2627.05	
7	PESO ESPECIFICO APARENTE	(kg/m3)	2681.11	
8	ABSORCIÓN	(%)	1.24	
9	PORCENTAJE DE FINOS QUE PASAN EL TAMIZ N° 200	(%)	3.03	
10	% VACIOS ESTADO SUELTO	(%)	33.67	
11	% VACIOS ESTADO COMPACTADO	(%)	30.52	
<b>4. SELECCIÓN DE LA FLUIDEZ</b>				
	$R' m =$	120	%	
<b>5. DETERMINACION DE LA RESISTENCIA DE LA DOSIFICACION</b>				
	$R' mm =$	168	kg/cm2	
<b>6. SELECCIÓN DE LA RELACION AGUA-CEMENTO</b>				
	a/c =	0.7		
<b>7. ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE CEMENTO</b>				
	C =	450	kg/m3	
<b>8. CANTIDAD DE AGUA</b>				
	A =	315	l/m3	mortero
<b>9. CÁLCULO DE CANTIDAD DE AGREGADO</b>				
	V. AF =	0.53	kg/m3	
	Vol. absoluto material = Masa mat./ Densidad			
	P. AF =	1383.01	kg/m3	
<b>10. CALCULO DE LAS PROPORCIONES INICIALES</b>				
	a/c =	0.70		
	FACTOR CEMENTO =	3.07		
* PROPORCIONES:				
	a/c	C	AF	
	0.70	1	3.07	
	AGUA	CEMENTO	AF.	SUMA
MASA(kg/m3)	315.00	450	1383.01	2148.01
V. Absoluto(m3)	0.315	0.152	0.533	1.00
Proporciones	0.70	1.00	3.07	
<b>11. PROPORCIONES POR PROBETA</b>				
				
	a =	8.5	cm	
	b =	2.5	cm	
	c =	2.5	cm	
	V. Probeta:	0.00005313	m3	
		53.13	cm3	

* PROPORCIONES POR 01 PROBETA PRISMÁTICA:							
- MORTERO CONVENCIONAL :							
AGUA		CEMENTO		AF.			
0.0167	lt	0.0239	kg	0.0735	kg		
16.73	ml	23.91	g	73.47	g		
MORTEROS CON ADITIVO BACTERIANO INCORPORADO A LA MEZCLA:							
- MORTERO CON ADITIVO BACTERIANO (2ml):							
AGUA		ADITIVO		CEMENTO		AF.	
0.0165	lt	0.0002	lt	0.0239	kg	0.0735	kg
16.52	ml	0.21	ml	23.91	g	73.47	g
- MORTERO CON ADITIVO BACTERIANO (4ml):							
AGUA		ADITIVO		CEMENTO		AF.	
0.0147	lt	0.0020	lt	0.0239	kg	0.0735	kg
14.73	ml	2.00	ml	23.91	g	73.47	g
- MORTERO CON ADITIVO BACTERIANO (8ml):							
AGUA		ADITIVO		CEMENTO		AF.	
0.0127	lt	0.0040	lt	0.0239	kg	0.0735	kg
12.73	ml	4.00	ml	23.91	g	73.47	g
MORTEROS CON ADITIVO BACTERIANO INYECTADO A LA PROBETA SUPERFICIALMENTE:							
AGUA		ADITIVO		CEMENTO		AF.	
0.0167	lt	0.0050	lt	0.0239	kg	0.0735	kg
16.73	ml	5.00	ml	23.91	g	73.47	g
Nota:	En este tipo de mortero se inyecta con el uso de una jeringa esteril el aditivo bacteriano (5ml) sobre la probeta superficialmente a la edad de 7 días de elaboradas las mismas						

### 3.3. Tablas y gráficos utilizados en los diseños.

#### A.1. Diseño de mezcla de concreto

Condiciones de la ejecución en obra	Relación aproximada entre la resistencia promedio y la resistencia de diseño
Excelentes	1.15
Intermedias	1.2 a 1.25
Corrientes	1.35 a 1.60

Tabla 49: Resistencia promedio o Resistencia media requerida. (Rivva,2014)

Consistencia de la Mezcla	Asentamiento	Compactación por
Seca	0" a 2"	-
Plástica	3" a 4"	Vibración
Fluida	≥ 5"	Varillado

Tabla 50: Consistencia y asentamiento del concreto. (Rivva,2014)

Tipo de Construcción	Máxima	Mínima
Zapatas y muros de cimentación armados	3"	1"
Cimentaciones simples, cajones y subestructuras de muros	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas de edificios	4"	1"
Losas y pavimentos	3"	1"
Concreto ciclópeo	2"	1"

Tabla 51: Selección de asentamiento. (Rivva,2014)

Asentamiento	Agua, en lts/m <sup>3</sup> , para los tamaños máx. nominales de agregado grueso y consistencia indicados							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concretos 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	...
Concretos 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	...

Tabla 52: Volumen unitario de agua. (Rivva,2014)

Tamaño Máximo Nominal	Aire Atrapado
3/8"	3.0%
1/2"	2.5%
3/4"	2.0%
1"	1.5%
1 1/2"	1.0%
2"	0.5%
3"	0.3%
6"	0.2%

Tabla 53: Contenido de aire atrapado. (Rivva,2014)

f'cr (28 días)	Relación agua/cemento de diseño en peso	
	Concretos sin aire incorporado	Concretos con aire incorporado
150	0.8	0.71
200	0.7	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.4
400	0.43	...
450	0.38	...

Tabla 54: Relación agua cemento por resistencia. (Rivva,2014)

Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso	Módulo de Finura de la Combinación de agregados que da las mejores condiciones de trabajabilidad para los contenidos de cemento en bolsas/metro cúbico indicados			
	6	7	8	9
3/8"	3.96	4.04	4.11	4.19
1/2"	4.46	4.54	4.61	4.69
3/4"	4.96	5.04	5.11	5.19
1"	5.26	5.34	5.41	5.49
1 1/2"	5.56	5.64	5.71	5.79
2"	5.86	5.94	6.01	6.09
3"	6.16	6.24	6.31	6.39

Tabla 55: Modulo de Finura de la combinación de agregados. (Rivva,2014)

## A.2. Diseño de mezcla de mortero

% FLUIDEZ (MESA DE FLUJO)	CONSISTENCIA	TIPO DE ESTRUCTURA	CONDICIONES DE COLOCACIÓN	SISTEMA DE COLOCACIÓN
80-100	Dura (seca)	Reparaciones, recubrimiento de túneles, galerías, pantallas de cimentación, pisos.	Secciones sujetas a vibración.	Proyección neumática, con vibradores de formaleta.
100-120	Media (plástica)	Pega de mampostería, baldosines, pañetes y revestimientos.	Sin vibración.	Manual con palas y palustres.
120-150	Fluida (húmeda)	Rellenos de mampostería estructural, morteros autonivelantes para pisos.	Sin vibración.	Manual, bombeo, inyección.

Tabla 56: Fluidéz recomendada para morteros. (Rivera,2002)

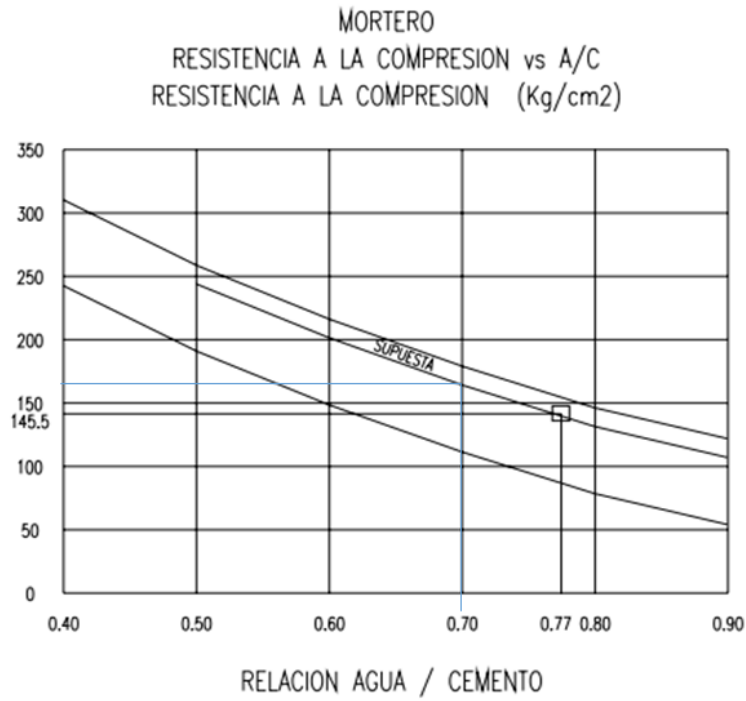


Gráfico 26: Resistencia a la compresión vs relación agua-cemento. (Rivera,2002)

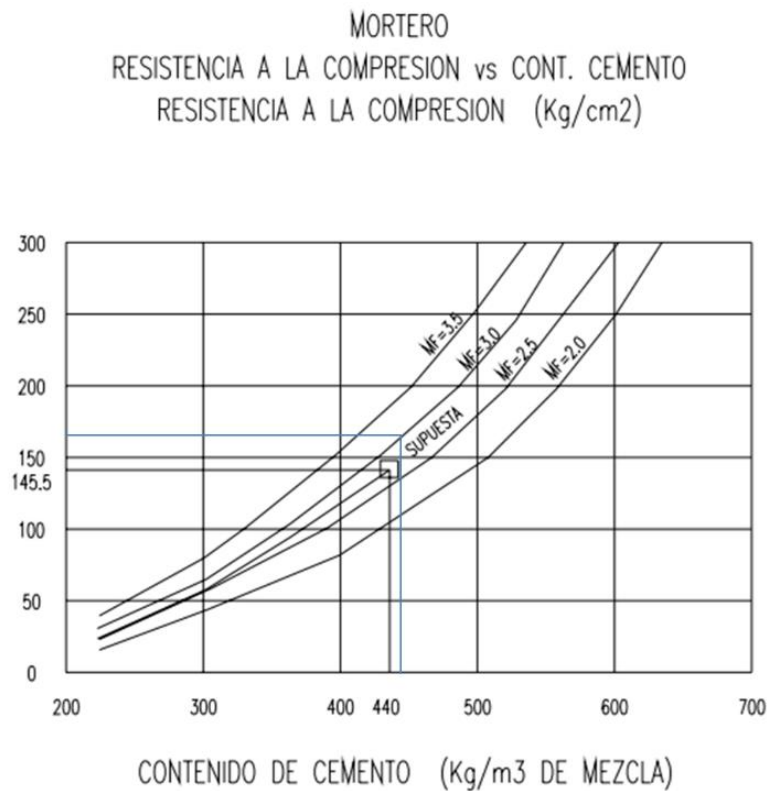


Gráfico 27: Resistencia a la compresión vs Contenido de cemento. (Rivera,2002)

## IV. Anexo IV: Elaboración y análisis de probetas Prismáticas

### 4.1. Elaboración del aditivo bacteriano



Figura 110: Conteo de esporas bacterianas por el método del tubímetro de Mc Farland para el (a) Pesaje de Cloruro de Bario (b) Pesaje de ácido sulfúrico (c) Frasco de ácido sulfúrico utilizado en la prueba (d) Tesista realizando el diseño del tubímetro de Mc Farland.



Figura 111: Incubación para la reactivación bacteriana de las 17 cepas obtenidas.

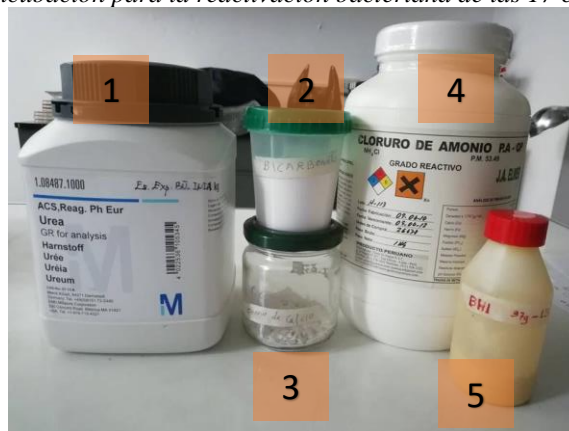


Figura 112: Materiales utilizados para la elaboración de caldo nutritivo para la incorporación en el concreto (de izquierda a derecha: 1. Urea, 2. bicarbonato de sodio, 3. cloruro de calcio, 4. cloruro de amonio y 5. caldo BHI).



Figura 113: Aditivo bacteriano en concentraciones de 0.21 ml, 2 ml y 4 ml.

## V. Elaboración, control y evaluación de las probetas prismáticas

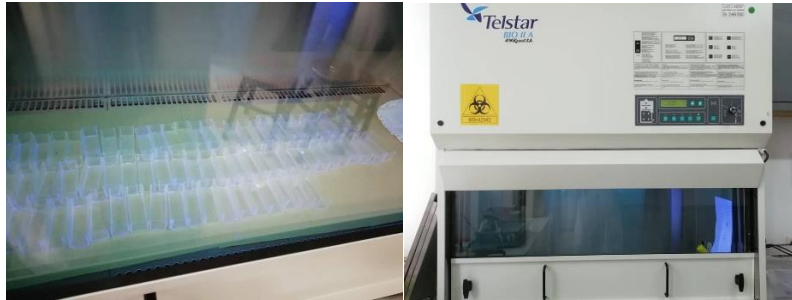


Figura 114: Esterilización de los moldes prismáticos con rayos UV en la Cabina de flujo laminar.



Figura 115: Proceso de elaboración de la mezcla.



Figura 116: Probetas de concreto con adiciones bacterianas y sin adiciones bacterianas en proceso de fragua.



Figura 117: Probetas de concreto a las 24 horas de edad.



Figura 118: Probetas desencofradas.

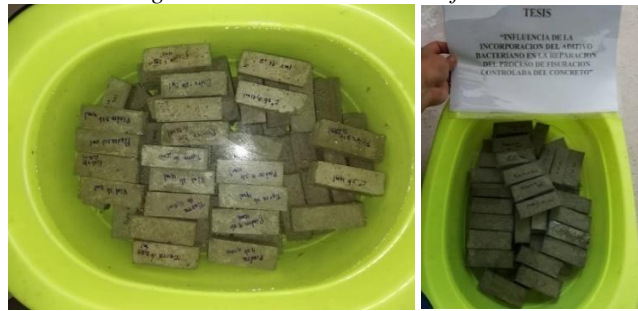


Figura 119: Proceso de curado de probetas prismáticas de concreto.



Figura 120: Proceso de fisuramiento de las probetas prismáticas de concreto con y sin aditivo bacteriano incorporado.



Figura 121: Probetas prismáticas esterilizadas en autoclave sin aditivo bacteriano a los 7 días de edad preparadas para el proceso de inyección de aditivo bacteriano.



Figura 122: Probetas prismáticas fisuradas preparadas para el proceso de análisis de precipitación de carbonato de calcio a nivel microscópico.



Figura 123: Proceso de aplicación de aditivo bacteriano en probetas prismáticas fisuradas.



Figura 124: Proceso de incubación de aditivo bacteriano (cepas bacterianas) superficialmente por inyección por un periodo de 24 horas.



## 4.2. Evaluación microscópica del proceso de reparación de las fisuras.

### *Piedra 4 2b 2*

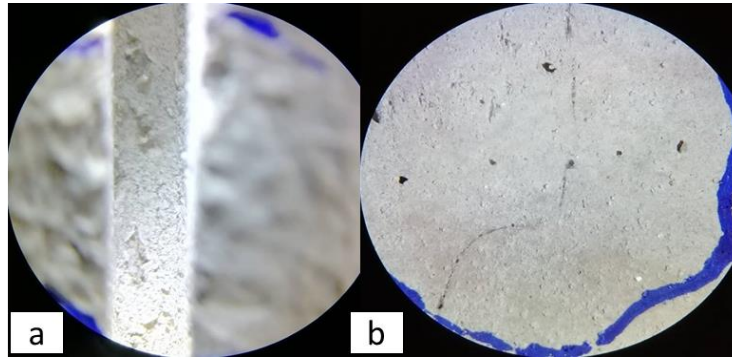


Figura 125: Probeta Piedra 4 2b 2. (a) vista interna de la fisura inducida (b) vista de discontinuidades y fisuras con contracción y secado presentes en el concreto. Evaluación a los 14 días.

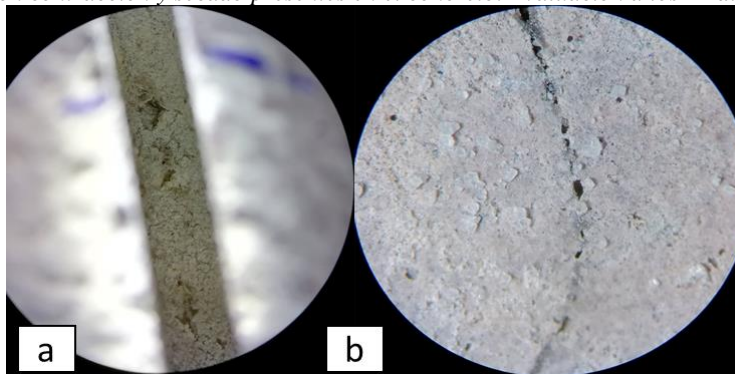


Figura 126: Probeta Piedra 4 2b 2. (a) vista interna de la fisura inducida (b) vista de discontinuidades y fisuras con contracción y secado presentes en el concreto. Evaluación a los 28 días.

### *Probeta C° 2b 1*

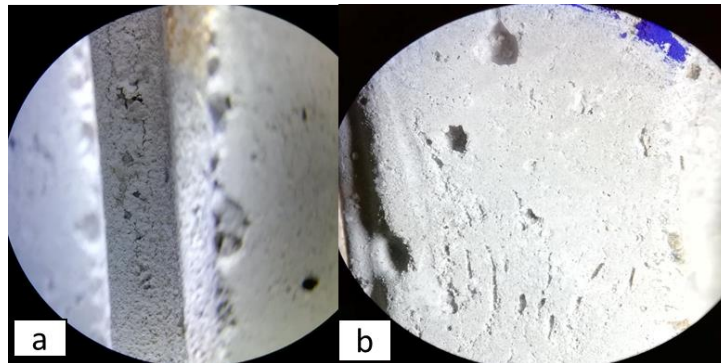


Figura 127: Probeta C° 2b 1. (a) vista interna de la fisura inducida (b) vista de discontinuidades y fisuras con contracción y secado presentes en el concreto. Evaluación a los 14 días.

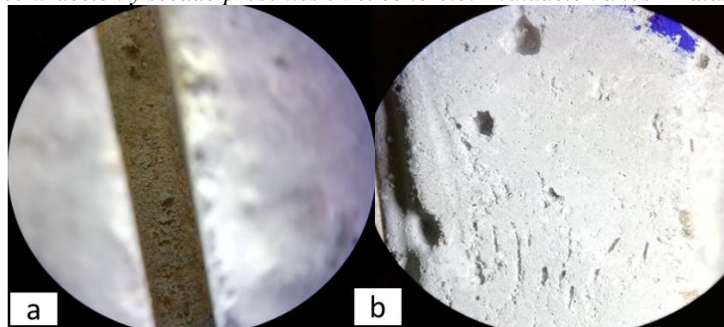
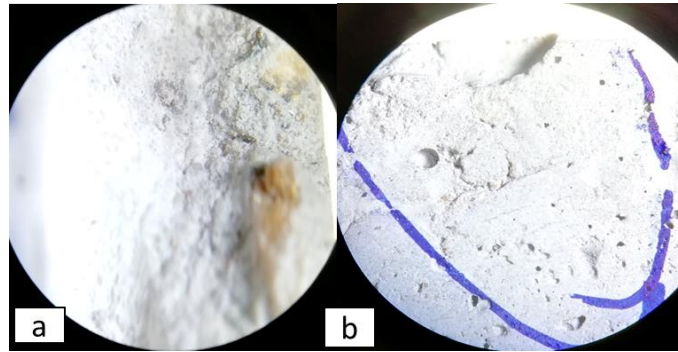
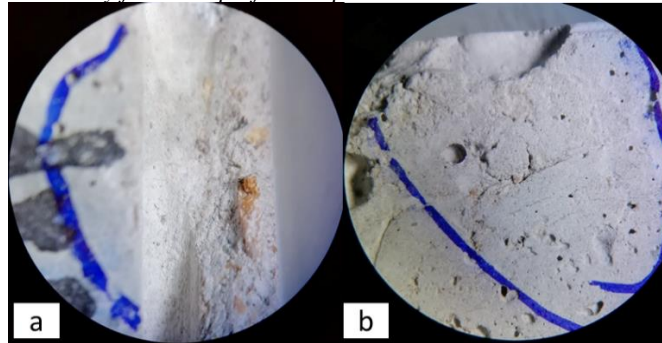


Figura 128: Probeta C° 2b 1. (a) vista interna de la fisura inducida (b) vista de discontinuidades y fisuras con contracción y secado presentes en el concreto. Evaluación a los 28 días.

**PROBETAS CON ADITIVO BACTERIANO INCORPORADO A LA MEZCLA**  
**Probeta Piedra 4 2b 0.21**

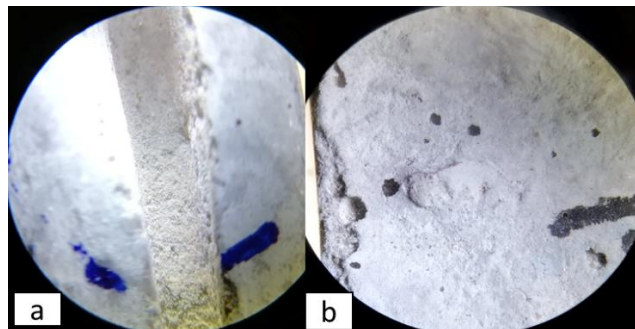


*Figura 129: Probeta Piedra 4 2b con 0.21 ml de Aditivo Bacteriano. (a) vista interna de la fisura inducida (b) vista de discontinuidades y fisuras superficiales presentes en el concreto. Evaluación a los 3 días.*

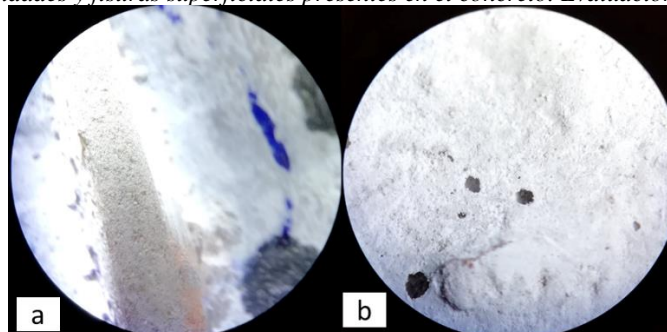


*Figura 130: Probeta Piedra 4 2b con 0.21 ml de Aditivo Bacteriano. (a) vista interna de la fisura inducida (b) vista de discontinuidades y fisuras superficiales presentes en el concreto. Evaluación a los 28 días.*

**Probeta Piedra 4 2b 2**

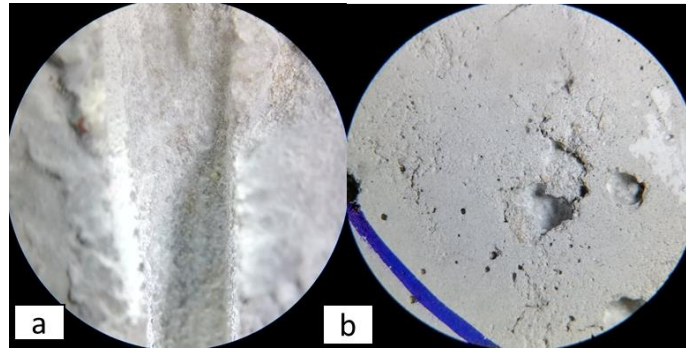


*Figura 131: Probeta Piedra 4 2b con 2 ml de Aditivo Bacteriano. (a) vista interna de la fisura inducida (b) vista de discontinuidades y fisuras superficiales presentes en el concreto. Evaluación a los 14 días.*

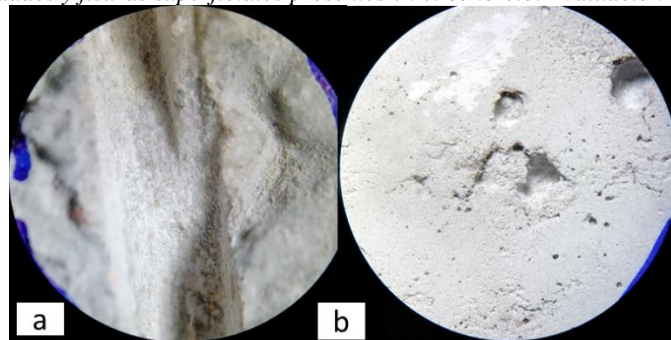


*Figura 132: Probeta Piedra 4 2b con 2 ml de Aditivo Bacteriano. (a) vista interna de la fisura inducida (b) vista de discontinuidades y fisuras superficiales presentes en el concreto. Evaluación a los 28 días.*

**Probeta C° 2b 1**

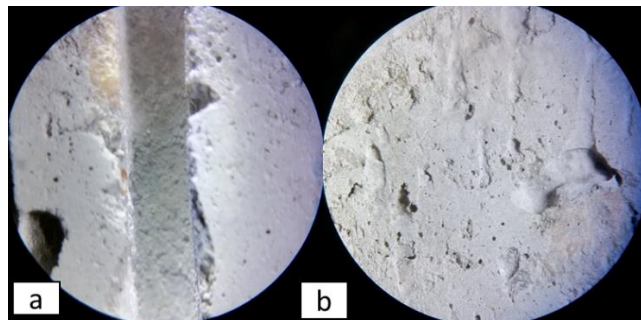


*Figura 133: Probeta C° 3b 0.21 ml de Aditivo Bacteriano. (a) vista interna de la fisura inducida (b) vista de discontinuidades y fisuras superficiales presentes en el concreto. Evaluación a los 14 días.*

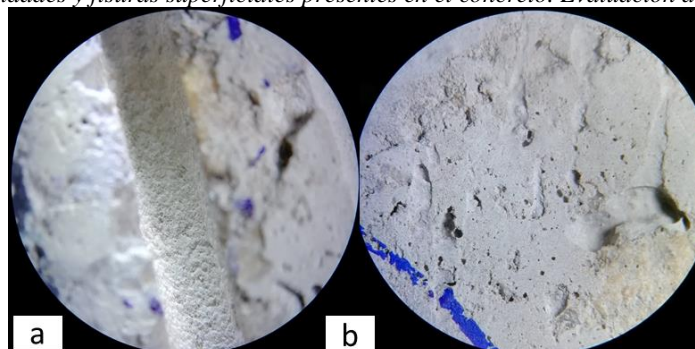


*Figura 134: Probeta C° 3b 0.21 ml de Aditivo Bacteriano. (a) vista interna de la fisura inducida (b) vista de discontinuidades y fisuras superficiales presentes en el concreto. Evaluación a los 28 días.*

**Probeta C° 2b 2**



*Figura 135: Probeta C° 3b 2 ml de Aditivo Bacteriano. (a) vista interna de la fisura inducida (b) vista de discontinuidades y fisuras superficiales presentes en el concreto. Evaluación a los 14 días.*



*Figura 136: Probeta C° 3b 2 ml de Aditivo Bacteriano. (a) vista interna de la fisura inducida (b) vista de discontinuidades y fisuras superficiales presentes en el concreto. Evaluación a los 28 días*

## V. Anexo V: Elaboración y análisis de probetas Cilíndricas

### 5.1. Elaboración de aditivo bacteriano



Figura 137: Esterilización de agar nutritivo.



Figura 138: Placas Petri sin y con agar nutritivo. Incubación de cepas bacterianas.



Figura 139: Incubación después de 24 horas.

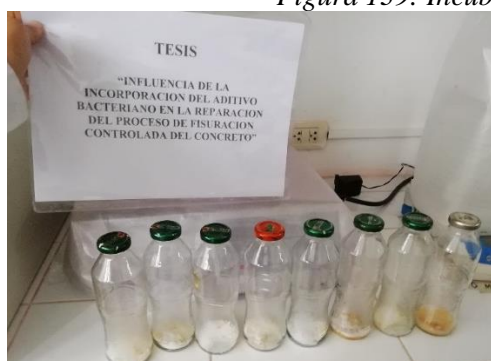


Figura 140: Frascos con medio de cultivo.



Figura 141: Esterilización del medio de cultivo en autoclave.



Figura 142: 1. Medio de cultivo esterilizado y placas Petri con medio de cultivo. 2. Incubación de aditivo bacteriano por 24 horas.

## 5.2.Elaboración de probetas cilíndricas



Figura 143: Mezclado de los materiales en trompo mezclador.



Figura 144: Supervisión del Doctor Marco Rivera durante la elaboración de concreto con aditivo bacteriano.



*Figura 145: Incorporación de aditivo bacteriano al agua de mezcla.*



*Figura 146: Proceso de medida del Slump de concreto bacteriano.*



*Figura 147: Izquierda: Medida del Slump de concreto bacteriano. Derecha: Llenado de moldes de concreto.*



*Figura 148: Probetas cilíndricas en proceso de fragua.*



*Figura 149: Desencofrado de probetas cilíndricas.*



*Figura 150: Curado de probetas cilíndricas.*

### 5.3. Ensayos a compresión



Figura 151: Probetas cilíndricas a los 28 días antes del ensayo a compresión.



Figura 152: Ruptura de probetas cilíndricas a los 28 días. Vista de tipos y modos de falla.



Figura 153: Ruptura de probetas cilíndricas a los 28 días. Izquierda: Tesista. Derecha: Encargado de laboratorio.





*Figura 154: Ruptura de probetas cilíndricas a los 28 días. Vista general de todas las probetas ensayadas.*



*Figura 155: Ruptura de probetas cilíndricas a los 14 días. Vista de tipos y modos de falla.*



*Figura 156: Ruptura de probetas cilíndricas a los 14 días. Izquierda: Tesista. Derecha: Encargado de laboratorio.*



*Figura 157: Ruptura de probetas cilíndricas a los 7 días. Vista de tipos y modos de falla.*



*Figura 158: Ruptura de probetas cilíndricas a los 7 días. Izquierda: Tesista. Derecha: Encargado de laboratorio.*



*Figura 159: Ruptura de probetas cilíndricas a los 7 días. Tesista.*



*Figura 160: Sustentación privada, de izquierda a derecha: Vocal: Ing. Marcos Mendoza Linares. Co-asesor: Dr. Marco Rivera Jacinto. Secretario: Ing. Marco Hoyos Saucedo. Presidente: M. Cs. Ing. Hugo Miranda Tejada. Asesor: Dr. Ing. Miguel Mosqueira Moreno. Tesista: Bach. Ing. Dennis Asenjo Alarcón.*

## 5.4. Resultados de ensayos a compresión.

### C° NORMAL (Sin adiciones)

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. NTP 339.034					ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. NTP 339.034				
Nombre de Mezcla:	C° Normal 11				Nombre de Mezcla:	C° Normal 12			
Cemento:	TIPO ICo - ASTM C-1157/NTP 339.090				Cemento:	TIPO ICo - ASTM C-1157/NTP 339.090			
Fecha de Elaboración :	21/11/2018	Edad :	28 días		Fecha de Elaboración :	21/11/2018	Edad :	28 días	
Fecha de Rotura :	19/12/2018				Fecha de Rotura :	19/12/2018			
Resistencia característica:	250	kg/cm <sup>2</sup>			Resistencia característica:	250	kg/cm <sup>2</sup>		
Altura:	304.4	mm			Altura:	305.5	mm		
Diametro:	151.1	mm			Diametro:	151.1	mm		
Área del Especimen:	179.4	cm <sup>2</sup>			Área del Especimen:	179.4	cm <sup>2</sup>		
ESPECIMEN N° 11					ESPECIMEN N° 12				
Carga (kg)	Def. (mm)	Deformación Unit.	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esf. Ajust. (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Def. (mm)	Deformación Unit.	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esf. Ajust. (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0	0.00	0.0000	0.00	0.00
1000	0.06	0.0002	5.57	7.80	1000	0.10	0.0003	5.57	11.18
2000	0.12	0.0004	11.15	15.60	2000	0.16	0.0005	11.15	17.88
3000	0.20	0.0007	16.72	26.00	3000	0.18	0.0006	16.72	20.12
4000	0.26	0.0009	22.30	33.80	4000	0.20	0.0007	22.30	22.35
5000	0.30	0.0010	27.87	38.99	5000	0.22	0.0007	27.87	24.59
6000	0.33	0.0011	33.45	42.89	6000	0.28	0.0009	33.45	31.48
7000	0.37	0.0012	39.02	48.09	7000	0.33	0.0011	39.02	36.73
8000	0.40	0.0013	44.60	51.99	8000	0.38	0.0012	44.60	41.97
9000	0.42	0.0014	50.17	54.59	9000	0.42	0.0014	50.17	47.22
10000	0.44	0.0014	55.75	57.19	10000	0.47	0.0015	55.75	52.47
11000	0.46	0.0015	61.32	59.91	11000	0.52	0.0017	61.32	57.71
12000	0.50	0.0017	66.90	65.35	12000	0.56	0.0018	66.90	62.96
13000	0.54	0.0018	72.47	70.80	13000	0.61	0.0020	72.47	68.21
14000	0.59	0.0019	78.05	76.25	14000	0.66	0.0022	78.05	73.45
15000	0.63	0.0021	83.62	81.69	15000	0.70	0.0023	83.62	78.70
16000	0.67	0.0022	89.20	87.14	16000	0.75	0.0025	89.20	83.95
17000	0.71	0.0023	94.77	92.59	17000	0.80	0.0026	94.77	89.19
18000	0.75	0.0025	100.35	98.03	18000	0.85	0.0028	100.35	94.44
19000	0.80	0.0026	105.92	103.48	19000	0.89	0.0029	105.92	99.68
20000	0.84	0.0028	111.50	108.92	20000	0.94	0.0031	111.50	104.93
21000	0.88	0.0029	117.07	114.37	21000	0.99	0.0032	117.07	110.18
22000	0.92	0.0030	122.64	119.82	22000	1.03	0.0034	122.64	115.42
23000	0.96	0.0032	128.22	125.26	23000	1.08	0.0035	128.22	120.67
24000	1.01	0.0033	133.79	130.71	24000	1.13	0.0037	133.79	125.92
25000	1.05	0.0034	139.37	136.16	25000	1.17	0.0038	139.37	131.16
26000	1.09	0.0036	144.94	141.60	26000	1.22	0.0040	144.94	136.41
27000	1.13	0.0037	150.52	147.05	27000	1.27	0.0041	150.52	141.66
28000	1.17	0.0039	156.09	152.49	28000	1.31	0.0043	156.09	146.90
29000	1.22	0.0040	161.67	157.94	29000	1.36	0.0045	161.67	152.15
30000	1.26	0.0041	167.24	163.39	30000	1.41	0.0046	167.24	157.40
31000	1.30	0.0043	172.82	168.83	31000	1.46	0.0048	172.82	162.64
32000	1.34	0.0044	178.39	174.28	32000	1.50	0.0049	178.39	167.89
33000	1.38	0.0045	183.97	179.73	33000	1.55	0.0051	183.97	173.14
34000	1.42	0.0047	189.54	185.17	34000	1.60	0.0052	189.54	178.38
35000	1.47	0.0048	195.12	190.62	35000	1.64	0.0054	195.12	183.63
36000	1.51	0.0050	200.69	196.06	36000	1.69	0.0055	200.69	188.88
37000	1.55	0.0051	206.27	201.51	37000	1.74	0.0057	206.27	194.12
38000	1.59	0.0052	211.84	206.96	38000	1.78	0.0058	211.84	199.37
39000	1.63	0.0054	217.42	212.40	39000	1.83	0.0060	217.42	204.62
40000	1.68	0.0055	222.99	217.85	40000	1.92	0.0063	222.99	214.56
41000	1.72	0.0056	228.57	223.30	41000	2.00	0.0065	228.57	223.50
42000	1.76	0.0058	234.14	228.74	42000	2.14	0.0070	234.14	239.15
43000	1.86	0.0061	239.71	241.77	43000	2.27	0.0074	239.71	253.67
44000	1.94	0.0064	245.29	252.17	44000	2.32	0.0076	245.29	259.26
45000	2.10	0.0069	250.86	272.96					
46500	2.26	<b>0.0074</b>	<b>259.23</b>	<b>293.76</b>	<b>45900</b>	<b>2.47</b>	<b>0.0081</b>	<b>255.88</b>	<b>276.02</b>
Ecuación de la Recta:	Esf = 39560.16 * Def. Unit.				Ecuación de la Recta:	Esf = 34139.76 * Def. Unit.			
Coefficiente de Correlación:	0.9935				Coefficiente de Correlación:	0.9930			
Esfuerzo en el Limite Prop.:	293.76		Kg/cm <sup>2</sup>		Esfuerzo en el Limite Prop.:	276.02		Kg/cm <sup>2</sup>	
Deform. en el Limite Prop.:	0.0074		mm/mm		Deform. en el Limite Prop.:	0.0081		mm/mm	
Esfuerzo de rotura:	259.23		Kg/cm <sup>2</sup>		Esfuerzo de rotura:	255.88		Kg/cm <sup>2</sup>	
Módulo de Elasticidad :	222087.59		Kg/cm <sup>2</sup>		Módulo de Elasticidad :	218578.31		Kg/cm <sup>2</sup>	

Tabla 57: Deformación unitaria & Esfuerzo a la compresión a la edad de 28 días (Código: C° Normal 11).

Tabla 58: Deformación unitaria & Esfuerzo a la compresión a la edad de 28 días (Código: C° Normal 12).

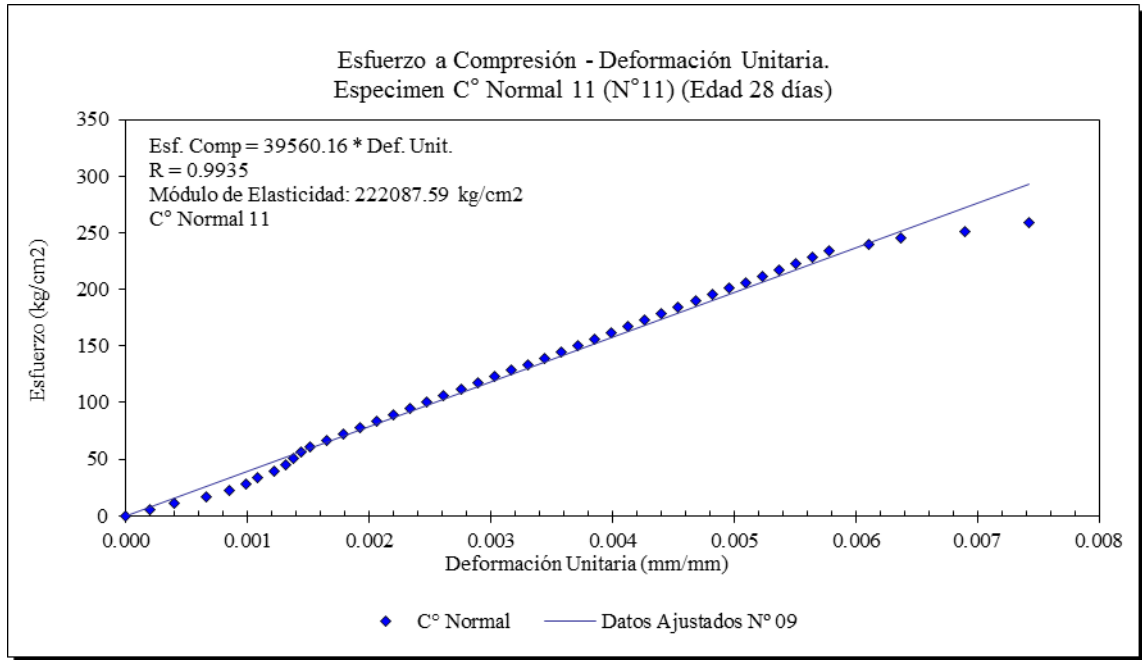


Gráfico 28: Esfuerzo a compresión vs Deformación unitaria a la edad de 28 días (Código: C° Normal 11).

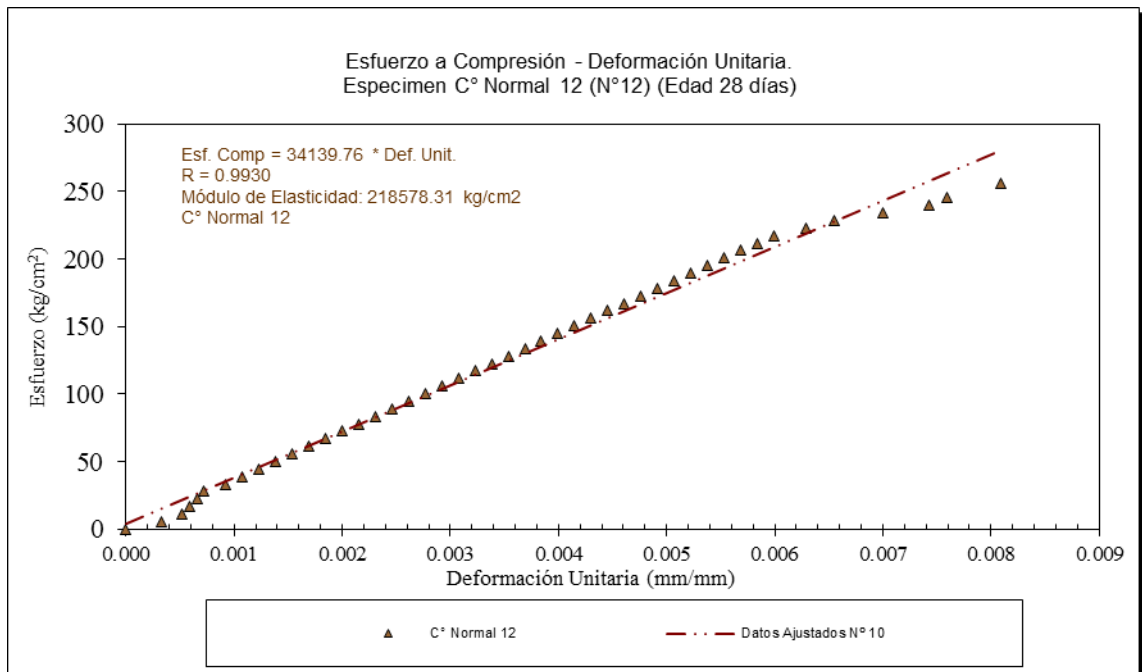
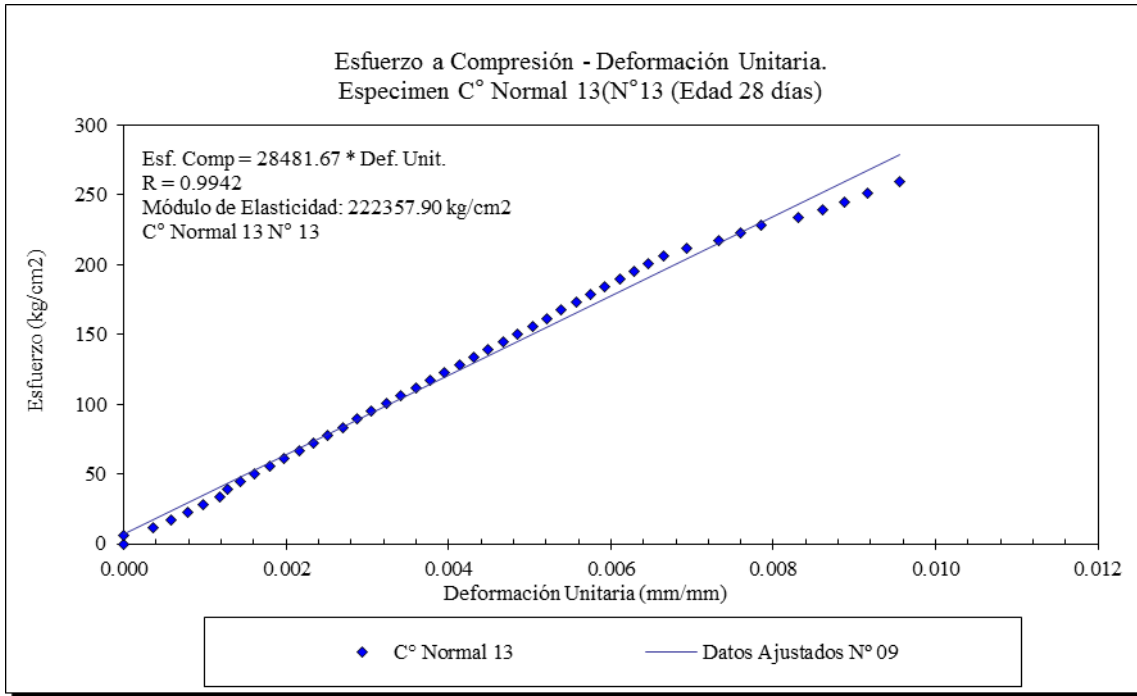


Gráfico 29: Esfuerzo a compresión vs Deformación unitaria a la edad de 28 días (Código: C° Normal 12).

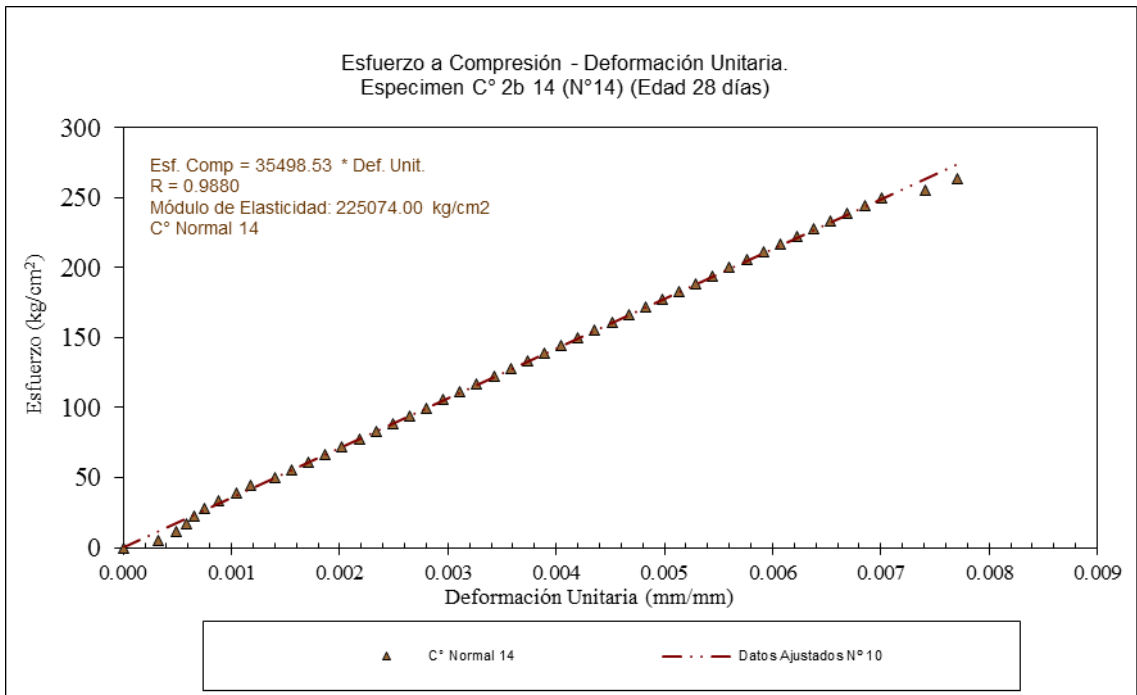
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. NTP 339.034					ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. NTP 339.034				
Nombre de Mezcla:		C° Normal 13			Nombre de Mezcla:		C° Normal 14		
Cemento:		TIPO ICo - ASTM C-1157/NTP 339.090			Cemento:		TIPO ICo - ASTM C-1157/NTP 339.090		
Fecha de Elaboración :		21/11/2018	Edad :	28 días	Fecha de Elaboración :		21/11/2018	Edad :	28 días
Fecha de Rotura :		19/12/2018			Fecha de Rotura :		19/12/2018		
Resistencia característica:		250	kg/cm <sup>2</sup>		Resistencia característica:		250	kg/cm <sup>2</sup>	
Altura:		305.5	mm		Altura:		304.85	mm	
Diámetro:		151.3	mm		Diámetro:		151.5	mm	
Área del Especimen:		179.73	cm <sup>2</sup>		Área del Especimen:		180.15	cm <sup>2</sup>	
ESPECIMEN N° 13					ESPECIMEN N° 14				
Carga (kg)	Def. (mm)	Deformación Unit.	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esf. Ajust. (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Def. (mm)	Deformación Unit.	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esf. Ajust. (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0	0.00	0.0000	0.00	0.00
1000	0.00	0.0000	5.57	0.00	1000	0.10	0.0003	5.55	11.64
2000	0.11	0.0004	11.15	10.23	2000	0.15	0.0005	11.10	17.47
3000	0.18	0.0006	16.72	16.78	3000	0.18	0.0006	16.65	20.96
4000	0.24	0.0008	22.30	22.38	4000	0.20	0.0007	22.20	23.29
5000	0.30	0.0010	27.87	27.97	5000	0.23	0.0008	27.75	26.78
6000	0.36	0.0012	33.45	33.56	6000	0.27	0.0009	33.31	31.44
7000	0.39	0.0013	39.02	36.36	7000	0.32	0.0010	38.86	37.26
8000	0.44	0.0014	44.60	40.93	8000	0.36	0.0012	44.41	41.92
9000	0.49	0.0016	50.17	46.05	9000	0.43	0.0014	49.96	49.72
10000	0.55	0.0018	55.75	51.17	10000	0.47	0.0016	55.51	55.25
11000	0.60	0.0020	61.32	56.28	11000	0.52	0.0017	61.06	60.77
12000	0.66	0.0022	66.90	61.40	12000	0.57	0.0019	66.61	66.30
13000	0.71	0.0023	72.47	66.52	13000	0.62	0.0020	72.16	71.82
14000	0.77	0.0025	78.05	71.63	14000	0.66	0.0022	77.71	77.35
15000	0.82	0.0027	83.62	76.75	15000	0.71	0.0023	83.26	82.87
16000	0.88	0.0029	89.20	81.87	16000	0.76	0.0025	88.81	88.40
17000	0.93	0.0031	94.77	86.98	17000	0.81	0.0026	94.37	93.92
18000	0.99	0.0032	100.35	92.10	18000	0.85	0.0028	99.92	99.45
19000	1.04	0.0034	105.92	97.22	19000	0.90	0.0030	105.47	104.97
20000	1.10	0.0036	111.50	102.33	20000	0.95	0.0031	111.02	110.50
21000	1.15	0.0038	117.07	107.45	21000	1.00	0.0033	116.57	116.02
22000	1.21	0.0040	122.64	112.57	22000	1.04	0.0034	122.12	121.55
23000	1.26	0.0041	128.22	117.68	23000	1.09	0.0036	127.67	127.07
24000	1.32	0.0043	133.79	122.80	24000	1.14	0.0037	133.22	132.60
25000	1.37	0.0045	139.37	127.92	25000	1.19	0.0039	138.77	138.12
26000	1.43	0.0047	144.94	133.03	26000	1.23	0.0040	144.32	143.65
27000	1.48	0.0049	150.52	138.15	27000	1.28	0.0042	149.88	149.17
28000	1.54	0.0050	156.09	143.27	28000	1.33	0.0044	155.43	154.70
29000	1.59	0.0052	161.67	148.38	29000	1.38	0.0045	160.98	160.22
30000	1.65	0.0054	167.24	153.50	30000	1.42	0.0047	166.53	165.75
31000	1.70	0.0056	172.82	158.62	31000	1.47	0.0048	172.08	171.27
32000	1.76	0.0057	178.39	163.73	32000	1.52	0.0050	177.63	176.80
33000	1.81	0.0059	183.97	168.85	33000	1.57	0.0051	183.18	182.32
34000	1.87	0.0061	189.54	173.97	34000	1.61	0.0053	188.73	187.85
35000	1.92	0.0063	195.12	179.08	35000	1.66	0.0054	194.28	193.37
36000	1.98	0.0065	200.69	184.20	36000	1.71	0.0056	199.83	198.90
37000	2.03	0.0066	206.27	189.32	37000	1.76	0.0058	205.38	204.42
38000	2.12	0.0069	211.84	197.65	38000	1.80	0.0059	210.94	209.95
39000	2.24	0.0073	217.42	208.83	39000	1.85	0.0061	216.49	215.47
40000	2.32	0.0076	222.99	216.29	40000	1.90	0.0062	222.04	221.00
41000	2.40	0.0079	228.57	223.75	41000	1.95	0.0064	227.59	226.52
42000	2.54	0.0083	234.14	236.80	42000	1.99	0.0065	233.14	232.05
43000	2.63	0.0086	239.71	245.19	43000	2.04	0.0067	238.69	237.57
44000	2.71	0.0089	245.29	252.65	44000	2.09	0.0068	244.24	243.10
45000	2.80	0.0092	250.86	261.04	45000	2.14	0.0070	249.79	248.62
46000	2.92	0.0096	259.78	272.23	46000	2.26	0.0074	255.34	263.17
					47500	2.35	0.0077	263.67	273.65
Ecuación de la Recta:		Esf = 28481.67 * Def. Unit.			Ecuación de la Recta:		Esf = 35498.53 * Def. Unit.		
Coeficiente de Correlación:		0.9942			Coeficiente de Correlación:		0.9880		
Esfuerzo en el Limite Prop.:		272.23	kg/cm <sup>2</sup>		Esfuerzo en el Limite Prop.:		273.65	kg/cm <sup>2</sup>	
Deform. en el Limite Prop.:		0.0096 mm/mm			Deform. en el Limite Prop.:		0.0077 mm/mm		
Esfuerzo de rotura:		259.78	kg/cm <sup>2</sup>		Esfuerzo de rotura:		263.67	kg/cm <sup>2</sup>	
Módulo de Elasticidad :		222357.90 kg/cm <sup>2</sup>			Módulo de Elasticidad :		225074.00 kg/cm <sup>2</sup>		

Tabla 59: Deformación unitaria & Esfuerzo a la compresión a la edad de 28 días (Código: C° Normal 13).

Tabla 60: Deformación unitaria & Esfuerzo a la compresión a la edad de 28 días (Código: C° Normal 14).



*Gráfico 30: Esfuerzo a compresión vs Deformación unitaria a la edad de 28 días (Código: C° Normal 13).*



*Gráfico 31: Esfuerzo a compresión vs Deformación unitaria a la edad de 28 días (Código: C° Normal 14).*

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. NTP 339.034				
Nombre de Mezcla:	C° Normal 15			
Cemento:	TIPO ICo - ASTM C-1157/NTP 339.090			
Fecha de Elaboración :	21/11/2018	Edad :	28 días	
Fecha de Rotura :	19/12/2018			
Resistencia característica:	250	kg/cm <sup>2</sup>		
Altura:	305.3	mm		
Diametro:	151.6	mm		
Área del Especimen:	180.4	cm <sup>2</sup>		
ESPECIMEN N° 12				
Carga (kg)	Def. (mm)	Deformación Unit.	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esf. Ajust. (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.0000	0.00	0.00
1000	0.06	0.0002	5.54	6.82
2000	0.10	0.0003	11.09	11.36
3000	0.14	0.0005	16.63	15.95
4000	0.18	0.0006	22.17	20.46
5000	0.24	0.0008	27.72	27.27
6000	0.28	0.0009	33.26	31.91
7000	0.34	0.0011	38.80	38.64
8000	0.38	0.0012	44.35	43.18
9000	0.42	0.0014	49.89	47.86
10000	0.47	0.0015	55.44	53.18
11000	0.51	0.0017	60.98	58.50
12000	0.56	0.0018	66.52	63.81
13000	0.61	0.0020	72.07	69.13
14000	0.66	0.0021	77.61	74.45
15000	0.70	0.0023	83.15	79.77
16000	0.75	0.0025	88.70	85.09
17000	0.80	0.0026	94.24	90.40
18000	0.84	0.0028	99.78	95.72
19000	0.89	0.0029	105.33	101.04
20000	0.94	0.0031	110.87	106.36
21000	0.98	0.0032	116.41	111.68
22000	1.03	0.0034	121.96	116.99
23000	1.08	0.0035	127.50	122.31
24000	1.12	0.0037	133.05	127.63
25000	1.17	0.0038	138.59	132.95
26000	1.22	0.0040	144.13	138.27
27000	1.26	0.0041	149.68	143.58
28000	1.30	0.0043	155.22	147.74
29000	1.36	0.0044	160.76	154.22
30000	1.40	0.0046	166.31	159.54
31000	1.45	0.0048	171.85	164.85
32000	1.50	0.0049	177.39	170.17
33000	1.54	0.0051	182.94	175.49
34000	1.60	0.0052	188.48	181.83
35000	1.64	0.0054	194.02	186.13
36000	1.68	0.0055	199.57	191.44
37000	1.74	0.0057	205.11	197.74
38000	1.78	0.0058	210.65	202.08
39000	1.82	0.0060	216.20	207.40
40000	1.86	0.0061	221.74	211.38
41000	1.92	0.0063	227.29	218.03
42000	1.98	0.0065	232.83	225.01
43000	2.07	0.0068	238.37	235.24
44000	2.18	0.0071	243.92	247.74
45000	2.28	0.0075	243.92	259.11
<b>46100</b>	<b>2.45</b>	<b>0.0080</b>	<b>255.56</b>	<b>278.43</b>
Ecuación de la Recta:	Esf = 34689.73		* Def. Unit.	
Coefficiente de Correlación:	0.9952			
Esfuerzo en el Limite Prop.:	278.43		Kg/cm <sup>2</sup>	
Deform. en el Limite Prop.:	0.0080		mm/mm	
Esfuerzo de rotura:	255.56		Kg/cm <sup>2</sup>	
Módulo de Elasticidad :	214145.51		Kg/cm <sup>2</sup>	

Tabla 61: Deformación unitaria & Esfuerzo a la compresión a la edad de 28 días (Código: C° Normal 15).



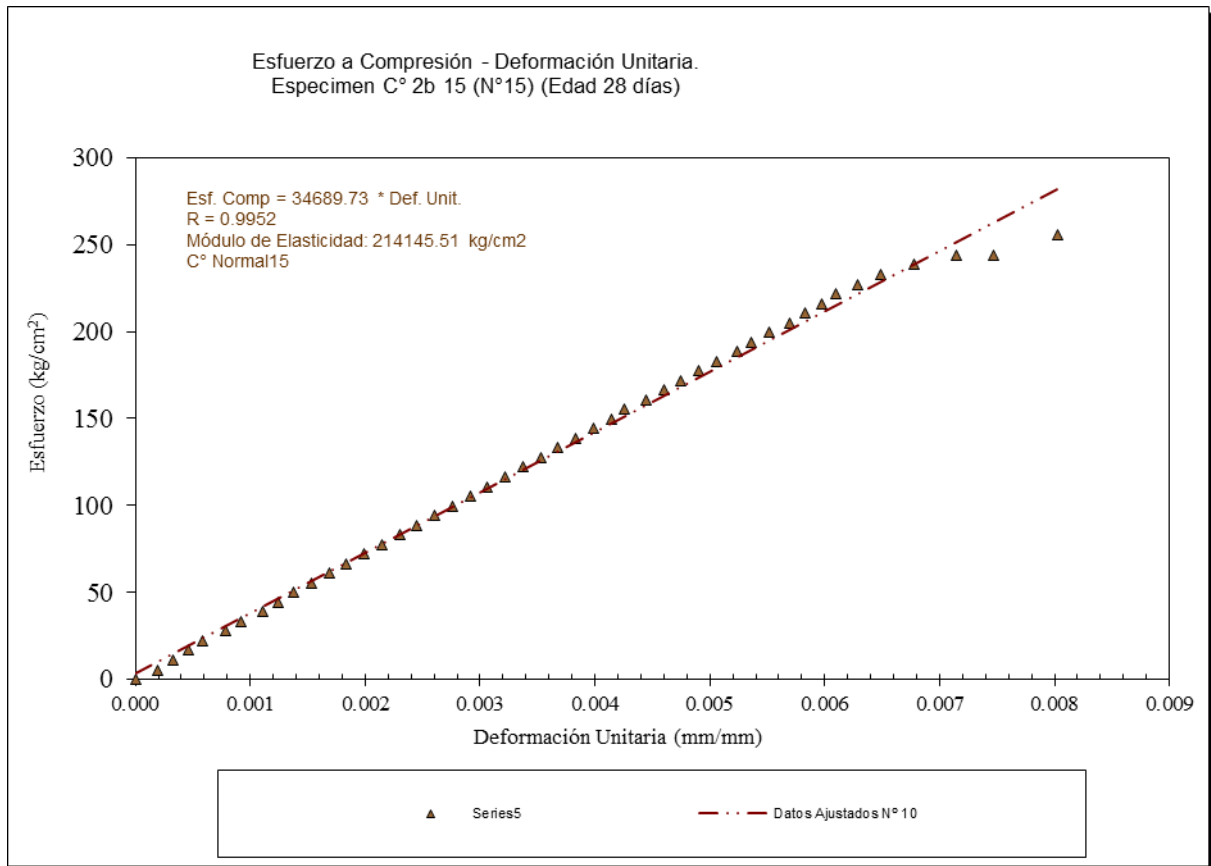


Gráfico 32: Esfuerzo a compresión vs Deformación unitaria a la edad de 28 días (Código: C° Normal 15).

## PIEDRA 4 2b (Con aditivo bacteriano)

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. NTP 339.034			
Nombre de Mezcla:	Piedra 4 2b 11		
Cemento:	TIPO ICo - ASTM C-1157/NTP 339.090		
Fecha de Elaboración :	21/11/2018	Edad :	28 días
Fecha de Rotura :	19/12/2018		
Resistencia característica:	250	kg/cm <sup>2</sup>	
Altura:	304.8	mm	
Diametro:	150.9	mm	
Área del Especimen:	178.72	cm <sup>2</sup>	

ESPECIMEN N° 11				
Carga (kg)	Def. (mm)	Deformación Unit.	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esf. Ajust. (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.0000	0.00	0.00
1000	0.05	0.0002	5.60	4.50
2000	0.15	0.0005	11.19	13.51
3000	0.23	0.0008	16.79	20.72
4000	0.30	0.0010	22.38	27.03
5000	0.35	0.0011	27.98	31.53
6000	0.38	0.0012	33.57	34.23
7000	0.41	0.0014	39.17	37.29
8000	0.47	0.0016	44.76	42.62
9000	0.53	0.0017	50.36	47.95
10000	0.59	0.0019	55.95	53.28
11000	0.65	0.0021	61.55	58.60
12000	0.71	0.0023	67.14	63.93
13000	0.77	0.0025	72.74	69.26
14000	0.83	0.0027	78.33	74.59
15000	0.89	0.0029	83.93	79.91
16000	0.95	0.0031	89.53	85.24
17000	1.01	0.0033	95.12	90.57
18000	1.06	0.0035	100.72	95.90
19000	1.12	0.0037	106.31	101.22
20000	1.18	0.0039	111.91	106.55
21000	1.24	0.0041	117.50	111.88
22000	1.30	0.0043	123.10	117.21
23000	1.36	0.0045	128.69	122.54
24000	1.42	0.0047	134.29	127.86
25000	1.48	0.0049	139.88	133.19
26000	1.54	0.0050	145.48	138.52
27000	1.60	0.0052	151.07	143.85
28000	1.66	0.0054	156.67	149.17
29000	1.71	0.0056	162.26	154.50
30000	1.77	0.0058	167.86	159.83
31000	1.83	0.0060	173.46	165.16
32000	1.89	0.0062	179.05	170.48
33000	1.95	0.0064	184.65	175.81
34000	2.01	0.0066	190.24	181.14
35000	2.07	0.0068	195.84	186.47
36000	2.14	0.0070	201.43	191.80
37000	2.20	0.0072	207.03	198.20
38000	2.28	0.0075	212.62	205.41
39000	2.31	0.0076	218.22	207.78
40000	2.34	0.0077	223.81	210.81
41000	2.42	0.0080	229.41	218.43
42000	2.50	0.0082	235.00	225.23
43000	2.62	0.0086	240.60	236.04
44000	2.70	0.0089	246.20	243.25
45000	2.76	0.0091	251.79	248.65
46000	2.85	0.0094	257.39	256.76
47000	2.92	0.0096	262.98	263.07
48000	3.02	0.0099	268.58	272.08
49000	3.12	0.0102	274.17	281.09
50000	3.25	0.0107	279.77	292.80
<b>52000</b>	<b>3.40</b>	<b>0.0112</b>	<b>290.96</b>	<b>306.31</b>

Ecuación de la Recta:	Esf = 27459.88	* Def. Unit.
Coefficiente de Correlación:	0.9973	
Esfuerzo en el Limite Prop.:	306.31	Kg/cm <sup>2</sup>
Deform. en el Limite Prop.:	0.0112	mm/mm
Esfuerzo de rotura:	290.96	Kg/cm <sup>2</sup>
Módulo de Elasticidad :	241116.99	Kg/cm <sup>2</sup>

Tabla 62: Deformación unitaria & Esfuerzo a la compresión a la edad de 28 días (Código: Piedra 4 2b 11).

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. NTP 339.034			
Nombre de Mezcla:	Piedra 4 2b 12		
Cemento:	TIPO ICo - ASTM C-1157/NTP 339.090		
Fecha de Elaboración :	21/11/2018	Edad :	28 días
Fecha de Rotura :	19/12/2018		
Resistencia característica:	250	kg/cm <sup>2</sup>	
Altura:	305	mm	
Diametro:	151.5	mm	
Área del Especimen:	180.27	cm <sup>2</sup>	

ESPECIMEN N° 12				
Carga (kg)	Def. (mm)	Deformación Unit.	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esf. Ajust. (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.0000	0.00	0.00
1000	0.06	0.0002	5.55	4.86
2000	0.12	0.0004	11.09	9.73
3000	0.17	0.0006	16.64	14.59
4000	0.23	0.0008	22.19	19.46
5000	0.29	0.0009	27.74	24.32
6000	0.35	0.0011	33.28	29.19
7000	0.40	0.0013	38.83	34.05
8000	0.46	0.0015	44.38	38.92
9000	0.52	0.0017	49.93	43.78
10000	0.58	0.0019	55.47	48.65
11000	0.63	0.0021	61.02	53.51
12000	0.69	0.0023	66.57	58.38
13000	0.75	0.0025	72.11	63.24
14000	0.81	0.0026	77.66	68.11
15000	0.86	0.0028	83.21	72.97
16000	0.92	0.0030	88.76	77.84
17000	0.98	0.0032	94.30	82.70
18000	1.04	0.0034	99.85	87.57
19000	1.09	0.0036	105.40	92.43
20000	1.15	0.0038	110.94	97.30
21000	1.21	0.0040	116.49	102.16
22000	1.27	0.0041	122.04	107.03
23000	1.32	0.0043	127.59	111.89
24000	1.38	0.0045	133.13	116.76
25000	1.44	0.0047	138.68	121.62
26000	1.50	0.0049	144.23	126.49
27000	1.55	0.0051	149.78	131.35
28000	1.61	0.0053	155.32	136.22
29000	1.67	0.0055	160.87	141.08
30000	1.73	0.0057	166.42	145.95
31000	1.78	0.0058	171.96	150.81
32000	1.84	0.0060	177.51	155.68
33000	1.90	0.0062	183.06	160.54
34000	1.96	0.0064	188.61	165.41
35000	2.01	0.0066	194.15	170.27
36000	2.07	0.0068	199.70	175.13
37000	2.13	0.0070	205.25	180.00
38000	2.19	0.0072	210.79	184.86
39000	2.24	0.0074	216.34	189.73
40000	2.30	0.0075	221.89	194.59
41000	2.36	0.0077	227.44	199.46
42000	2.48	0.0081	232.98	209.82
43000	2.59	0.0085	238.53	219.12
44000	2.65	0.0087	244.08	224.20
45000	2.72	0.0089	249.63	230.12
46000	2.95	0.0097	255.17	249.58
47000	3.14	0.0103	260.72	265.66
48000	3.28	0.0108	266.27	277.50
49000	3.36	0.0110	271.81	284.27
50000	3.46	0.0113	277.36	292.73
<b>51500</b>	<b>3.65</b>	<b>0.0120</b>	<b>285.68</b>	<b>308.80</b>

Ecuación de la Recta:	Esf = 25804.23	* Def. Unit.
Coefficiente de Correlación:	0.9906	
Esfuerzo en el Limite Prop.:	308.80	Kg/cm <sup>2</sup>
Deform. en el Limite Prop.:	0.0120	mm/mm
Esfuerzo de rotura:	285.68	Kg/cm <sup>2</sup>
Módulo de Elasticidad :	237674.81	Kg/cm <sup>2</sup>

Tabla 63: Deformación unitaria & Esfuerzo a la compresión a la edad de 28 días (Código: Piedra 4 2b 12).

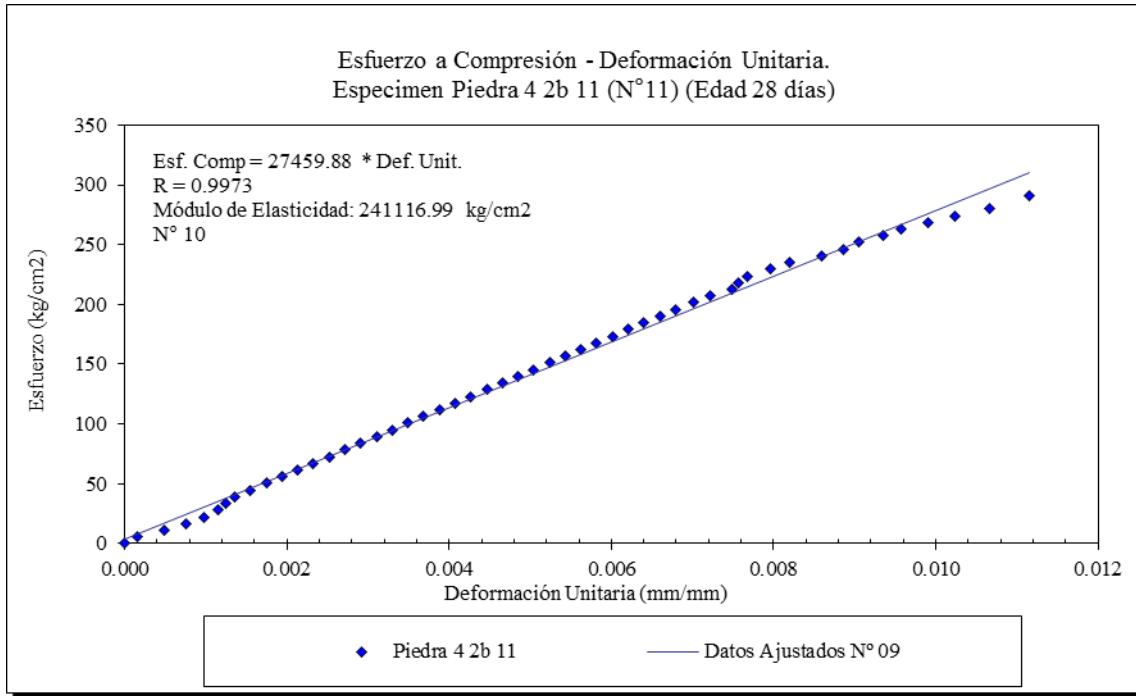


Gráfico 33: Esfuerzo a compresión vs Deformación unitaria a la edad de 28 días (Código: Piedra 4 2b 11).

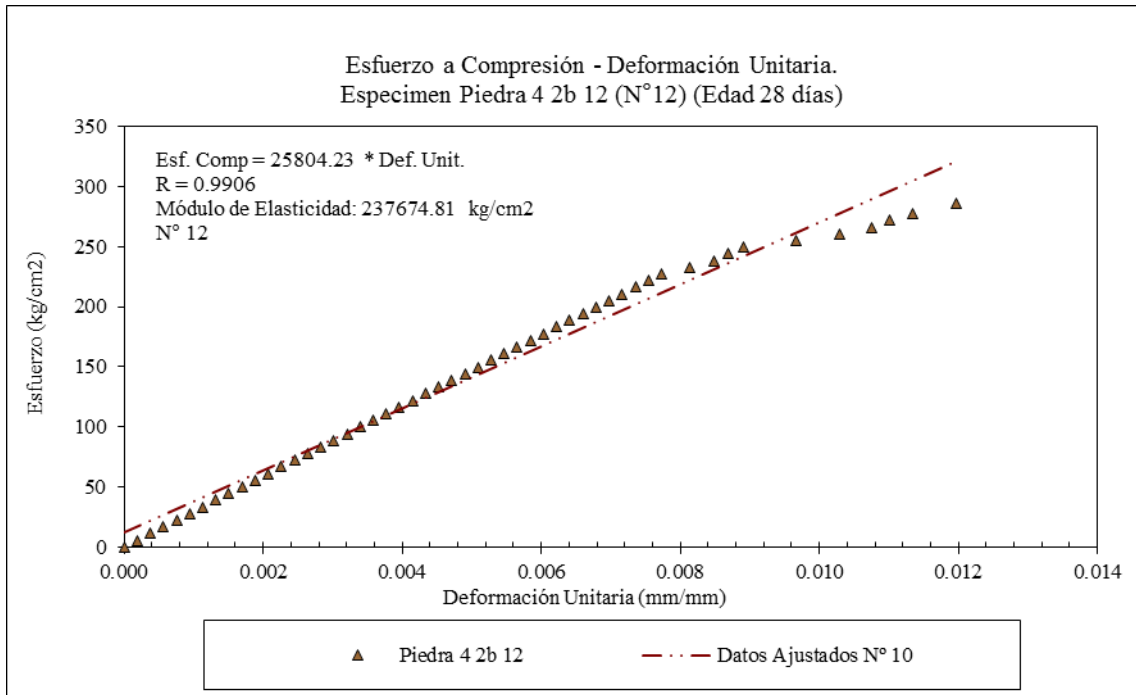


Gráfico 34: Esfuerzo a compresión vs Deformación unitaria a la edad de 28 días (Código: Piedra 4 2b 12).

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. NTP 339.034				
Nombre de Mezcla:		Piedra 4 2b 13		
Cemento:		TIPO ICo - ASTM C-1157/NTP 339.090		
Fecha de Elaboración :		21/11/2018	Edad :	28 días
Fecha de Rotura :		19/12/2018		
Resistencia característica:		250	kg/cm <sup>2</sup>	
Altura:		304.9	mm	
Diámetro:		151.8	mm	
Área del Especimen:		180.86	cm <sup>2</sup>	
ESPECIMEN N° 13				
Carga (kg)	Def. (mm)	Deformación Unit.	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esf. Ajust. (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.0000	0.00	0.00
1000	0.12	0.0004	5.60	10.99
2000	0.25	0.0008	11.19	22.89
3000	0.30	0.0010	16.79	27.47
4000	0.34	0.0011	22.38	31.14
5000	0.38	0.0012	27.98	34.80
6000	0.40	0.0013	33.57	36.63
7000	0.43	0.0014	39.17	38.98
8000	0.49	0.0016	44.76	44.54
9000	0.55	0.0018	50.36	50.11
10000	0.61	0.0020	55.95	55.68
11000	0.67	0.0022	61.55	61.25
12000	0.73	0.0024	67.14	66.81
13000	0.79	0.0026	72.74	72.38
14000	0.85	0.0028	78.33	77.95
15000	0.91	0.0030	83.93	83.52
16000	0.97	0.0032	89.53	89.09
17000	1.03	0.0034	95.12	94.65
18000	1.09	0.0036	100.72	100.22
19000	1.16	0.0038	106.31	105.79
20000	1.22	0.0040	111.91	111.36
21000	1.28	0.0042	117.50	116.93
22000	1.34	0.0044	123.10	122.49
23000	1.40	0.0046	128.69	128.06
24000	1.46	0.0048	134.29	133.63
25000	1.52	0.0050	139.88	139.20
26000	1.58	0.0052	145.48	144.77
27000	1.64	0.0054	151.07	150.33
28000	1.70	0.0056	156.67	155.90
29000	1.76	0.0058	162.26	161.47
30000	1.82	0.0060	167.86	167.04
31000	1.88	0.0062	173.46	172.60
32000	1.95	0.0064	179.05	178.17
33000	2.01	0.0066	184.65	183.74
34000	2.07	0.0068	190.24	189.31
35000	2.13	0.0070	195.84	194.88
36000	2.19	0.0072	201.43	200.44
37000	2.25	0.0074	207.03	206.01
38000	2.31	0.0076	212.62	211.58
39000	2.37	0.0078	218.22	217.15
40000	2.43	0.0080	223.81	222.72
41000	2.49	0.0082	229.41	228.28
42000	2.55	0.0084	235.00	233.85
43000	2.61	0.0086	240.60	239.42
44000	2.68	0.0088	246.20	244.99
45000	2.74	0.0090	251.79	250.56
46000	2.82	0.0092	257.39	256.12
47000	2.90	0.0095	262.98	261.69
48000	2.98	0.0098	268.58	267.25
49000	3.05	0.0100	274.17	272.82
50000	3.15	0.0103	279.77	278.38
<b>52500</b>	<b>3.42</b>	<b>0.0112</b>	<b>293.76</b>	<b>313.20</b>
Ecuación de la Recta:		Esf = 27922.57 * Def. Unit.		
Coeficiente de Correlación:		0.9991		
Esfuerzo en el Limite Prop.:		313.20	kg/cm <sup>2</sup>	
Deform. en el Limite Prop.:		0.0112	mm/mm	
Esfuerzo de rotura:		293.76	kg/cm <sup>2</sup>	
Módulo de Elasticidad :		242308.15	kg/cm <sup>2</sup>	

Tabla 64: Deformación unitaria & Esfuerzo a la compresión a la edad de 28 días (Código: Piedra 4 2b 13).

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. NTP 339.034				
Nombre de Mezcla:		Piedra 4 2b 14		
Cemento:		TIPO ICo - ASTM C-1157/NTP 339.090		
Fecha de Elaboración :		21/11/2018	Edad :	28 días
Fecha de Rotura :		19/12/2018		
Resistencia característica:		250	kg/cm <sup>2</sup>	
Altura:		305.5	mm	
Diámetro:		151.3	mm	
Área del Especimen:		179.85	cm <sup>2</sup>	
ESPECIMEN N° 14				
Carga (kg)	Def. (mm)	Deformación Unit.	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esf. Ajust. (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.0000	0.00	0.00
1000	0.12	0.0004	5.56	12.95
2000	0.22	0.0007	11.12	23.75
3000	0.28	0.0009	16.68	30.23
4000	0.34	0.0011	22.24	36.70
5000	0.38	0.0012	27.80	41.02
6000	0.42	0.0014	33.36	45.34
7000	0.46	0.0015	38.92	49.66
8000	0.50	0.0016	44.48	53.98
9000	0.55	0.0018	50.04	59.37
10000	0.60	0.0020	55.60	64.77
11000	0.62	0.0020	61.16	66.93
12000	0.64	0.0021	66.72	69.09
13000	0.66	0.0022	72.28	71.25
14000	0.69	0.0023	77.84	74.96
15000	0.74	0.0024	83.40	80.31
16000	0.79	0.0026	88.96	85.67
17000	0.84	0.0028	94.52	91.02
18000	0.89	0.0029	100.08	96.38
19000	0.94	0.0031	105.64	101.73
20000	0.99	0.0032	111.20	107.08
21000	1.04	0.0034	116.76	112.44
22000	1.09	0.0036	122.32	117.79
23000	1.14	0.0037	127.88	123.15
24000	1.19	0.0039	133.44	128.50
25000	1.24	0.0041	139.00	133.86
26000	1.29	0.0042	144.56	139.21
27000	1.34	0.0044	150.13	144.56
28000	1.39	0.0045	155.69	149.92
29000	1.44	0.0047	161.25	155.27
30000	1.49	0.0049	166.81	160.63
31000	1.54	0.0050	172.37	165.98
32000	1.59	0.0052	177.93	171.33
33000	1.64	0.0054	183.49	176.69
34000	1.69	0.0055	189.05	182.04
35000	1.74	0.0057	194.61	187.40
36000	1.79	0.0058	200.17	192.75
37000	1.84	0.0060	205.73	198.11
38000	1.88	0.0062	211.29	203.46
39000	1.93	0.0063	216.85	208.81
40000	1.98	0.0065	222.41	214.17
41000	2.03	0.0067	227.97	219.52
42000	2.08	0.0068	233.53	224.88
43000	2.13	0.0070	239.09	230.23
44000	2.18	0.0071	244.65	235.59
45000	2.23	0.0073	250.21	240.94
46000	2.28	0.0075	255.77	246.29
47000	2.33	0.0076	261.33	251.65
48000	2.40	0.0079	266.89	257.00
49000	2.54	0.0083	272.45	262.35
50000	2.62	0.0086	278.01	267.70
51000	2.74	0.0090	283.57	273.05
52000	2.81	0.0092	289.13	278.40
53000	2.92	0.0096	294.69	283.75
54000	3.04	0.0100	300.25	289.10
<b>53900</b>	<b>3.12</b>	<b>0.0102</b>	<b>299.69</b>	<b>336.81</b>
Ecuación de la Recta:		Esf = 32979.41 * Def. Unit.		
Coeficiente de Correlación:		0.9935		
Esfuerzo en el Limite Prop.:		336.81	kg/cm <sup>2</sup>	
Deform. en el Limite Prop.:		0.0102	mm/mm	
Esfuerzo de rotura:		300.25	kg/cm <sup>2</sup>	
Módulo de Elasticidad :		245483.91	kg/cm <sup>2</sup>	

Tabla 65: Deformación unitaria & Esfuerzo a la compresión a la edad de 28 días (Código: Piedra 4 2b 14).

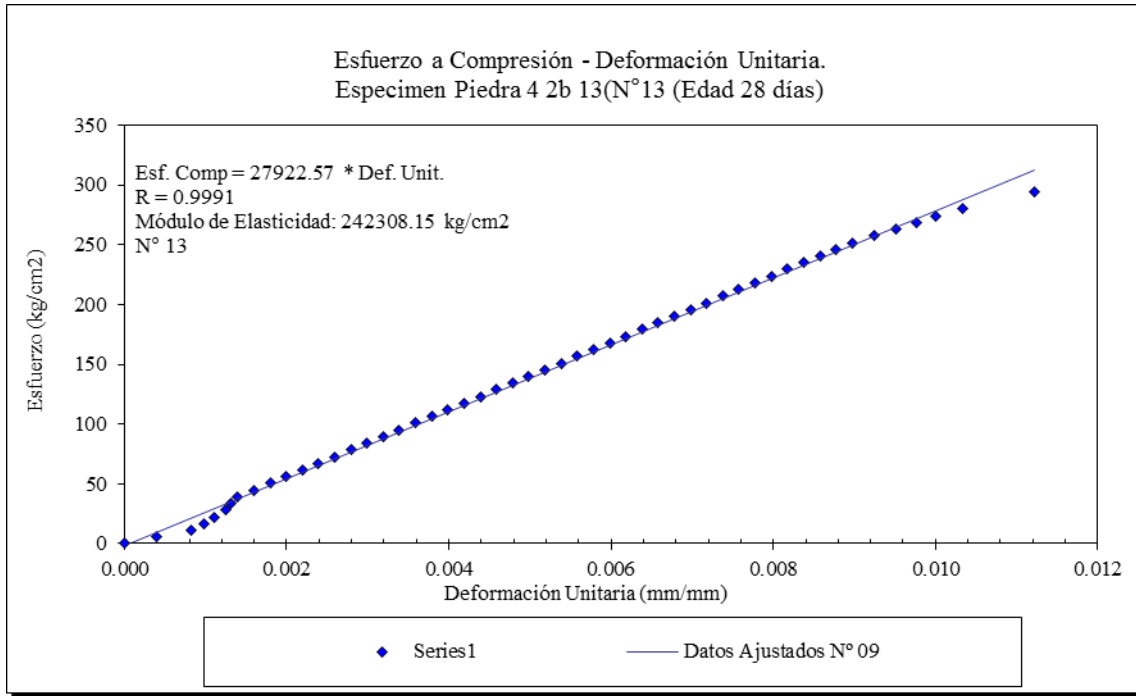


Gráfico 35: Esfuerzo a compresión vs Deformación unitaria a la edad de 28 días (Código: Piedra 4 2b 13).

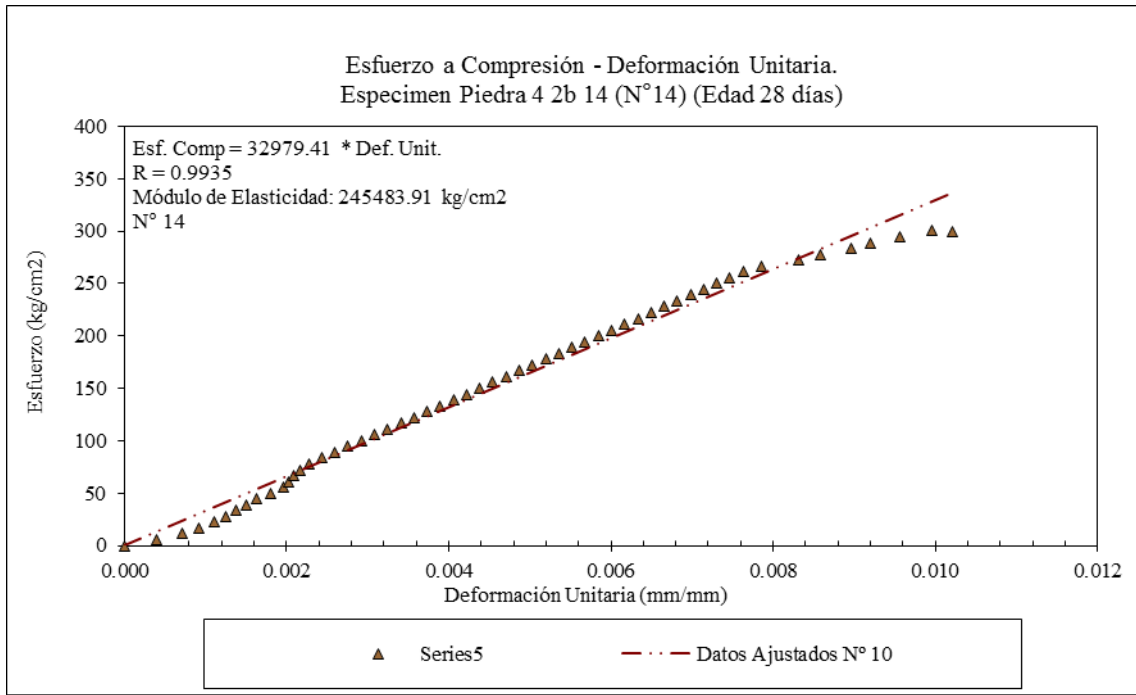


Gráfico 36: Esfuerzo a compresión vs Deformación unitaria a la edad de 28 días (Código: Piedra 4 2b 14).

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. NTP 339.034				
Nombre de Mezcla:	Piedra 4 2b 15			
Cemento:	TIPO ICo - ASTM C-1157/NTP 339.090			
Fecha de Elaboración :	21/11/2018	Edad :	28 días	
Fecha de Rotura :	19/12/2018			
Resistencia característica:	250	kg/cm <sup>2</sup>		
Altura:	304.55	mm		
Diametro:	150.5	mm		
Área del Especimen:	177.95	cm <sup>2</sup>		
ESPECIMEN N° 15				
Carga (kg)	Def. (mm)	Deformación Unit.	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esf. Ajust. (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.0000	0.00	0.00
1000	0.07	0.0002	5.62	8.24
2000	0.10	0.0003	11.24	11.77
3000	0.15	0.0005	16.86	17.66
4000	0.20	0.0007	22.48	23.54
5000	0.26	0.0009	28.10	30.61
6000	0.31	0.0010	33.72	36.49
7000	0.36	0.0012	39.34	42.38
8000	0.38	0.0012	44.96	44.73
9000	0.42	0.0014	50.58	49.36
10000	0.47	0.0015	56.20	54.84
11000	0.51	0.0017	61.82	60.33
12000	0.56	0.0018	67.43	65.81
13000	0.61	0.0020	73.05	71.30
14000	0.65	0.0021	78.67	76.78
15000	0.70	0.0023	84.29	82.26
16000	0.75	0.0024	89.91	87.75
17000	0.79	0.0026	95.53	93.23
18000	0.84	0.0028	101.15	98.72
19000	0.89	0.0029	106.77	104.20
20000	0.93	0.0031	112.39	109.69
21000	0.98	0.0032	118.01	115.17
22000	1.02	0.0034	123.63	120.65
23000	1.07	0.0035	129.25	126.14
24000	1.12	0.0037	134.87	131.62
25000	1.16	0.0038	140.49	137.11
26000	1.21	0.0040	146.11	142.59
27000	1.26	0.0041	151.73	148.07
28000	1.30	0.0043	157.35	153.56
29000	1.35	0.0044	162.97	159.04
30000	1.40	0.0046	168.59	164.53
31000	1.44	0.0047	174.21	170.01
32000	1.49	0.0049	179.83	175.50
33000	1.54	0.0050	185.45	180.98
34000	1.58	0.0052	191.06	186.46
35000	1.63	0.0054	196.68	191.95
36000	1.68	0.0055	202.30	197.43
37000	1.72	0.0057	207.92	202.92
38000	1.77	0.0058	213.54	208.40
39000	1.82	0.0060	219.16	213.89
40000	1.86	0.0061	224.78	219.37
41000	1.91	0.0063	230.40	224.85
42000	1.96	0.0064	236.02	230.34
43000	2.00	0.0066	241.64	235.82
44000	2.05	0.0067	247.26	241.31
45000	2.10	0.0069	252.88	246.79
46000	2.14	0.0070	258.50	252.28
47000	2.19	0.0072	264.12	257.76
48000	2.24	0.0073	269.74	263.24
49000	2.28	0.0075	275.36	268.73
50000	2.35	0.0077	280.98	276.65
51000	2.42	0.0079	286.60	284.89
52000	2.54	0.0083	292.22	299.01
53000	2.62	0.0086	297.84	308.43
<b>54500</b>	<b>2.85</b>	<b>0.0094</b>	<b>306.27</b>	<b>335.51</b>
Ecuación de la Recta:	Esf = 35852.24		* Def. Unit.	
Coeficiente de Correlación:	0.9982			
Esfuerzo en el Limite Prop.:	335.51		Kg/cm <sup>2</sup>	
Deform. en el Limite Prop.:	0.0094		mm/mm	
Esfuerzo de rotura:	306.27		Kg/cm <sup>2</sup>	
Módulo de Elasticidad :	248673.15		Kg/cm <sup>2</sup>	

Tabla 66: Deformación unitaria & Esfuerzo a la compresión a la edad de 28 días (Código: Piedra 4 2b 15).

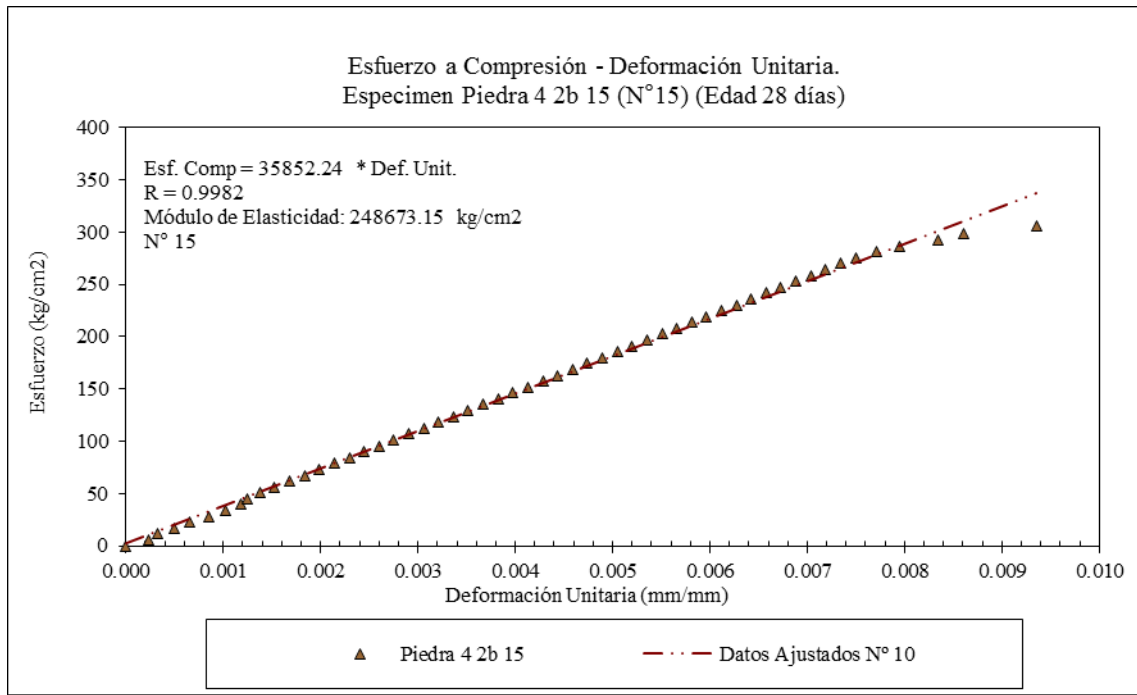


Gráfico 37: Esfuerzo a compresión vs Deformación unitaria a la edad de 28 días (Código: Piedra 4 2b 15).

### C° 2b (Concreto con aditivo bacteriano)

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. NTP 339.034				
Nombre de Mezcla:		C° 2b 11		
Cemento:		TIPO ICo - ASTM C-1157/NTP 339.090		
Fecha de Elaboración :		21/11/2018	Edad : 28 días	
Fecha de Rotura :		19/12/2018		
Resistencia característica:		250	kg/cm <sup>2</sup>	
Altura:		304.6	mm	
Diámetro:		151.3	mm	
Área del Especimen:		179.85	cm <sup>2</sup>	
ESPECIMEN N° 11				
Carga (kg)	Def. (mm)	Deformación Unit.	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esf. Ajust. (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.0000	0.00	0.00
1000	0.12	0.0004	5.56	10.15
2000	0.15	0.0005	11.12	12.69
3000	0.23	0.0008	16.68	19.45
4000	0.25	0.0008	22.24	21.14
5000	0.30	0.0010	27.80	25.37
6000	0.35	0.0011	33.36	29.60
7000	0.42	0.0014	38.92	35.52
8000	0.45	0.0015	44.48	38.06
9000	0.51	0.0017	50.04	43.08
10000	0.57	0.0019	55.60	47.86
11000	0.62	0.0020	61.16	52.65
12000	0.68	0.0022	66.72	57.44
13000	0.74	0.0024	72.28	62.22
14000	0.79	0.0026	77.84	67.01
15000	0.85	0.0028	83.40	71.80
16000	0.91	0.0030	88.96	76.58
17000	0.96	0.0032	94.52	81.37
18000	1.02	0.0033	100.08	86.15
19000	1.08	0.0035	105.64	90.94
20000	1.13	0.0037	111.20	95.73
21000	1.19	0.0039	116.76	100.51
22000	1.25	0.0041	122.32	105.30
23000	1.30	0.0043	127.88	110.09
24000	1.36	0.0045	133.44	114.87
25000	1.41	0.0046	139.00	119.66
26000	1.47	0.0048	144.56	124.45
27000	1.53	0.0050	150.13	129.23
28000	1.58	0.0052	155.69	134.02
29000	1.64	0.0054	161.25	138.80
30000	1.70	0.0056	166.81	143.59
31000	1.75	0.0058	172.37	148.38
32000	1.81	0.0059	177.93	153.16
33000	1.87	0.0061	183.49	157.95
34000	1.92	0.0063	189.05	162.74
35000	1.98	0.0065	194.61	167.52
36000	2.04	0.0067	200.17	172.31
37000	2.09	0.0069	205.73	177.10
38000	2.15	0.0071	211.29	181.88
39000	2.21	0.0072	216.85	186.67
40000	2.26	0.0074	222.41	191.45
41000	2.32	0.0076	227.97	196.24
42000	2.38	0.0078	233.53	201.03
43000	2.43	0.0080	239.09	205.81
44000	2.49	0.0082	244.65	210.60
45000	2.57	0.0084	250.21	215.39
46000	2.62	0.0086	255.77	220.18
47000	2.73	0.0090	261.33	230.88
48000	2.80	0.0092	266.89	236.80
49000	2.98	0.0098	272.45	252.03
50000	3.10	0.0102	278.01	262.17
51000	3.20	0.0105	283.57	270.63
52000	3.32	0.0109	289.13	280.78
53000	3.40	0.0112	294.69	287.55
54000	3.53	0.0116	300.25	298.54
55000	3.64	0.0120	305.81	307.84
56000	3.70	0.0121	311.37	312.92
57000	3.81	0.0125	316.93	322.22
58000	3.90	0.0128	322.49	329.83
59000	4.00	0.0131	328.05	338.29
60000	4.05	0.0133	333.61	342.52
<b>60500</b>	<b>4.15</b>	<b>0.0136</b>	<b>336.39</b>	<b>350.97</b>
Ecuación de la Recta:		Esf = 25756.45	* Def. Unit.	
Coeficiente de Correlación:		0.9905		
Esfuerzo en el Limite Prop.:		350.97	Kg/cm <sup>2</sup>	
Deform. en el Limite Prop.:		0.0136	mm/mm	
Esfuerzo de rotura:		336.39	Kg/cm <sup>2</sup>	
Módulo de Elasticidad :		240433.85	Kg/cm <sup>2</sup>	

Tabla 67: Deformación unitaria & Esfuerzo a la compresión a la edad de 28 días (Código: C° 2b 11).

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. NTP 339.034				
Nombre de Mezcla:		C° 2b 12		
Cemento:		TIPO ICo - ASTM C-1157/NTP 339.090		
Fecha de Elaboración :		21/11/2018	Edad : 28 días	
Fecha de Rotura :		19/12/2018		
Resistencia característica:		250	kg/cm <sup>2</sup>	
Altura:		304.5	mm	
Diámetro:		151.5	mm	
Área del Especimen:		180.33	cm <sup>2</sup>	
ESPECIMEN N° 12				
Carga (kg)	Def. (mm)	Deformación Unit.	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esf. Ajust. (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.0000	0.00	0.00
1000	0.11	0.0004	5.55	10.49
2000	0.15	0.0005	11.09	14.30
3000	0.20	0.0007	16.64	19.07
4000	0.25	0.0008	22.18	23.83
5000	0.30	0.0010	27.73	28.60
6000	0.35	0.0011	33.27	33.37
7000	0.40	0.0013	38.82	38.13
8000	0.45	0.0015	44.36	42.84
9000	0.51	0.0017	49.91	48.20
10000	0.56	0.0018	55.45	53.56
11000	0.62	0.0020	61.00	58.91
12000	0.67	0.0022	66.54	64.27
13000	0.73	0.0024	72.09	69.62
14000	0.79	0.0026	77.64	74.98
15000	0.84	0.0028	83.18	80.33
16000	0.90	0.0030	88.73	85.69
17000	0.96	0.0031	94.27	91.04
18000	1.01	0.0033	99.82	96.40
19000	1.07	0.0035	105.36	101.76
20000	1.12	0.0037	110.91	107.11
21000	1.18	0.0039	116.45	112.47
22000	1.24	0.0041	122.00	117.82
23000	1.29	0.0042	127.54	123.18
24000	1.35	0.0044	133.09	128.53
25000	1.40	0.0046	138.63	133.89
26000	1.46	0.0048	144.18	139.25
27000	1.52	0.0050	149.73	144.60
28000	1.57	0.0052	155.27	149.96
29000	1.63	0.0054	160.82	155.31
30000	1.69	0.0055	166.36	160.67
31000	1.74	0.0057	171.91	166.02
32000	1.80	0.0059	177.45	171.38
33000	1.85	0.0061	183.00	176.73
34000	1.91	0.0063	188.54	182.09
35000	1.97	0.0065	194.09	187.45
36000	2.02	0.0066	199.63	192.80
37000	2.08	0.0068	205.18	198.16
38000	2.13	0.0070	210.72	203.51
39000	2.19	0.0072	216.27	208.87
40000	2.25	0.0074	221.82	214.22
41000	2.30	0.0076	227.36	219.58
42000	2.36	0.0077	232.91	224.93
43000	2.42	0.0079	238.45	230.29
44000	2.47	0.0081	244.00	235.65
45000	2.53	0.0083	249.54	241.00
46000	2.58	0.0085	255.09	246.36
47000	2.64	0.0087	260.63	251.71
48000	2.70	0.0089	266.18	257.07
49000	2.75	0.0090	271.72	262.42
50000	2.81	0.0092	277.27	267.78
51000	2.87	0.0094	282.81	273.13
52000	2.92	0.0096	288.36	278.49
53000	2.98	0.0098	293.91	283.85
54000	3.03	0.0100	299.45	289.20
55000	3.09	0.0101	305.00	294.56
56000	3.15	0.0103	310.54	299.91
57000	3.22	0.0106	316.09	306.96
58000	3.36	0.0110	321.63	320.31
59000	3.44	0.0113	327.18	327.93
60000	3.52	0.0116	332.72	335.56
61000	3.64	0.0120	338.27	347.00
62000	3.72	0.0122	343.81	354.62
63000	3.85	0.0126	349.36	367.02
<b>63500</b>	<b>3.96</b>	<b>0.0130</b>	<b>352.13</b>	<b>377.50</b>
Ecuación de la Recta:		Esf = 29027.72	* Def. Unit.	
Coeficiente de Correlación:		0.9974		
Esfuerzo en el Limite Prop.:		377.50	Kg/cm <sup>2</sup>	
Deform. en el Limite Prop.:		0.0130	mm/mm	
Esfuerzo de rotura:		352.13	Kg/cm <sup>2</sup>	
Módulo de Elasticidad :		246513.62	Kg/cm <sup>2</sup>	

Tabla 68: Deformación unitaria & Esfuerzo a la compresión a la edad de 28 días (Código: C° 2b 12).



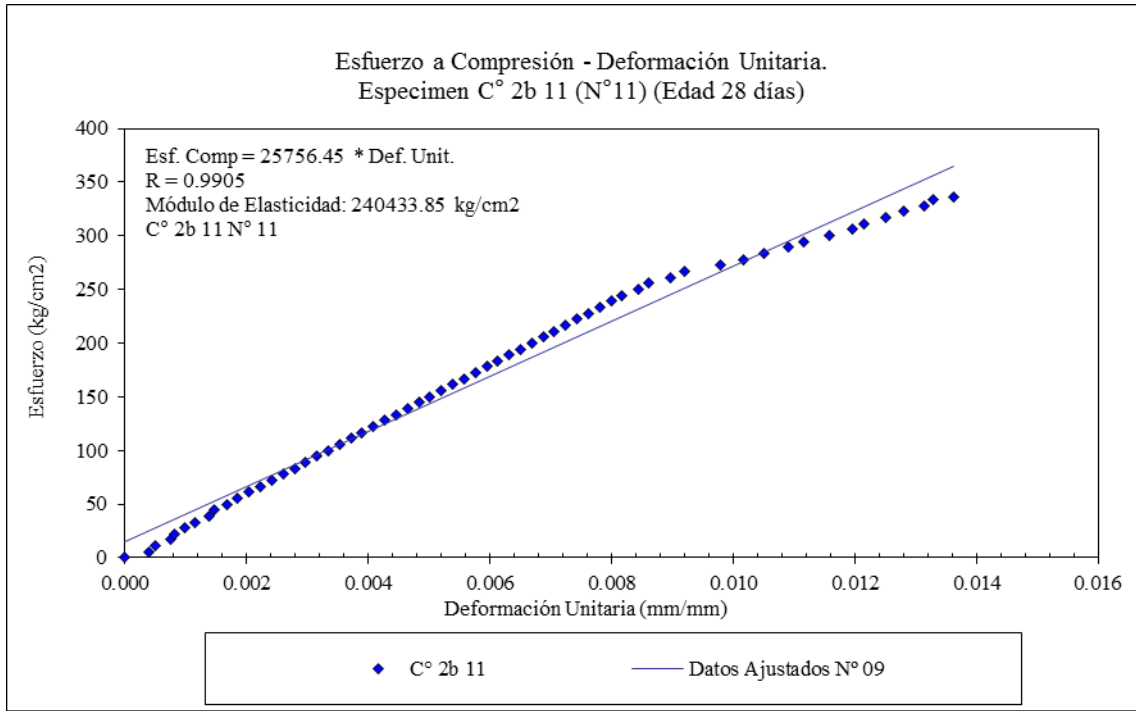


Gráfico 38: Esfuerzo a compresión vs Deformación unitaria a la edad de 28 días (Código: C° 2b 11).

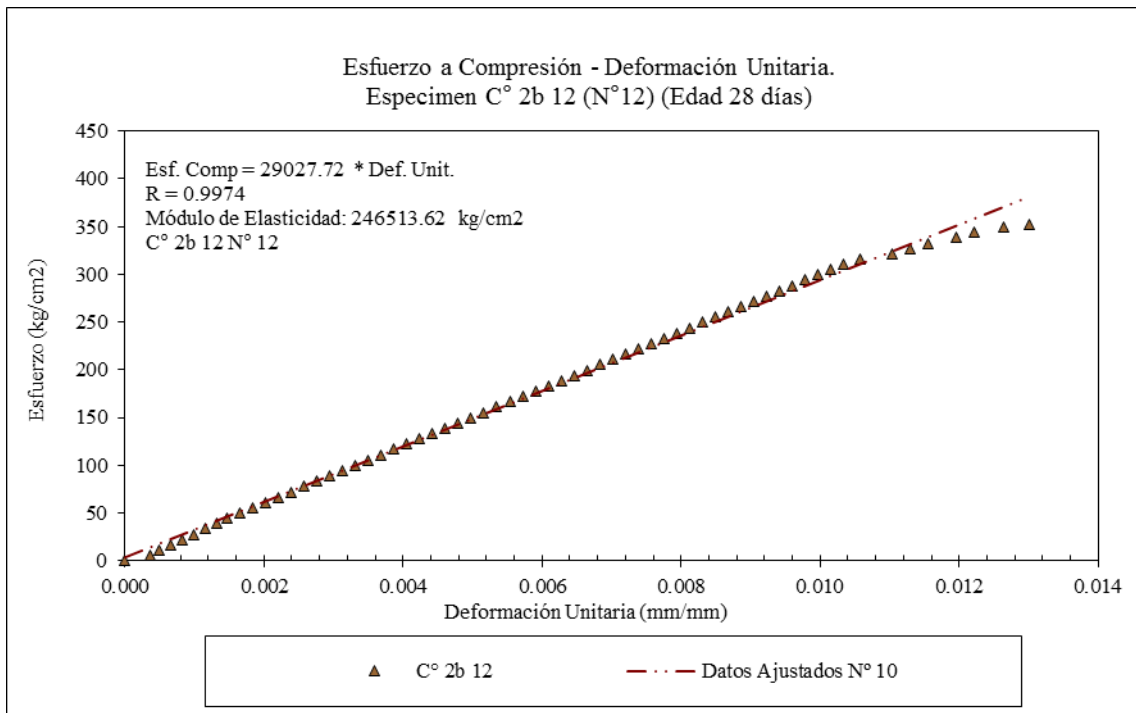


Gráfico 39: Esfuerzo a compresión vs Deformación unitaria a la edad de 28 días (Código: C° 2b 12).

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. NTP 339.034				
Nombre de Mezcla:	C° 2b 13			
Cemento:	TIPO ICo - ASTM C-1157/NTP 339.090			
Fecha de Elaboración :	21/11/2018	Edad :	28 días	
Fecha de Rotura :	19/12/2018			
Resistencia característica:	250	kg/cm <sup>2</sup>		
Altura:	305.6	mm		
Diametro:	151.0	mm		
Área del Especimen:	179.14	cm <sup>2</sup>		

ESPECIMEN N° 11				
Carga (kg)	Def. (mm)	Deformación Unit.	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esf. Ajust. (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.0000	0.00	0.00
1000	0.18	0.0006	5.56	19.94
2000	0.25	0.0008	11.12	27.70
3000	0.32	0.0010	16.68	35.45
4000	0.38	0.0012	22.24	42.10
5000	0.44	0.0014	27.80	48.74
6000	0.52	0.0017	33.36	57.61
7000	0.60	0.0020	38.92	66.47
8000	0.65	0.0021	44.48	72.01
9000	0.68	0.0022	50.04	75.33
10000	0.72	0.0024	55.60	79.76
11000	0.75	0.0025	61.16	83.09
12000	0.78	0.0026	66.72	86.41
13000	0.80	0.0026	72.28	88.62
14000	0.82	0.0027	77.84	90.84
15000	0.84	0.0027	83.40	93.06
16000	0.86	0.0028	88.96	95.27
17000	0.88	0.0029	94.52	97.49
18000	0.90	0.0029	100.08	99.70
19000	0.93	0.0031	105.64	103.42
20000	0.98	0.0032	111.20	108.87
21000	1.03	0.0034	116.76	114.31
22000	1.08	0.0035	122.32	119.75
23000	1.13	0.0037	127.88	125.20
24000	1.18	0.0039	133.44	130.64
25000	1.23	0.0040	139.00	136.08
26000	1.28	0.0042	144.56	141.53
27000	1.33	0.0043	150.13	146.97
28000	1.38	0.0045	155.69	152.41
29000	1.42	0.0047	161.25	157.86
30000	1.47	0.0048	166.81	163.30
31000	1.52	0.0050	172.37	168.74
32000	1.57	0.0051	177.93	174.19
33000	1.62	0.0053	183.49	179.63
34000	1.67	0.0055	189.05	185.07
35000	1.72	0.0056	194.61	190.52
36000	1.77	0.0058	200.17	195.96
37000	1.82	0.0059	205.73	201.40
38000	1.87	0.0061	211.29	206.85
39000	1.92	0.0063	216.85	212.29
40000	1.97	0.0064	222.41	217.73
41000	2.01	0.0066	227.97	223.18
42000	2.06	0.0068	233.53	228.62
43000	2.11	0.0069	239.09	234.06
44000	2.16	0.0071	244.65	239.51
45000	2.21	0.0072	250.21	244.95
46000	2.26	0.0074	255.77	250.39
47000	2.31	0.0076	261.33	255.84
48000	2.36	0.0077	266.89	261.28
49000	2.41	0.0079	272.45	266.72
50000	2.46	0.0080	278.01	272.17
51000	2.51	0.0082	283.57	277.61
52000	2.56	0.0084	289.13	283.05
53000	2.60	0.0085	294.69	288.50
54000	2.65	0.0087	300.25	293.94
55000	2.70	0.0088	305.81	299.38
56000	2.75	0.0090	311.37	304.83
57000	2.80	0.0092	316.93	310.27
58000	2.85	0.0093	322.49	315.71
59000	3.95	0.0129	328.05	437.58
60000	3.02	0.0099	333.61	334.56
61000	3.12	0.0102	339.17	345.63
62000	3.20	0.0105	344.73	354.50
63000	3.30	0.0108	350.29	365.57
64000	3.42	0.0112	355.85	378.87
<b>64500</b>	<b>3.55</b>	<b>0.0116</b>	<b>358.63</b>	<b>393.27</b>
Ecuación de la Recta:	Esf = 33854.45		* Def. Unit.	
Coefficiente de Correlación:	0.9826			
Esfuerzo en el Límite Prop.:	437.58	Kg/cm <sup>2</sup>		
Deform. en el Límite Prop.:	0.0116	mm/mm		
Esfuerzo de rotura:	358.63	Kg/cm <sup>2</sup>		
Módulo de Elasticidad :	253330.88	Kg/cm <sup>2</sup>		

Tabla 69: Deformación unitaria & Esfuerzo a la compresión a la edad de 28 días (Código: C° 2b 13).

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. NTP 339.034				
Nombre de Mezcla:	C° 2b 14			
Cemento:	TIPO ICo - ASTM C-1157/NTP 339.090			
Fecha de Elaboración :	21/11/2018	Edad :	28 días	
Fecha de Rotura :	19/12/2018			
Resistencia característica:	250	kg/cm <sup>2</sup>		
Altura:	304.5	mm		
Diametro:	151.4	mm		
Área del Especimen:	180.09	cm <sup>2</sup>		

ESPECIMEN N° 12				
Carga (kg)	Def. (mm)	Deformación Unit.	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esf. Ajust. (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.0000	0.00	0.00
1000	0.05	0.0002	5.55	5.28
2000	0.10	0.0003	11.11	10.57
3000	0.14	0.0005	16.66	15.85
4000	0.19	0.0006	22.21	21.14
5000	0.24	0.0008	27.76	26.42
6000	0.29	0.0009	33.32	31.71
7000	0.34	0.0011	38.87	36.99
8000	0.38	0.0013	44.42	42.28
9000	0.43	0.0014	49.98	47.56
10000	0.48	0.0016	55.53	52.85
11000	0.53	0.0017	61.08	58.13
12000	0.58	0.0019	66.63	63.42
13000	0.62	0.0020	72.19	68.70
14000	0.67	0.0022	77.74	73.99
15000	0.72	0.0024	83.29	79.27
16000	0.77	0.0025	88.84	84.56
17000	0.81	0.0027	94.40	89.84
18000	0.86	0.0028	99.95	95.13
19000	0.91	0.0030	105.50	100.41
20000	0.96	0.0031	111.06	105.70
21000	1.01	0.0033	116.61	110.98
22000	1.05	0.0035	122.16	116.27
23000	1.10	0.0036	127.71	121.55
24000	1.15	0.0038	133.27	126.84
25000	1.20	0.0039	138.82	132.12
26000	1.25	0.0041	144.37	137.41
27000	1.29	0.0042	149.93	142.69
28000	1.34	0.0044	155.48	147.98
29000	1.39	0.0046	161.03	153.26
30000	1.44	0.0047	166.58	158.55
31000	1.49	0.0049	172.14	163.83
32000	1.53	0.0050	177.69	169.12
33000	1.58	0.0052	183.24	174.40
34000	1.63	0.0054	188.79	179.69
35000	1.68	0.0055	194.35	184.97
36000	1.73	0.0057	199.90	190.26
37000	1.77	0.0058	205.45	195.54
38000	1.82	0.0060	211.01	200.83
39000	1.87	0.0061	216.56	206.11
40000	1.92	0.0063	222.11	211.40
41000	1.96	0.0065	227.66	216.68
42000	2.01	0.0066	233.22	221.97
43000	2.06	0.0068	238.77	227.25
44000	2.11	0.0069	244.32	232.54
45000	2.16	0.0071	249.88	237.82
46000	2.20	0.0072	255.43	243.11
47000	2.25	0.0074	260.98	248.39
48000	2.30	0.0076	266.53	253.68
49000	2.35	0.0077	272.09	258.96
50000	2.40	0.0079	277.64	264.25
51000	2.44	0.0080	283.19	269.53
52000	2.49	0.0082	288.74	274.82
53000	2.54	0.0083	294.30	280.10
54000	2.59	0.0085	299.85	285.39
55000	2.64	0.0087	305.40	290.67
56000	2.68	0.0088	310.96	295.96
57000	2.73	0.0090	316.51	301.24
58000	2.80	0.0092	322.06	308.82
59000	2.90	0.0095	327.61	319.85
60000	3.02	0.0099	333.17	333.09
61000	3.15	0.0103	338.72	347.42
62000	3.22	0.0106	344.27	355.14
63000	3.30	0.0108	349.83	363.97
64000	3.42	0.0112	355.38	377.20
<b>65000</b>	<b>3.50</b>	<b>0.0115</b>	<b>363.71</b>	<b>386.03</b>
Ecuación de la Recta:	Esf = 33584.30		* Def. Unit.	
Coefficiente de Correlación:	0.9963			
Esfuerzo en el Límite Prop.:	386.03	Kg/cm <sup>2</sup>		
Deform. en el Límite Prop.:	0.0115	mm/mm		
Esfuerzo de rotura:	363.71	Kg/cm <sup>2</sup>		
Módulo de Elasticidad :	257606.05	Kg/cm <sup>2</sup>		

Tabla 70: Deformación unitaria & Esfuerzo a la compresión a la edad de 28 días (Código: C° 2b 14).

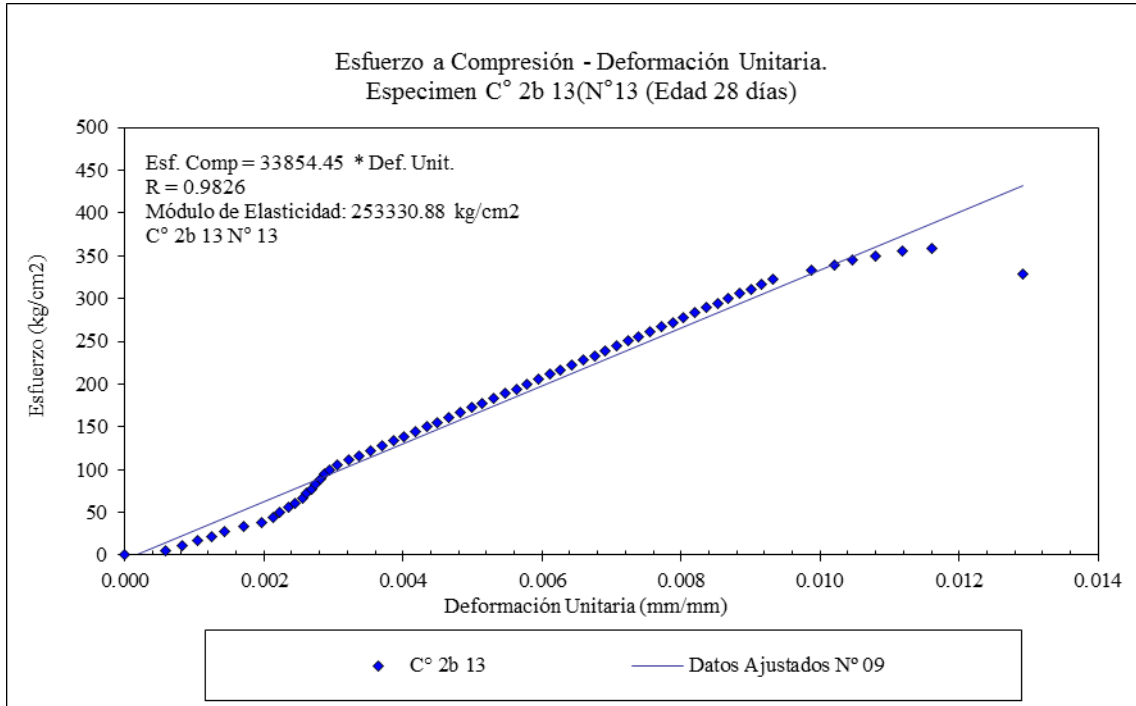


Gráfico 40: Esfuerzo a compresión vs Deformación unitaria a la edad de 28 días (Código: C° 2b 13).

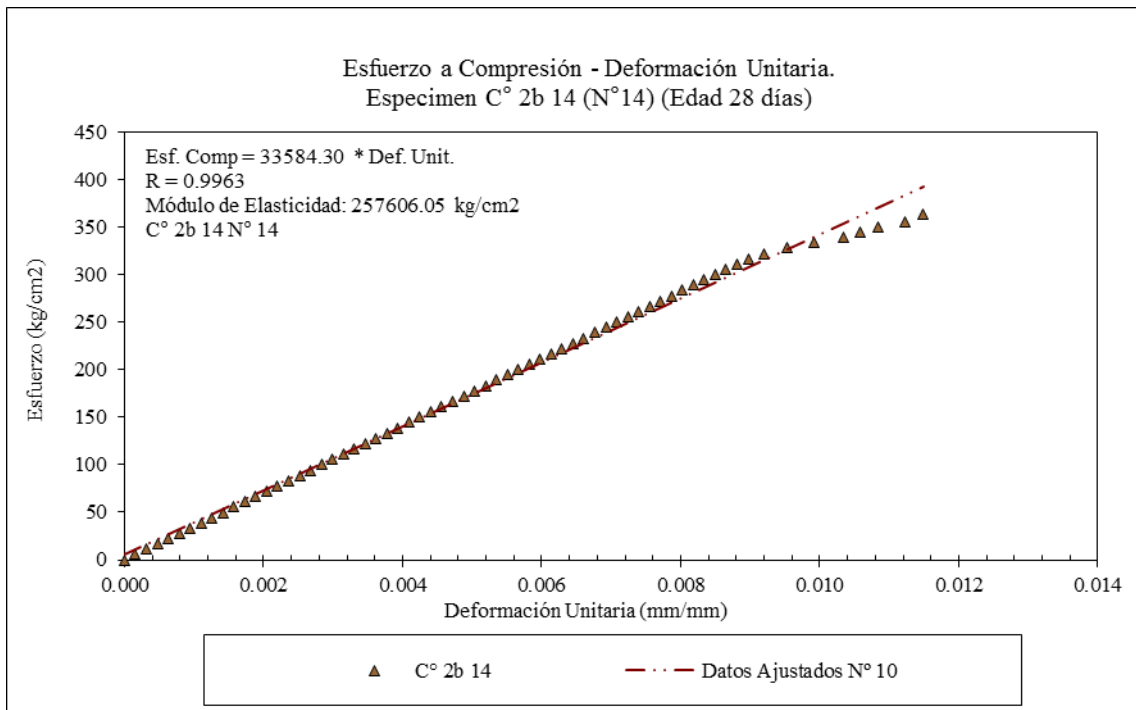


Gráfico 41: Esfuerzo a compresión vs Deformación unitaria a la edad de 28 días (Código: C° 2b 14).

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. NTP 339.034				
Nombre de Mezcla:	C° 2b 15			
Cemento:	TIPO ICo - ASTM C-1157/NTP 339.090			
Fecha de Elaboración :	21/11/2018	Edad :	28 días	
Fecha de Rotura :	19/12/2018			
Resistencia característica:	250	kg/cm <sup>2</sup>		
Altura:	305.15	mm		
Diametro:	151.3	mm		
Área del Especimen:	179.73	cm <sup>2</sup>		
ESPECIMEN N° 12				
Carga (kg)	Def. (mm)	Deformación Unit.	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esf. Ajust. (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.0000	0.00	0.00
1000	0.10	0.0003	5.56	8.33
2000	0.15	0.0005	11.13	12.50
3000	0.18	0.0006	16.69	15.00
4000	0.23	0.0008	22.26	19.36
5000	0.29	0.0010	27.82	24.20
6000	0.35	0.0011	33.38	29.04
7000	0.41	0.0013	38.95	33.89
8000	0.46	0.0015	44.51	38.73
9000	0.52	0.0017	50.08	43.57
10000	0.58	0.0019	55.64	48.41
11000	0.64	0.0021	61.20	53.25
12000	0.70	0.0023	66.77	58.09
13000	0.76	0.0025	72.33	62.93
14000	0.81	0.0027	77.89	67.77
15000	0.87	0.0029	83.46	72.61
16000	0.93	0.0030	89.02	77.45
17000	0.99	0.0032	94.59	82.29
18000	1.05	0.0034	100.15	87.13
19000	1.10	0.0036	105.71	91.97
20000	1.16	0.0038	111.28	96.82
21000	1.22	0.0040	116.84	101.66
22000	1.28	0.0042	122.41	106.50
23000	1.34	0.0044	127.97	111.34
24000	1.39	0.0046	133.53	116.18
25000	1.45	0.0048	139.10	121.02
26000	1.51	0.0049	144.66	125.86
27000	1.57	0.0051	150.23	130.70
28000	1.63	0.0053	155.79	135.54
29000	1.68	0.0055	161.35	140.38
30000	1.74	0.0057	166.92	145.22
31000	1.80	0.0059	172.48	150.06
32000	1.86	0.0061	178.04	154.90
33000	1.92	0.0063	183.61	159.75
34000	1.97	0.0065	189.17	164.59
35000	2.03	0.0067	194.74	169.43
36000	2.09	0.0069	200.30	174.27
37000	2.15	0.0070	205.86	179.11
38000	2.21	0.0072	211.43	183.95
39000	2.27	0.0074	216.99	188.79
40000	2.32	0.0076	222.56	193.63
41000	2.38	0.0078	228.12	198.47
42000	2.44	0.0080	233.68	203.31
43000	2.50	0.0082	239.25	208.15
44000	2.56	0.0084	244.81	212.99
45000	2.61	0.0086	250.38	217.84
46000	2.72	0.0089	255.94	226.70
47000	2.84	0.0093	261.50	236.70
48000	2.92	0.0096	267.07	243.37
49000	3.00	0.0098	272.63	250.04
50000	3.10	0.0102	278.20	258.37
51000	3.22	0.0106	283.76	268.37
52000	3.30	0.0108	289.32	275.04
53000	3.43	0.0112	294.89	285.87
54000	3.50	0.0115	300.45	291.71
55000	3.62	0.0119	306.01	301.71
56000	3.70	0.0121	311.58	308.38
57000	3.80	0.0125	317.14	316.71
58000	3.92	0.0128	322.71	326.71
59000	4.00	0.0131	328.27	333.38
60000	4.12	0.0135	333.83	343.38
61000	4.20	0.0138	339.40	350.05
62000	4.35	<b>0.0143</b>	<b>344.96</b>	<b>362.55</b>
Ecuación de la Recta:	Esf = 25432.83 * Def. Unit.			
Coefficiente de Correlación:	0.9922			
Esfuerzo en el Limite Prop.:	362.55		Kg/cm <sup>2</sup>	
Deform. en el Limite Prop.:	0.0143		mm/mm	
Esfuerzo de rotura:	344.96		Kg/cm <sup>2</sup>	
Módulo de Elasticidad :	243000.46		Kg/cm <sup>2</sup>	

Tabla 71: Deformación unitaria & Esfuerzo a la compresión a la edad de 28 días (Código: C° 2b 15).

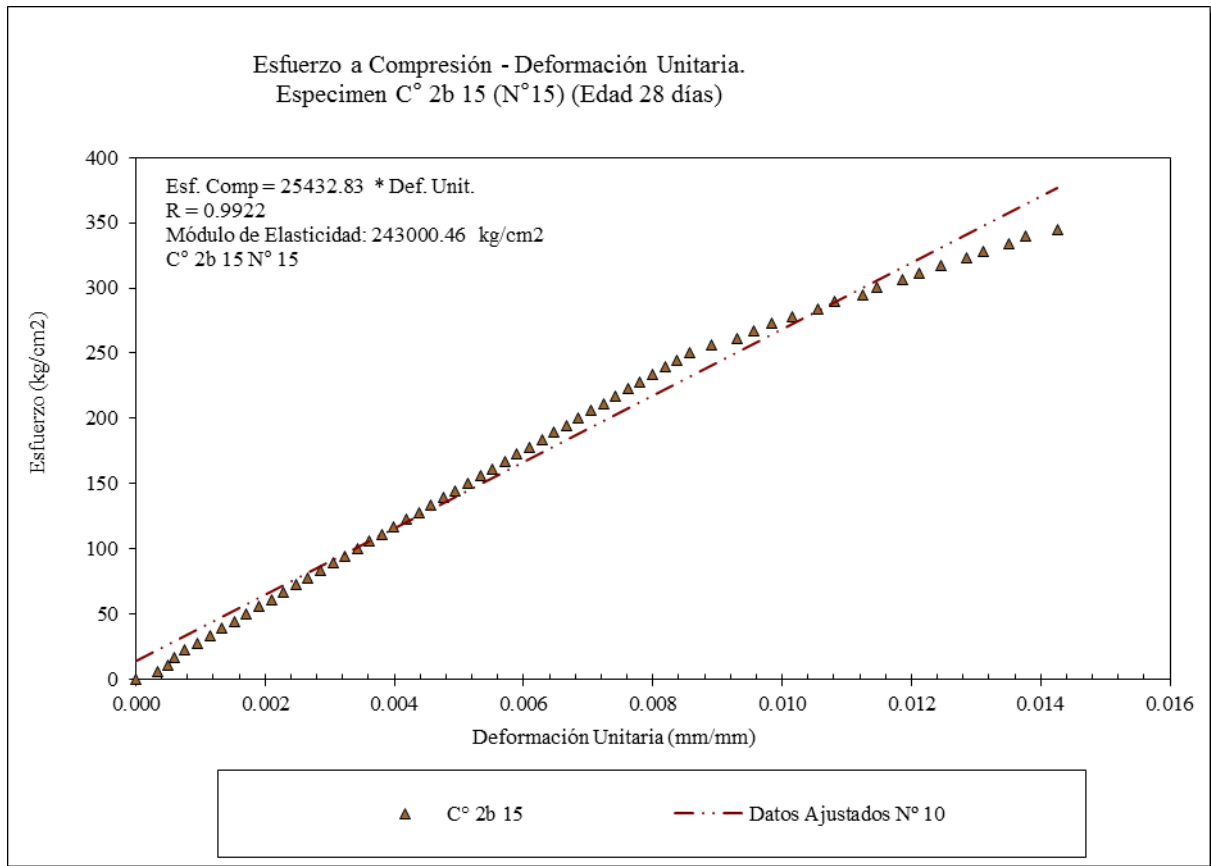


Gráfico 42: Esfuerzo a compresión vs Deformación unitaria a la edad de 28 días (Código: C° 2b 15).

### PIEDRA 4 2b (Concreto con aditivo bacteriano)

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. NTP 339.034			
Nombre de Mezcla:	Piedra 4 2b 11		
Cemento:	TIPO ICo - ASTM C-1157/NTP 339.090		
Fecha de Elaboración :	21/11/2018	Edad :	28 días
Fecha de Rotura :	19/12/2018		
Resistencia característica:	250	kg/cm <sup>2</sup>	
Altura:	304.8	mm	
Diámetro:	150.9	mm	
Área del Especimen:	178.72	cm <sup>2</sup>	

ESPECIMEN N° 11				
Carga (kg)	Def. (mm)	Deformación Unit.	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esf. Ajust. (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.0000	0.00	0.00
1000	0.05	0.0002	5.60	4.50
2000	0.15	0.0005	11.19	13.51
3000	0.23	0.0008	16.79	20.72
4000	0.30	0.0010	22.38	27.03
5000	0.35	0.0011	27.98	31.53
6000	0.38	0.0012	33.57	34.23
7000	0.41	0.0014	39.17	37.29
8000	0.47	0.0016	44.76	42.62
9000	0.53	0.0017	50.36	47.95
10000	0.59	0.0019	55.95	53.28
11000	0.65	0.0021	61.55	58.60
12000	0.71	0.0023	67.14	63.93
13000	0.77	0.0025	72.74	69.26
14000	0.83	0.0027	78.33	74.59
15000	0.89	0.0029	83.93	79.91
16000	0.95	0.0031	89.53	85.24
17000	1.01	0.0033	95.12	90.57
18000	1.06	0.0035	100.72	95.90
19000	1.12	0.0037	106.31	101.22
20000	1.18	0.0039	111.91	106.55
21000	1.24	0.0041	117.50	111.88
22000	1.30	0.0043	123.10	117.21
23000	1.36	0.0045	128.69	122.54
24000	1.42	0.0047	134.29	127.86
25000	1.48	0.0049	139.88	133.19
26000	1.54	0.0050	145.48	138.52
27000	1.60	0.0052	151.07	143.85
28000	1.66	0.0054	156.67	149.17
29000	1.71	0.0056	162.26	154.50
30000	1.77	0.0058	167.86	159.83
31000	1.83	0.0060	173.46	165.16
32000	1.89	0.0062	179.05	170.48
33000	1.95	0.0064	184.65	175.81
34000	2.01	0.0066	190.24	181.14
35000	2.07	0.0068	195.84	186.47
36000	2.14	0.0070	201.43	192.80
37000	2.20	0.0072	207.03	198.20
38000	2.28	0.0075	212.62	205.41
39000	2.31	0.0076	218.22	207.78
40000	2.34	0.0077	223.81	210.81
41000	2.42	0.0080	229.41	218.43
42000	2.50	0.0082	235.00	225.23
43000	2.62	0.0086	240.60	236.04
44000	2.70	0.0089	246.20	243.25
45000	2.76	0.0091	251.79	248.65
46000	2.85	0.0094	257.39	256.76
47000	2.92	0.0096	262.98	263.07
48000	3.02	0.0099	268.58	272.08
49000	3.12	0.0102	274.17	281.09
50000	3.25	0.0107	279.77	292.80
<b>52000</b>	<b>3.40</b>	<b>0.0112</b>	<b>290.96</b>	<b>306.31</b>

Ecuación de la Recta:	Esf = 27459.88	* Def. Unit.
Coefficiente de Correlación:	0.9973	
Esfuerzo en el Limite Prop.:	306.31	Kg/cm <sup>2</sup>
Deform. en el Limite Prop.:	0.0112	mm/mm
Esfuerzo de rotura:	290.96	Kg/cm <sup>2</sup>
Módulo de Elasticidad :	241116.99	Kg/cm <sup>2</sup>

Tabla 72: Deformación unitaria & Esfuerzo a la compresión a la edad de 28 días (Código: Piedra 4 2b 11).

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. NTP 339.034			
Nombre de Mezcla:	Piedra 4 2b 12		
Cemento:	TIPO ICo - ASTM C-1157/NTP 339.090		
Fecha de Elaboración :	21/11/2018	Edad :	28 días
Fecha de Rotura :	19/12/2018		
Resistencia característica:	250	kg/cm <sup>2</sup>	
Altura:	305	mm	
Diámetro:	151.5	mm	
Área del Especimen:	180.27	cm <sup>2</sup>	

ESPECIMEN N° 12				
Carga (kg)	Def. (mm)	Deformación Unit.	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esf. Ajust. (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.0000	0.00	0.00
1000	0.06	0.0002	5.55	4.86
2000	0.12	0.0004	11.09	9.73
3000	0.17	0.0006	16.64	14.59
4000	0.23	0.0008	22.19	19.46
5000	0.29	0.0009	27.74	24.32
6000	0.35	0.0011	33.28	29.19
7000	0.40	0.0013	38.83	34.05
8000	0.46	0.0015	44.38	38.92
9000	0.52	0.0017	49.93	43.78
10000	0.58	0.0019	55.47	48.65
11000	0.63	0.0021	61.02	53.51
12000	0.69	0.0023	66.57	58.38
13000	0.75	0.0025	72.11	63.24
14000	0.81	0.0026	77.66	68.11
15000	0.86	0.0028	83.21	72.97
16000	0.92	0.0030	88.76	77.84
17000	0.98	0.0032	94.30	82.70
18000	1.04	0.0034	99.85	87.57
19000	1.09	0.0036	105.40	92.43
20000	1.15	0.0038	110.94	97.30
21000	1.21	0.0040	116.49	102.16
22000	1.27	0.0041	122.04	107.03
23000	1.32	0.0043	127.59	111.89
24000	1.38	0.0045	133.13	116.76
25000	1.44	0.0047	138.68	121.62
26000	1.50	0.0049	144.23	126.49
27000	1.55	0.0051	149.78	131.35
28000	1.61	0.0053	155.32	136.22
29000	1.67	0.0055	160.87	141.08
30000	1.73	0.0057	166.42	145.95
31000	1.78	0.0058	171.96	150.81
32000	1.84	0.0060	177.51	155.68
33000	1.90	0.0062	183.06	160.54
34000	1.96	0.0064	188.61	165.41
35000	2.01	0.0066	194.15	170.27
36000	2.07	0.0068	199.70	175.13
37000	2.13	0.0070	205.25	180.00
38000	2.19	0.0072	210.79	184.86
39000	2.24	0.0074	216.34	189.73
40000	2.30	0.0075	221.89	194.59
41000	2.36	0.0077	227.44	199.46
42000	2.48	0.0081	232.98	209.82
43000	2.59	0.0085	238.53	219.12
44000	2.65	0.0087	244.08	224.20
45000	2.72	0.0089	249.63	230.12
46000	2.95	0.0097	255.17	249.58
47000	3.14	0.0103	260.72	265.66
48000	3.28	0.0108	266.27	277.50
49000	3.36	0.0110	271.81	284.27
50000	3.46	0.0113	277.36	292.73
<b>51500</b>	<b>3.65</b>	<b>0.0120</b>	<b>285.68</b>	<b>308.80</b>

Ecuación de la Recta:	Esf = 25804.23	* Def. Unit.
Coefficiente de Correlación:	0.9906	
Esfuerzo en el Limite Prop.:	308.80	Kg/cm <sup>2</sup>
Deform. en el Limite Prop.:	0.0120	mm/mm
Esfuerzo de rotura:	285.68	Kg/cm <sup>2</sup>
Módulo de Elasticidad :	237674.81	Kg/cm <sup>2</sup>

Tabla 73: Deformación unitaria & Esfuerzo a la compresión a la edad de 28 días (Código: Piedra 4 2b 12).

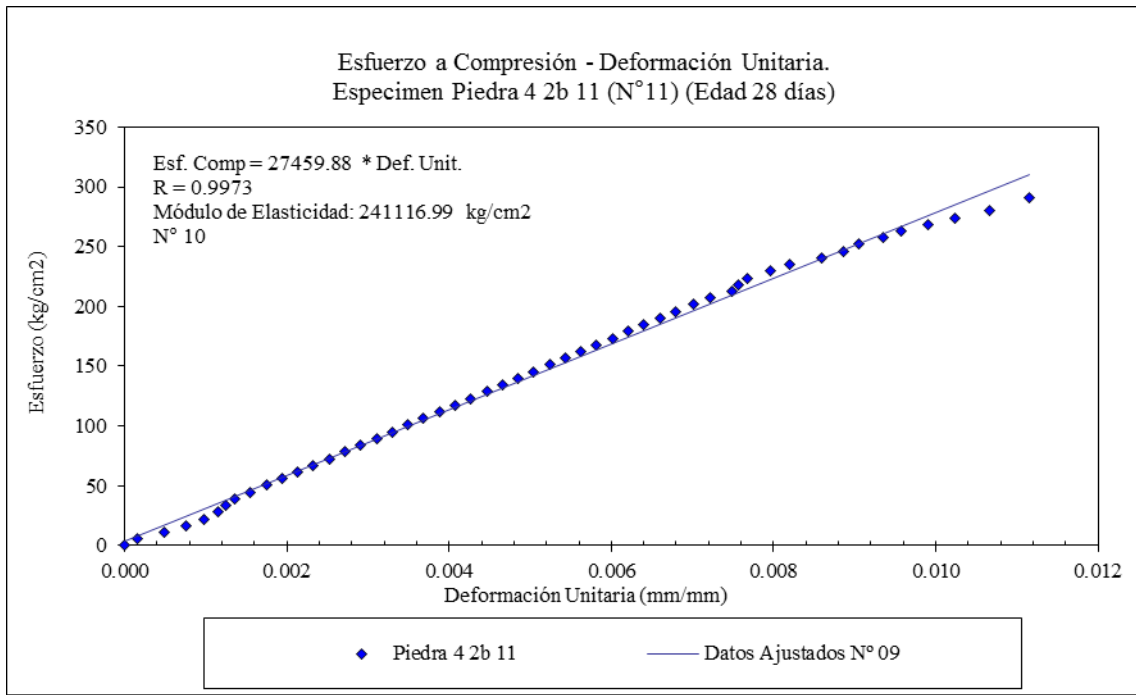


Gráfico 43: Esfuerzo a compresión vs Deformación unitaria a la edad de 28 días (Código: Piedra 4 2b 11).

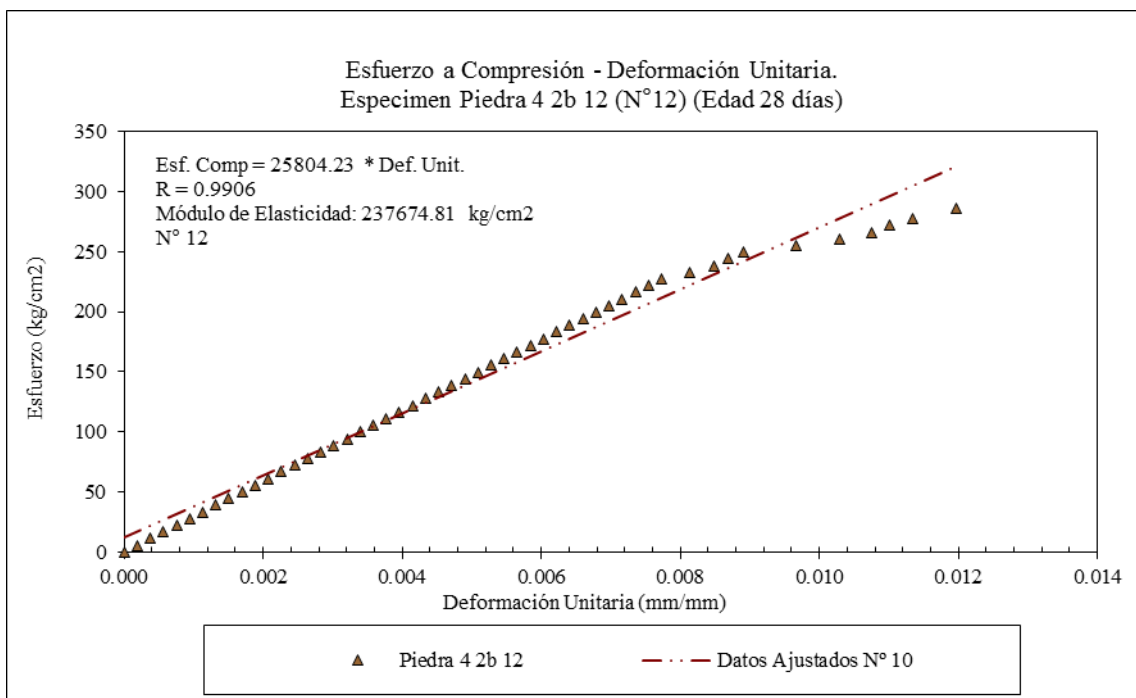


Gráfico 44: Esfuerzo a compresión vs Deformación unitaria a la edad de 28 días (Código: Piedra 4 2b 12).

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. NTP 339.034			
Nombre de Mezcla:	Piedra 4 2b 13		
Cemento:	TIPO ICo - ASTM C-1157/NTP 339.090		
Fecha de Elaboración :	21/11/2018	Edad :	28 días
Fecha de Rotura :	19/12/2018		
Resistencia característica:	250	kg/cm <sup>2</sup>	
Altura:	304.9	mm	
Diametro:	151.8	mm	
Área del Especimen:	180.86	cm <sup>2</sup>	

ESPECIMEN N° 13				
Carga (kg)	Def. (mm)	Deformación Unit.	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esf. Ajust. (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.0000	0.00	0.00
1000	0.12	0.0004	5.60	10.99
2000	0.25	0.0008	11.19	22.89
3000	0.30	0.0010	16.79	27.47
4000	0.34	0.0011	22.38	31.14
5000	0.38	0.0012	27.98	34.80
6000	0.40	0.0013	33.57	36.63
7000	0.43	0.0014	39.17	38.98
8000	0.49	0.0016	44.76	44.54
9000	0.55	0.0018	50.36	50.11
10000	0.61	0.0020	55.95	55.68
11000	0.67	0.0022	61.55	61.25
12000	0.73	0.0024	67.14	66.81
13000	0.79	0.0026	72.74	72.38
14000	0.85	0.0028	78.33	77.95
15000	0.91	0.0030	83.93	83.52
16000	0.97	0.0032	89.53	89.09
17000	1.03	0.0034	95.12	94.65
18000	1.09	0.0036	100.72	100.22
19000	1.16	0.0038	106.31	105.79
20000	1.22	0.0040	111.91	111.36
21000	1.28	0.0042	117.50	116.93
22000	1.34	0.0044	123.10	122.49
23000	1.40	0.0046	128.69	128.06
24000	1.46	0.0048	134.29	133.63
25000	1.52	0.0050	139.88	139.20
26000	1.58	0.0052	145.48	144.77
27000	1.64	0.0054	151.07	150.33
28000	1.70	0.0056	156.67	155.90
29000	1.76	0.0058	162.26	161.47
30000	1.82	0.0060	167.86	167.04
31000	1.88	0.0062	173.46	172.60
32000	1.95	0.0064	179.05	178.17
33000	2.01	0.0066	184.65	183.74
34000	2.07	0.0068	190.24	189.31
35000	2.13	0.0070	195.84	194.88
36000	2.19	0.0072	201.43	200.44
37000	2.25	0.0074	207.03	206.01
38000	2.31	0.0076	212.62	211.58
39000	2.37	0.0078	218.22	217.15
40000	2.43	0.0080	223.81	222.72
41000	2.49	0.0082	229.41	228.28
42000	2.55	0.0084	235.00	233.85
43000	2.61	0.0086	240.60	239.42
44000	2.68	0.0088	246.20	244.99
45000	2.74	0.0090	251.79	250.56
46000	2.82	0.0092	257.39	256.13
47000	2.90	0.0095	262.98	261.70
48000	2.98	0.0098	268.58	267.27
49000	3.05	0.0100	274.17	272.84
50000	3.15	0.0103	279.77	278.41
<b>52500</b>	<b>3.42</b>	<b>0.0112</b>	<b>293.76</b>	<b>313.20</b>

Ecuación de la Recta:	Esf = 27922.57	* Def. Unit.
Coefficiente de Correlación:	0.9991	
Esfuerzo en el Limite Prop.:	313.20	Kg/cm <sup>2</sup>
Deform. en el Limite Prop.:	0.0112	mm/mm
Esfuerzo de rotura:	293.76	Kg/cm <sup>2</sup>
Módulo de Elasticidad :	242308.15	Kg/cm <sup>2</sup>

Tabla 74: Deformación unitaria & Esfuerzo a la compresión a la edad de 28 días (Código: Piedra 4 2b 13).

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. NTP 339.034			
Nombre de Mezcla:	Piedra 4 2b 14		
Cemento:	TIPO ICo - ASTM C-1157/NTP 339.090		
Fecha de Elaboración :	21/11/2018	Edad :	28 días
Fecha de Rotura :	19/12/2018		
Resistencia característica:	250	kg/cm <sup>2</sup>	
Altura:	305.5	mm	
Diametro:	151.3	mm	
Área del Especimen:	179.85	cm <sup>2</sup>	

ESPECIMEN N° 14				
Carga (kg)	Def. (mm)	Deformación Unit.	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esf. Ajust. (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.0000	0.00	0.00
1000	0.12	0.0004	5.56	12.95
2000	0.22	0.0007	11.12	23.75
3000	0.28	0.0009	16.68	30.23
4000	0.34	0.0011	22.24	36.70
5000	0.38	0.0012	27.80	41.02
6000	0.42	0.0014	33.36	45.34
7000	0.46	0.0015	38.92	49.66
8000	0.50	0.0016	44.48	53.98
9000	0.55	0.0018	50.04	59.37
10000	0.60	0.0020	55.60	64.77
11000	0.62	0.0020	61.16	66.93
12000	0.64	0.0021	66.72	69.09
13000	0.66	0.0022	72.28	71.25
14000	0.69	0.0023	77.84	74.96
15000	0.74	0.0024	83.40	80.31
16000	0.79	0.0026	88.96	85.67
17000	0.84	0.0028	94.52	91.02
18000	0.89	0.0029	100.08	96.38
19000	0.94	0.0031	105.64	101.73
20000	0.99	0.0032	111.20	107.08
21000	1.04	0.0034	116.76	112.44
22000	1.09	0.0036	122.32	117.79
23000	1.14	0.0037	127.88	123.15
24000	1.19	0.0039	133.44	128.50
25000	1.24	0.0041	139.00	133.86
26000	1.29	0.0042	144.56	139.21
27000	1.34	0.0044	150.13	144.56
28000	1.39	0.0045	155.69	149.92
29000	1.44	0.0047	161.25	155.27
30000	1.49	0.0049	166.81	160.63
31000	1.54	0.0050	172.37	165.98
32000	1.59	0.0052	177.93	171.33
33000	1.64	0.0054	183.49	176.69
34000	1.69	0.0055	189.05	182.04
35000	1.74	0.0057	194.61	187.40
36000	1.79	0.0058	200.17	192.75
37000	1.84	0.0060	205.73	198.11
38000	1.88	0.0062	211.29	203.46
39000	1.93	0.0063	216.85	208.81
40000	1.98	0.0065	222.41	214.17
41000	2.03	0.0067	227.97	219.52
42000	2.08	0.0068	233.53	224.88
43000	2.13	0.0070	239.09	230.23
44000	2.18	0.0071	244.65	235.59
45000	2.23	0.0073	250.21	240.94
46000	2.28	0.0075	255.77	246.29
47000	2.33	0.0076	261.33	251.65
48000	2.40	0.0079	266.89	257.00
49000	2.54	0.0083	272.45	262.35
50000	2.62	0.0086	278.01	267.70
51000	2.74	0.0090	283.57	273.05
52000	2.81	0.0092	289.13	278.40
53000	2.92	0.0096	294.69	283.75
54000	3.04	0.0100	300.25	289.10
<b>53900</b>	<b>3.12</b>	<b>0.0102</b>	<b>299.69</b>	<b>336.81</b>

Ecuación de la Recta:	Esf = 32979.41	* Def. Unit.
Coefficiente de Correlación:	0.9935	
Esfuerzo en el Limite Prop.:	336.81	Kg/cm <sup>2</sup>
Deform. en el Limite Prop.:	0.0102	mm/mm
Esfuerzo de rotura:	300.25	Kg/cm <sup>2</sup>
Módulo de Elasticidad :	245483.91	Kg/cm <sup>2</sup>

Tabla 75: Deformación unitaria & Esfuerzo a la compresión a la edad de 28 días (Código: Piedra 4 2b 14).



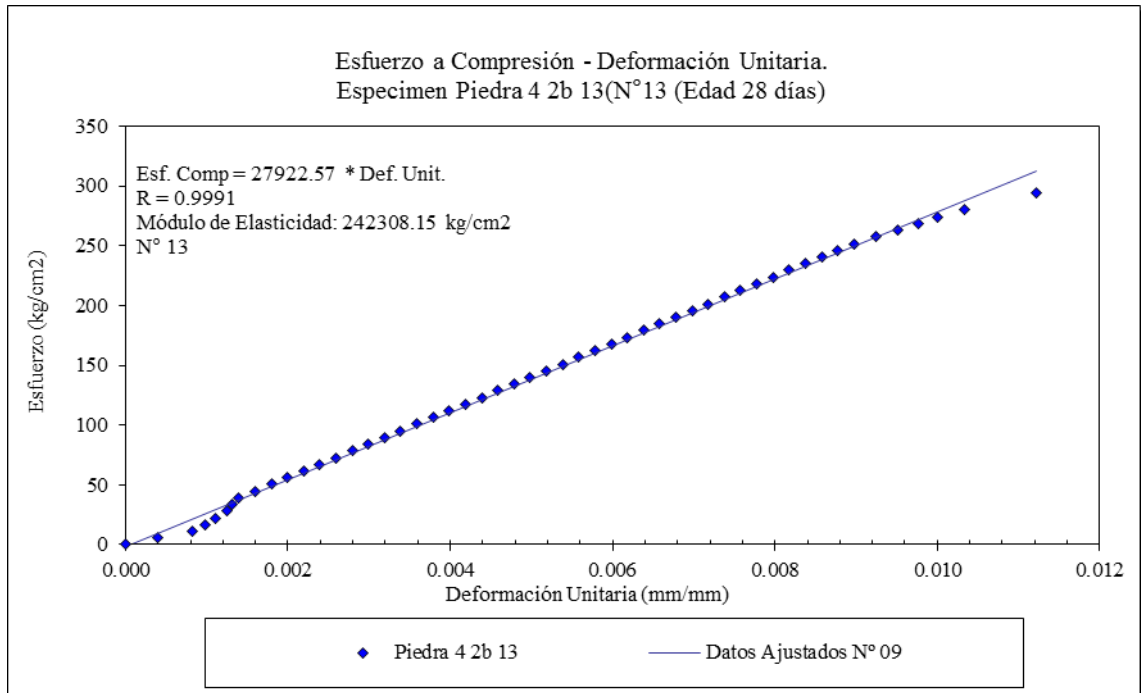


Gráfico 45: Esfuerzo a compresión vs Deformación unitaria a la edad de 28 días (Código: Piedra 4 2b 13).

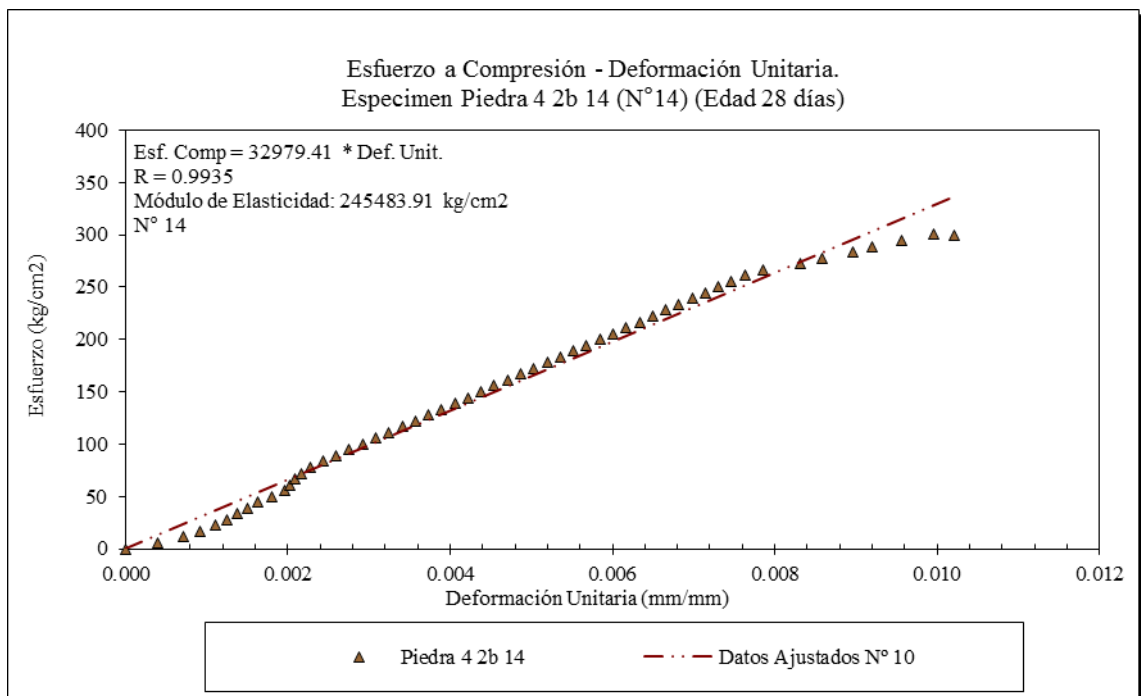


Gráfico 46: Esfuerzo a compresión vs Deformación unitaria a la edad de 28 días (Código: Piedra 4 2b 14).

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. NTP 339.034				
Nombre de Mezcla:		Piedra 4 2b 15		
Cemento:		TIPO ICo - ASTM C-1157/NTP 339.090		
Fecha de Elaboración :		21/11/2018	Edad :	28 días
Fecha de Rotura :		19/12/2018		
Resistencia característica:		250	kg/cm <sup>2</sup>	
Altura:		304.55	mm	
Diámetro:		150.5	mm	
Área del Especimen:		177.95	cm <sup>2</sup>	
ESPECIMEN N° 15				
Carga (kg)	Def. (mm)	Deformación Unit.	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esf. Ajust. (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.0000	0.00	0.00
1000	0.07	0.0002	5.62	8.24
2000	0.10	0.0003	11.24	11.77
3000	0.15	0.0005	16.86	17.66
4000	0.20	0.0007	22.48	23.54
5000	0.26	0.0009	28.10	30.61
6000	0.31	0.0010	33.72	36.49
7000	0.36	0.0012	39.34	42.38
8000	0.38	0.0012	44.96	44.73
9000	0.42	0.0014	50.58	49.36
10000	0.47	0.0015	56.20	54.84
11000	0.51	0.0017	61.82	60.33
12000	0.56	0.0018	67.43	65.81
13000	0.61	0.0020	73.05	71.30
14000	0.65	0.0021	78.67	76.78
15000	0.70	0.0023	84.29	82.26
16000	0.75	0.0024	89.91	87.75
17000	0.79	0.0026	95.53	93.23
18000	0.84	0.0028	101.15	98.72
19000	0.89	0.0029	106.77	104.20
20000	0.93	0.0031	112.39	109.69
21000	0.98	0.0032	118.01	115.17
22000	1.02	0.0034	123.63	120.65
23000	1.07	0.0035	129.25	126.14
24000	1.12	0.0037	134.87	131.62
25000	1.16	0.0038	140.49	137.11
26000	1.21	0.0040	146.11	142.59
27000	1.26	0.0041	151.73	148.07
28000	1.30	0.0043	157.35	153.56
29000	1.35	0.0044	162.97	159.04
30000	1.40	0.0046	168.59	164.53
31000	1.44	0.0047	174.21	170.01
32000	1.49	0.0049	179.83	175.50
33000	1.54	0.0050	185.45	180.98
34000	1.58	0.0052	191.06	186.46
35000	1.63	0.0054	196.68	191.95
36000	1.68	0.0055	202.30	197.43
37000	1.72	0.0057	207.92	202.92
38000	1.77	0.0058	213.54	208.40
39000	1.82	0.0060	219.16	213.89
40000	1.86	0.0061	224.78	219.37
41000	1.91	0.0063	230.40	224.85
42000	1.96	0.0064	236.02	230.34
43000	2.00	0.0066	241.64	235.82
44000	2.05	0.0067	247.26	241.31
45000	2.10	0.0069	252.88	246.79
46000	2.14	0.0070	258.50	252.28
47000	2.19	0.0072	264.12	257.76
48000	2.24	0.0073	269.74	263.24
49000	2.28	0.0075	275.36	268.73
50000	2.35	0.0077	280.98	276.65
51000	2.42	0.0079	286.60	284.89
52000	2.54	0.0083	292.22	299.01
53000	2.62	0.0086	297.84	308.43
<b>54500</b>	<b>2.85</b>	<b>0.0094</b>	<b>306.27</b>	<b>335.51</b>
Ecuación de la Recta:		Esf = 35852.24 * Def. Unit.		
Coeficiente de Correlación:		0.9982		
Esfuerzo en el Limite Prop.:		335.51	kg/cm <sup>2</sup>	
Deform. en el Limite Prop.:		0.0094	mm/mm	
Esfuerzo de rotura:		306.27	kg/cm <sup>2</sup>	
Módulo de Elasticidad:		248673.15	kg/cm <sup>2</sup>	

Tabla 76: Deformación unitaria & Esfuerzo a la compresión a la edad de 28 días (Código: Piedra 4 2b 15).

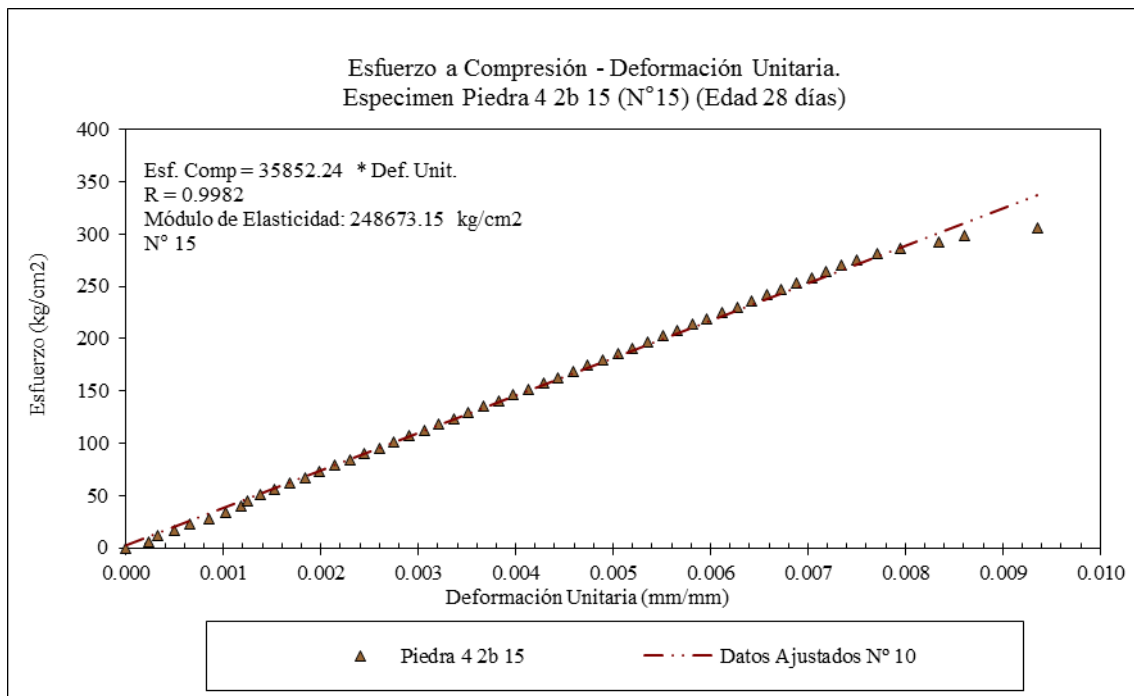


Gráfico 47: Esfuerzo a compresión vs Deformación unitaria a la edad de 28 días (Código: Piedra 4 2b 15).

## 5.5. Análisis estadístico en Microsoft Excel

### 5.5.1. Mezcla 1 (Código: C° Normal (Sin adiciones))

#### A. Datos estadísticos

Número de Intervalos de Clase (M):  $5 \leq M \leq 20$

$M = 1 + 3.32 * \log_{10} N = 1 + 3.32 * \log 15 = 4.90$ ; Optamos por: 5

CUADRO RESUMEN DE DATOS ESTADÍSTICOS – COMPRESION (28 días)		
Mezcla:	Esfuerzo de Compresión	Deformación Unitaria
C° Normal	kg/cm <sup>2</sup>	mm/mm
Número de Datos:	15	15
Promedio:	257.96	0.00721
Desviación Estándar:	6.10	0.00108
Coef. de Variación (%) :	2.36	14.98
Mínimo:	246.37	0.00518
Máximo:	271.00	0.00956
Rango (R):	24.63	0.00438
Ancho de Intervalo:	5.00	0.0009

Tabla 77: Datos estadísticos de ensayo de Compresión. (Código: C° Normal)

## B. Tablas de frecuencias e histogramas

Tabla de Distribución de frecuencias: Esfuerzo de Compresión kg/cm <sup>2</sup> - Mezcla: C° Normal (28 días)							
Intervalo de clase	Límite inferior (kg/cm <sup>2</sup> )	Límite superior (kg/cm <sup>2</sup> )	Marca de clase	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Absoluta Acumulada	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada
1	246.37	251.37	248.87	2	2	0.13	0.13
2	251.37	256.37	253.87	4	6	0.27	0.40
3	256.37	261.37	258.87	5	11	0.33	0.73
4	261.37	266.37	263.87	3	14	0.20	0.93
5	266.37	271.37	268.87	1	15	0.07	1.00
SUMA =				15		1.00	

Tabla 78: Tabla de Frecuencias de Ensayo a Compresión. (Código: C° Normal)

Tabla de Distribución de Frecuencias: Deformación Unitaria mm/mm - Mezcla: C° Normal (28 días)							
Intervalo de clase	Límite inferior (kg/cm <sup>2</sup> )	Límite superior (kg/cm <sup>2</sup> )	Marca de clase	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Absoluta Acumulada	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada
1	0.0052	0.0061	0.0056	2	2	0.13	0.13
2	0.0061	0.0070	0.0065	3	5	0.20	0.33
3	0.0070	0.0079	0.0074	7	12	0.47	0.80
4	0.0079	0.0088	0.0083	2	14	0.13	0.93
5	0.0088	0.0097	0.0092	1	15	0.07	1.00
SUMA =				15		1.00	

Tabla 79: Tabla de Frecuencias de Deformación Unitaria. (Código: C° Normal).

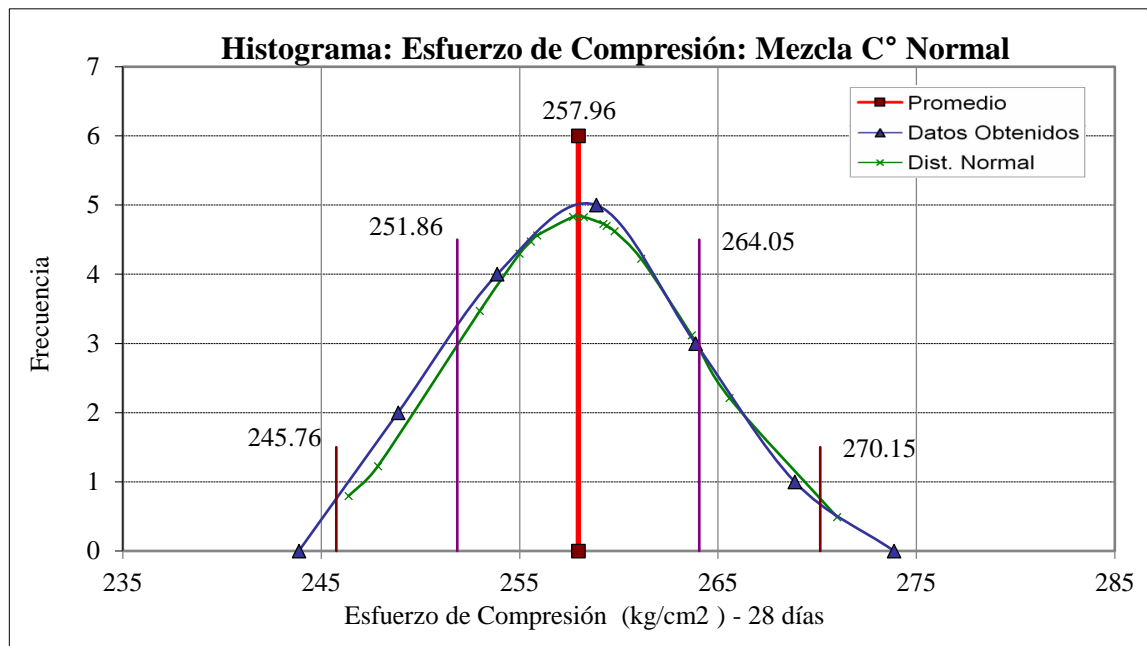


Gráfico 48: Histograma: Esfuerzo a Compresión. (Código: C° Normal).

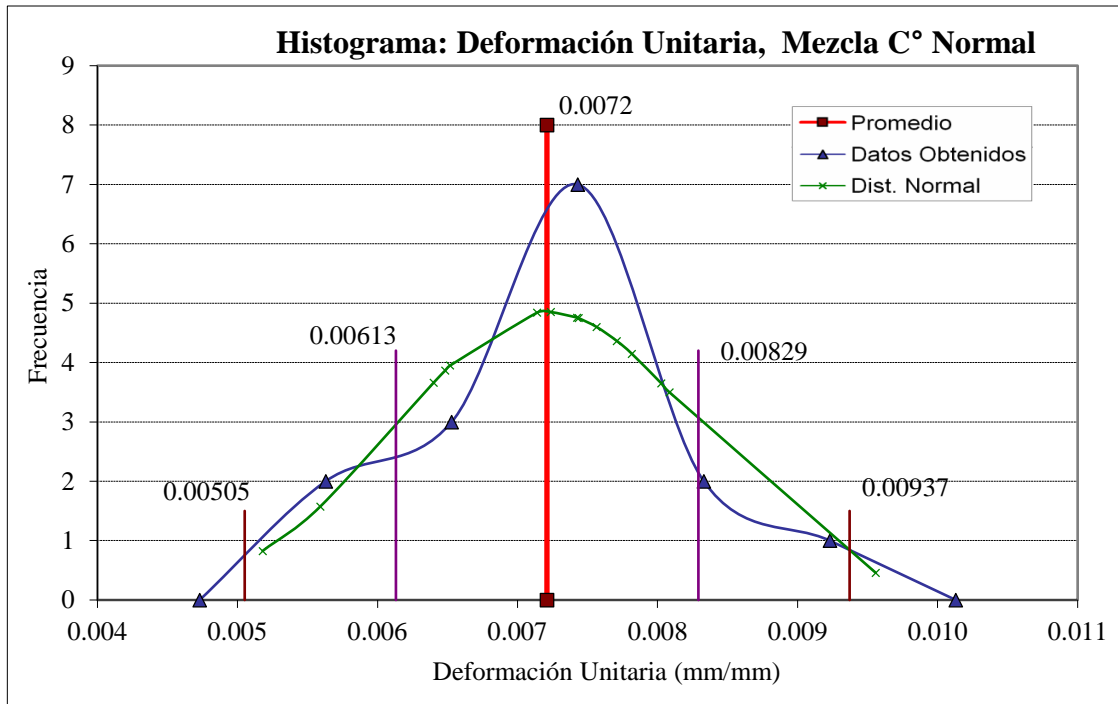


Gráfico 49: Histograma: Deformación Unitaria. (Código: C° Normal).

### C. Prueba T Student

<b>PRUEBA T – STUDENT</b>	
Esfuerzo de Compresión kg/cm <sup>2</sup> (28 días) C° Normal 2b	
Número de Datos (N):	15
Parámetros Normal (Media):	257.96
Desviación. Estándar	6.3121
$t_{14,0.025}$	2.144786688
Error Stand Desv.	1.6297
<b>PRUEBA DE VALOR = 0</b>	
t:	158.2768
Grados de Libertad:	14
Sig (2-colas):	0
Diferencia Media:	257.96
Intervalo de Confianza de 95%:	Inferior:
	254.46
	Superior:
	261.45

Tabla 80: Intervalo del 95% de confianza para la media. Resistencia a compresión. (Código: C° Normal).

<b>PRUEBA T – STUDENT</b>	
Deformación Unitaria mm/mm (28 días) C° Normal 2b	
Número de Datos (N):	15
Parámetros Normal (Media):	0.007212
Desviación. Estándar	0.001075
$t_{14,0.025}$	2.1448
Error Stand Desv.	0.000278
<b>PRUEBA DE VALOR = 0</b>	
t:	25.9708
Grados de Libertad:	14
Sig (2-colas):	0
Diferencia Media:	0.00721
Intervalo de Confianza de 95%:	Inferior: 0.00662
	Superior: 0.00781

Tabla 81: Intervalo del 95% de confianza para la media. Deformación unitaria. (Código: C° Normal).

#### D. Control de calidad

<b>RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS</b>				
Código de Mezcla:		C° Normal		
N° Especimen	f'c. (Kg/cm <sup>2</sup> )	Prom. de 2	Prom. de 3	Prom. de 5
1	261.13			
2	255.00	258.06		
3	271.00	263.00	262.37	
4	259.38	265.19	261.79	
5	265.58	262.48	265.32	262.42
6	247.85	256.72	257.61	259.76
7	252.99	250.42	255.47	259.36
8	258.24	255.61	253.03	256.81
9	257.69	257.96	256.30	256.47
10	246.37	252.03	254.10	252.63
11	259.23	252.80	254.43	254.90
12	255.88	257.55	253.83	255.48
13	259.78	257.83	258.30	255.79
14	263.67	261.73	259.78	256.99
15	255.56	259.61	259.67	258.82
Promedio	257.96	257.93	257.85	257.22
Desv. Estándar	6.31	4.30	3.79	2.70
Variación	2.45	1.67	1.47	1.05
Numero	15.00	14.00	13.00	11.00
Mínimo	246.37	250.42	253.03	252.63
Máximo	271.00	265.19	265.32	262.42
Rango	24.63	14.77	12.29	9.79

Tabla 82: Promedio 2, 3 y 5 ensayos consecutivos. Esfuerzo a Compresión. (Código: C° Normal).

RESULTADOS DE DEFORMACION				
Código de Mezcla:		C° Normal		
N°	Def. Unit. mm	Prom. de 2	Prom. de 3	Prom. de 5
De espécimen				
1	0.0064			
2	0.0052	0.0058		
3	0.0056	0.0054	0.0057	
4	0.0078	0.0067	0.0062	
5	0.0065	0.0071	0.0066	0.0063
6	0.0065	0.0065	0.0069	0.0063
7	0.0074	0.0070	0.0068	0.0068
8	0.0071	0.0073	0.0070	0.0071
9	0.0072	0.0072	0.0073	0.0070
10	0.0076	0.0074	0.0073	0.0072
11	0.0074	0.0075	0.0074	0.0074
12	0.0081	0.0078	0.0077	0.0075
13	0.0096	0.0088	0.0084	0.0080
14	0.0077	0.0086	0.0085	0.0081
15	0.0080	0.0079	0.0084	0.0082
Promedio	0.0072	0.0072	0.0073	0.0072
Desv. Estándar:	0.00108	0.00095	0.00084	0.00065
Variación	14.98	13.18	11.59	8.98
Numero	15	14	13	11
Mínimo	0.0052	0.0054	0.0057	0.0063
Máximo	0.0096	0.0088	0.0085	0.0082
Rango	0.00438	0.00344	0.00273	0.00187

Tabla 83: Promedio 2, 3 y 5 ensayos consecutivos. Deformación Unitaria. (Código: C° Normal).

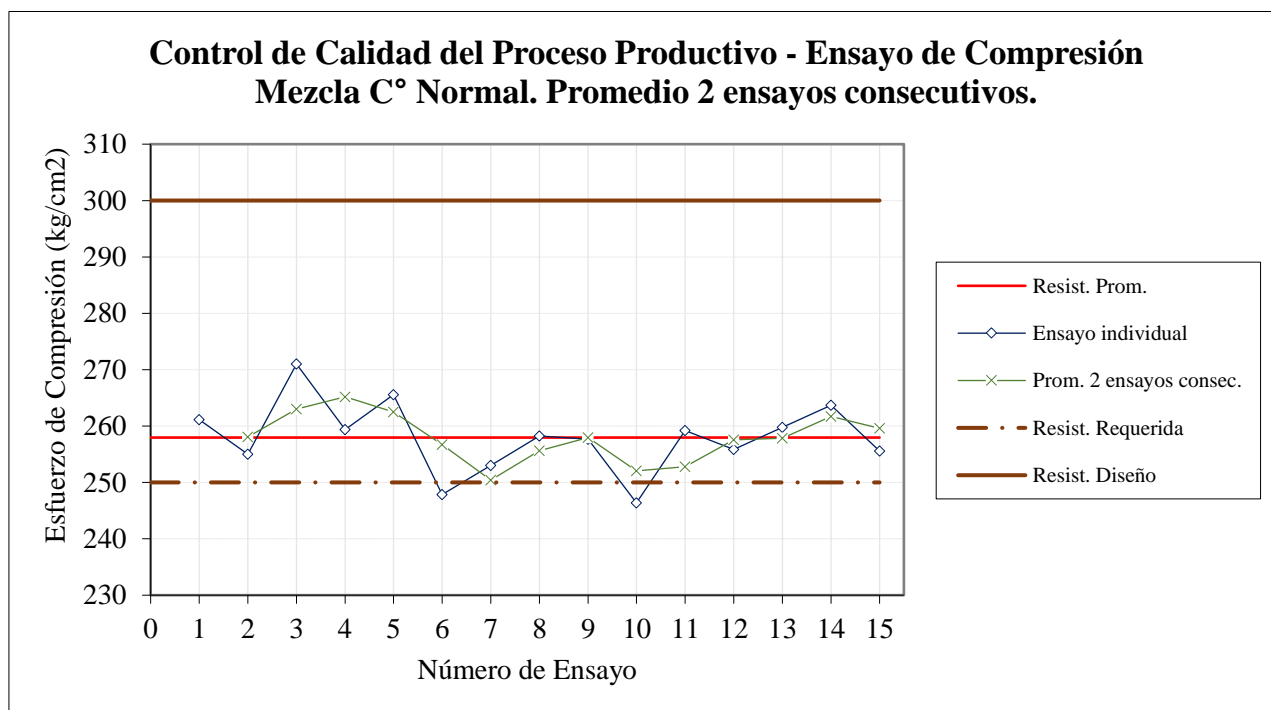


Gráfico 50: Promedio de 2 ensayos consecutivos de resistencia a la compresión. (Código: C° Normal).

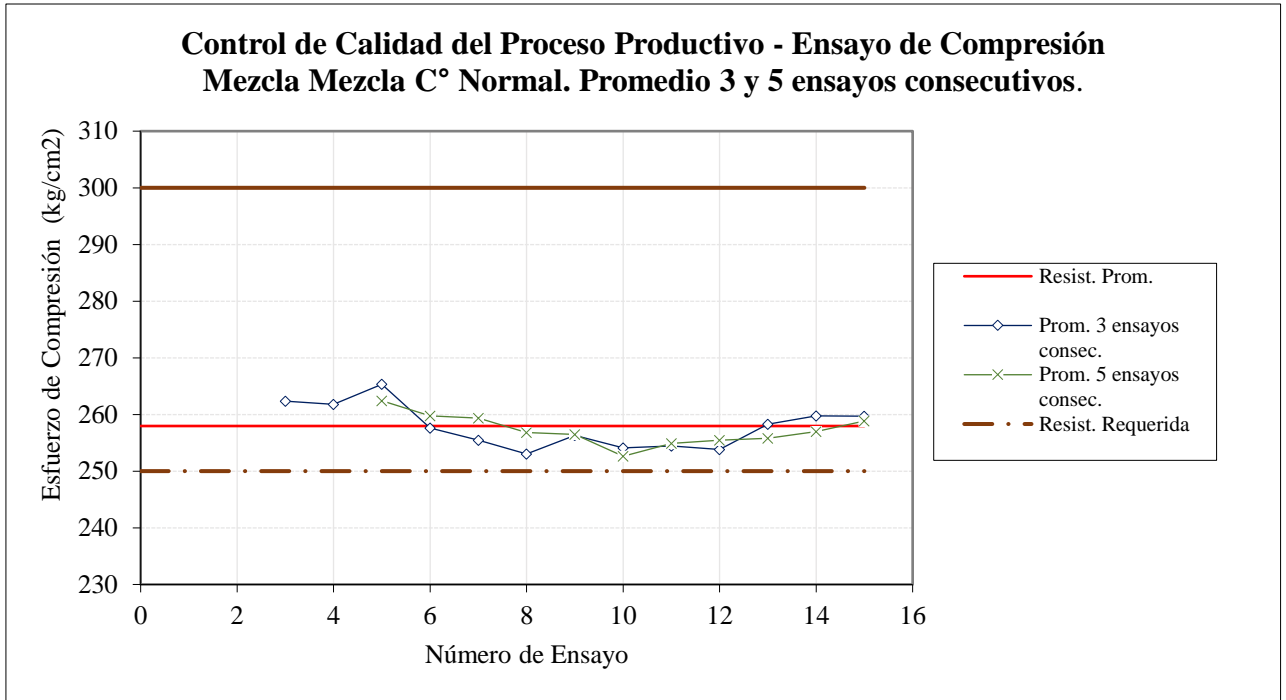


Gráfico 51: Promedio de 3 y 5 ensayos consecutivos a Compresión. (Código: C° Normal).

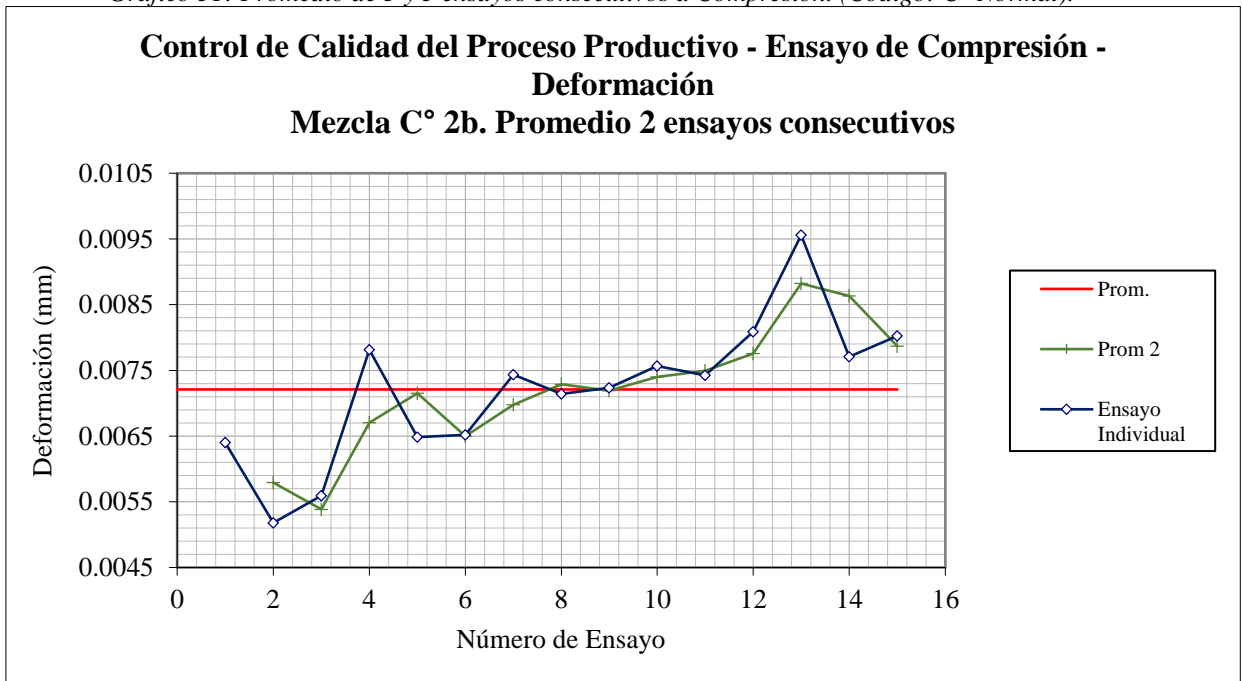


Gráfico 52: Promedio de 2 ensayos consecutivos. Deformación unitaria. (Código: C° Normal).



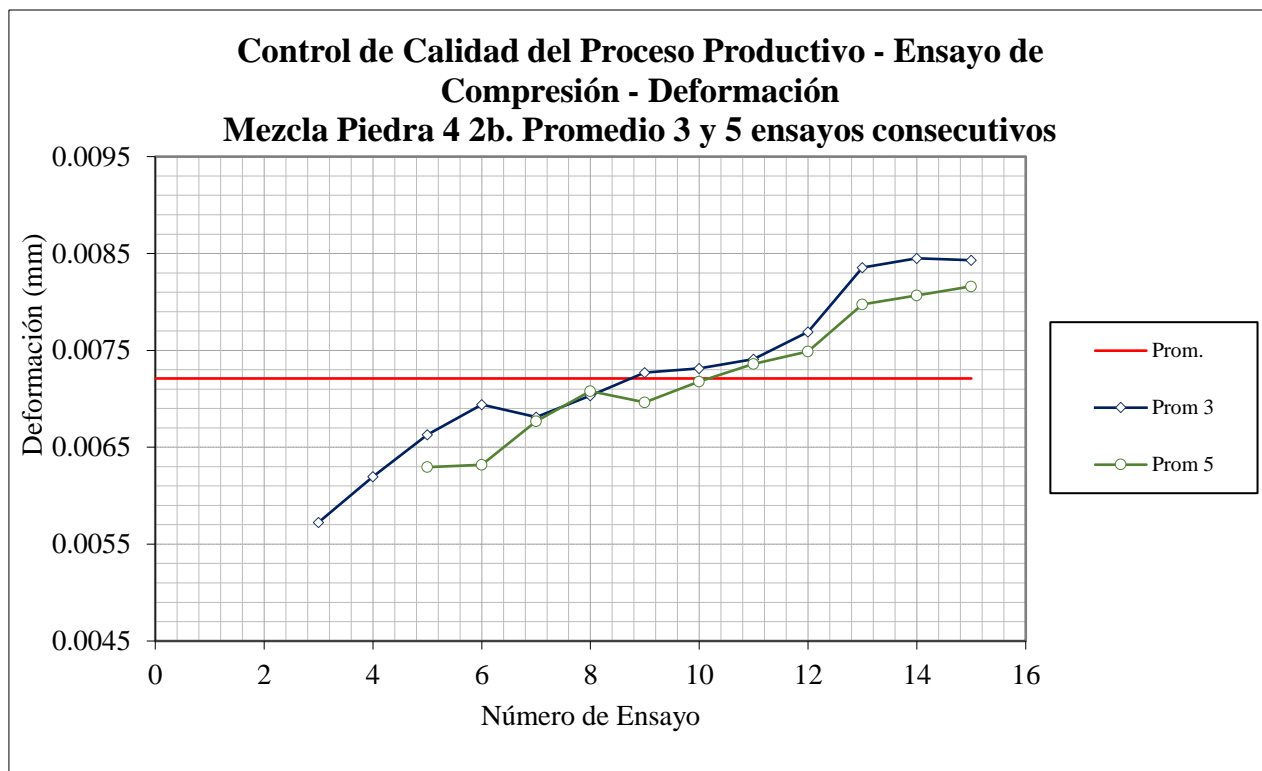


Gráfico 53: Promedio de 3 y 5 ensayos consecutivos. Deformación unitaria. (Código: C° Normal).

### 5.5.2. Mezcla 2 (Código: Piedra 4 2b (Con aditivo bacteriano))

#### A. Datos estadísticos

Número de Intervalos de Clase (M):  $5 \leq M \leq 20$

$$M = 1 + 3.32 * \log_{10} N$$

$M = 1 + 3.32 * \log 15 = 4.90$ ; Obtenemos por: 5

CUADRO RESUMEN DE DATOS ESTADISTICOS		
Mezcla:	Esfuerzo de Compresión	Deformación Unitaria
Piedra 4 2b	kg/cm <sup>2</sup>	mm/mm
Número de Datos:	15	15
Promedio:	283.29	0.01006
Desviación Estándar:	11.00	0.00094
Coef. de Variación (%) :	3.88	9.34
Mínimo:	264.4	0.0086
Máximo:	306.27	0.01197
Rango (R):	41.87	0.00337
Ancho de Intervalo:	9.00	0.00067

Tabla 84: Datos estadísticos de ensayo de Compresión. (Código: Piedra 4 2b).

## B. Tablas de frecuencias e histogramas

Tabla de Distribución de frecuencias: Esfuerzo de Compresión kg/cm <sup>2</sup> - Mezcla: Piedra 4 2b (28 días)							
Intervalo de clase	Límite inferior (kg/cm <sup>2</sup> )	Límite superior (kg/cm <sup>2</sup> )	Marca de clase	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Absoluta Acumulada	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada
1	264.40	273.40	268.90	2	2	0.13	0.13
2	273.40	282.40	277.90	4	6	0.27	0.40
3	282.40	291.40	286.90	6	12	0.40	0.80
4	291.40	300.40	295.90	2	14	0.13	0.93
5	300.40	309.40	304.90	1	15	0.07	1.00
SUMA				15		1	

Tabla 85: Tabla de Frecuencias de Ensayo a Compresión. (Código: Piedra 4 2b).

Tabla de Distribución de Frecuencias: Deformación Unitaria mm/mm - Mezcla: Piedra 4 2b							
Intervalo de clase	Límite inferior (kg/cm <sup>2</sup> )	Límite superior (kg/cm <sup>2</sup> )	Marca de clase	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Absoluta Acumulada	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada
1	0.0086	0.0093	0.0089	2	2	0.13	0.13
2	0.0093	0.0099	0.0096	4	6	0.27	0.40
3	0.0099	0.0106	0.0103	5	11	0.33	0.73
4	0.0106	0.0113	0.0109	3	14	0.20	0.93
5	0.0113	0.0120	0.0116	1	15	0.07	1.00
SUMA =				15		1	

Tabla 86: Tabla de Frecuencias de Deformación Unitaria. (Código: Piedra 4 2b).

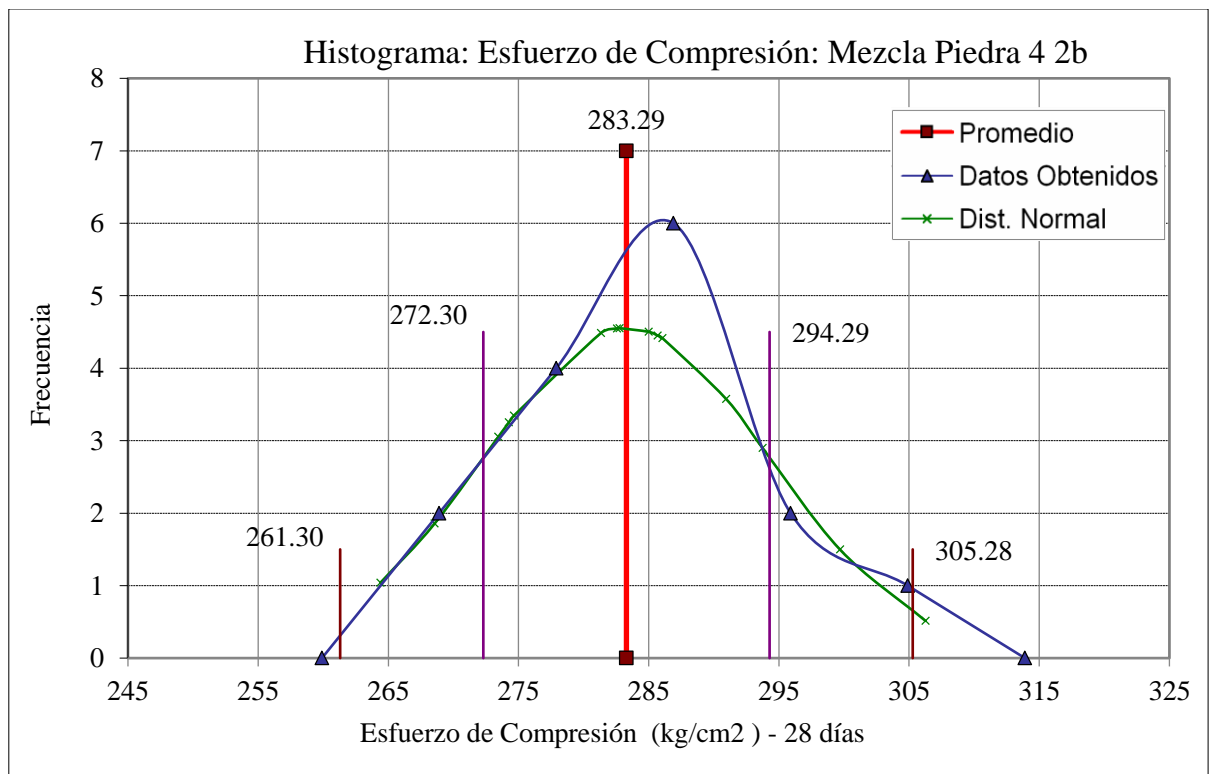


Gráfico 54: Histograma: Esfuerzo a Compresión. (Código: Piedra 4 2b).

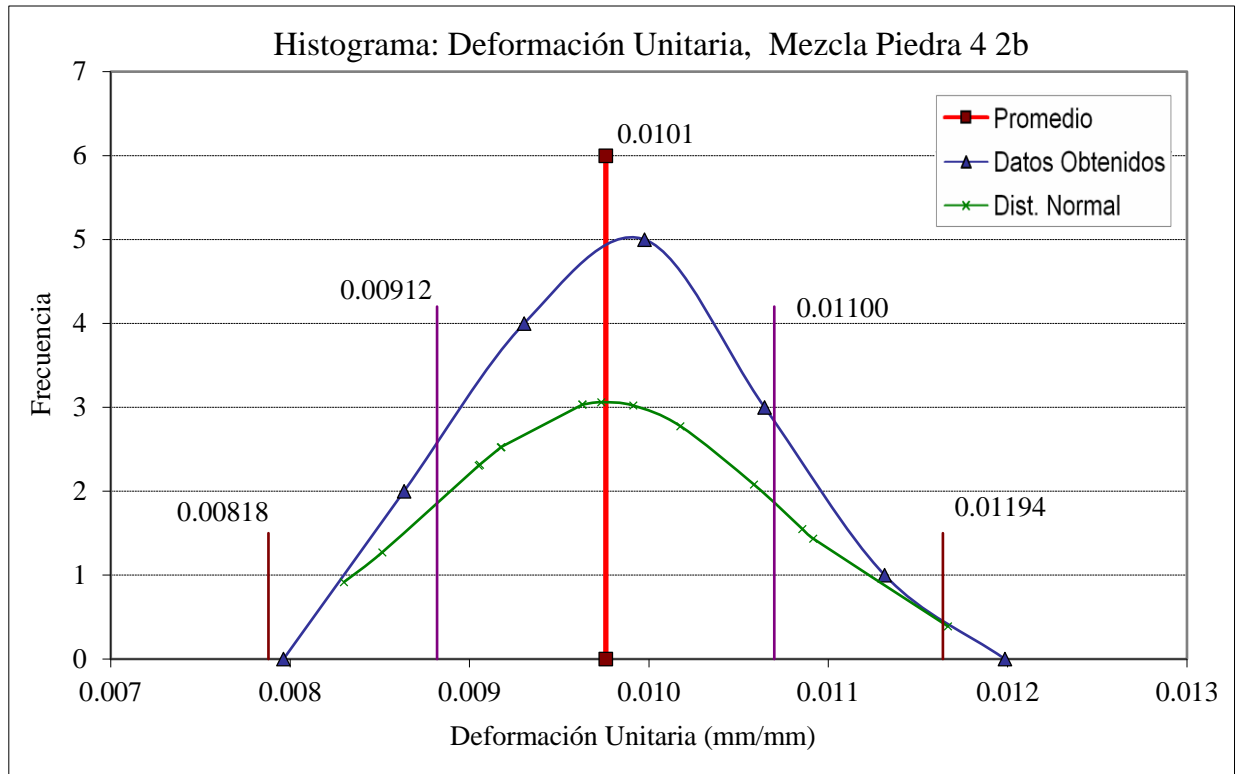


Gráfico 55: Histograma: Deformación Unitaria. (Código: Piedra 4 2b).

### C. Prueba T – Student

PRUEBA T - STUDENT						
Esfuerzo de Compresión kg/cm <sup>2</sup> (28 días) - Piedra 4 2b	N	Media	Desv. Stand.	$t_{14,0.025}$	Error Stand Desv	
	15	283.2915	11.3811	2.14479	2.93859	
Prueba de Valor = 0						
Esfuerzo de Compresión kg/cm <sup>2</sup> (28 días) - Piedra 4 2b	t	Grados de Libertad	Sig. (2-colas)	Diferencia Media	Intervalo de Confianza de 95%	
	96.404	14	0	283.2915	Inferior	Superior
					276.98884	289.59414

Tabla 87: Intervalo del 95% de confianza para la media. Resistencia a compresión. (Código: Piedra 4 2b).

PRUEBA T - STUDENT						
Deformación Unitaria mm/mm	N	Media	Desv. Stand.	$t_{14,0.025}$	Error Stand Desv	
	15	0.0101	0.00094	2.14479	0.00024	
Prueba de Valor = 0						
Deformación Unitaria mm/mm	t	Grados de Libertad	Sig (2-colas)	Diferencia Media	Intervalo de Confianza de 95%	
	41.325	14	0	0.0101	Inferior	Superior
					0.0095	0.0106

Tabla 88: Intervalo del 95% de confianza para la media. Deformación unitaria. (Código: Piedra 4 2b).

#### D. Control de Calidad.

RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS				
Código de Mezcla:		Piedra 4 2b		
Nº Espec.	f.c. (Kg/cm <sup>2</sup> )	Prom. de 2	Prom. de 3	Prom. de 5
1	282.57			
2	286.05	284.31		
3	268.55	277.30	279.05	
4	273.46	271.00	276.02	
5	264.40	268.93	268.80	275.00
6	285.00	274.70	274.28	275.49
7	282.77	283.88	277.39	274.83
8	274.26	278.51	280.68	275.98
9	274.65	274.45	277.22	276.21
10	281.33	277.99	276.74	279.60
11	290.96	286.14	282.31	280.79
12	285.68	288.32	285.99	281.37
13	293.76	289.72	290.13	285.27
14	299.69	296.72	293.04	290.28
15	306.27	302.98	299.91	295.27
prom	283.29	282.50	281.66	280.92
Desv. Standar	11.38	9.73	8.54	6.80
Variación	4.02	3.45	3.03	2.42
Numero	15.00	14.00	13.00	11.00
min	264.40	268.93	268.80	274.83
max	306.27	302.98	299.91	295.27
rango	41.87	34.05	31.10	20.44

Tabla 89: Promedio 2, 3 y 5 ensayos consecutivos. Esfuerzo a Compresión. (Código: Piedra 4 2b).

RESULTADOS DE DEFORMACION				
Código de Mezcla:		Piedra 4 2b.		
Nº Especimen	Def. Unit. mm	Prom. de 2	Prom. de 3	Prom. de 5
1	0.0099			
2	0.0095	0.0097		
3	0.0088	0.0091	0.0094	
4	0.0099	0.0094	0.0094	
5	0.0105	0.0102	0.0097	0.0097
6	0.0109	0.0107	0.0104	0.0099
7	0.0086	0.0097	0.0100	0.0097
8	0.0100	0.0093	0.0098	0.0100
9	0.0094	0.0097	0.0093	0.0099
10	0.0095	0.0094	0.0096	0.0097
11	0.0112	0.0103	0.0100	0.0097
12	0.0120	0.0116	0.0109	0.0104
13	0.0112	0.0116	0.0114	0.0106
14	0.0102	0.0107	0.0111	0.0108
15	0.0094	0.0098	0.0103	0.0108
Prom.	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101
Desv. Estándar:	0.00094	0.00079	0.00068	0.00045
Variación	9.34	7.83	6.73	4.45
Numero	15	14	13	11
min	0.0086	0.0091	0.0093	0.0097
max	0.0120	0.0116	0.0114	0.0108
rango	0.00337	0.00245	0.00212	0.00114

Tabla 90: Promedio 2, 3 y 5 ensayos consecutivos. Deformación Unitaria. (Código: Piedra 4 2b).

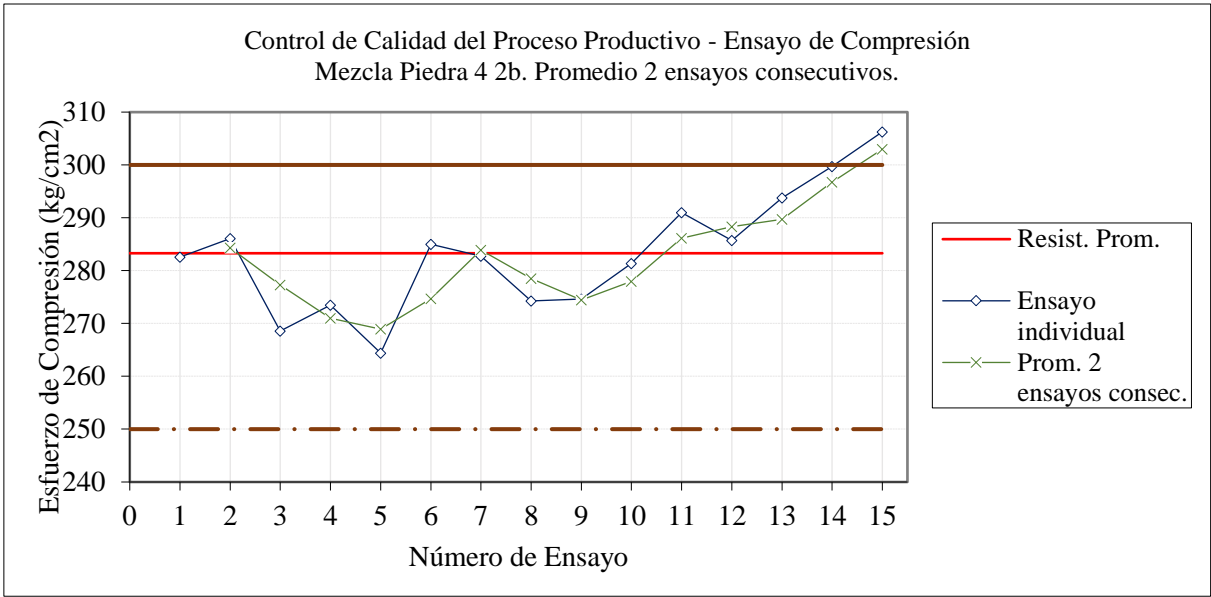


Gráfico 56: Promedio de 2 ensayos consecutivos de resistencia a la compresión. (Código: Piedra 4 2b).

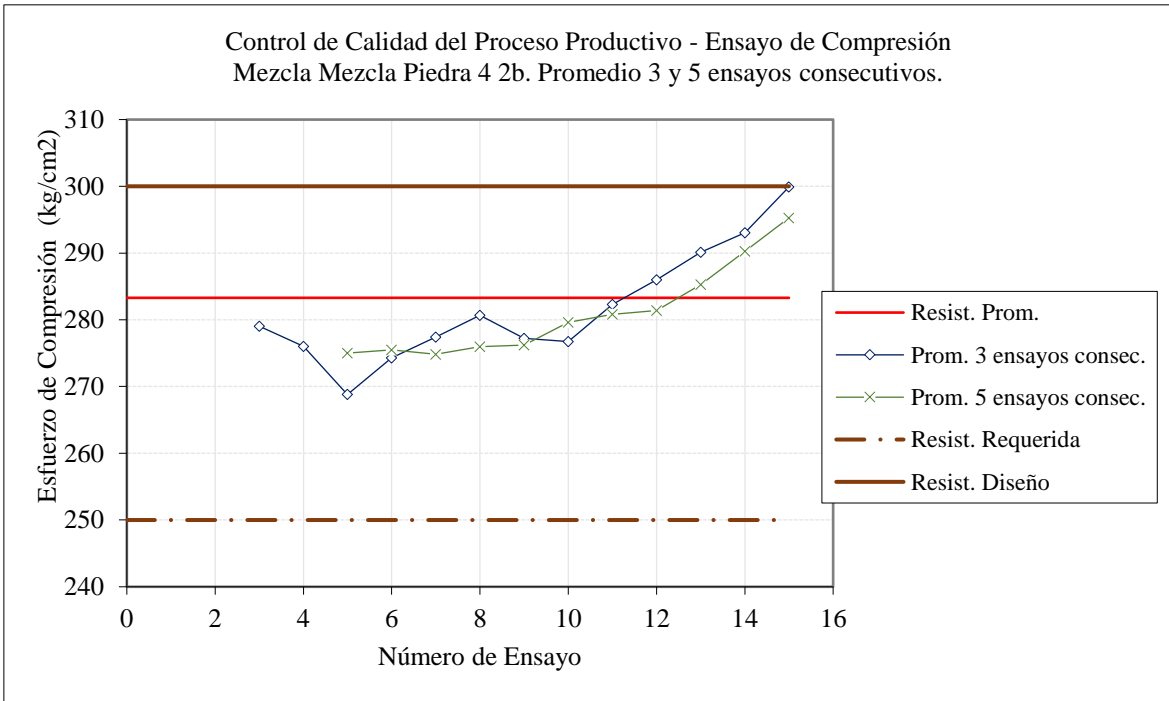


Gráfico 57: Promedio de 3 y 5 ensayos consecutivos a Compresión. (Código: Piedra 4 2b).

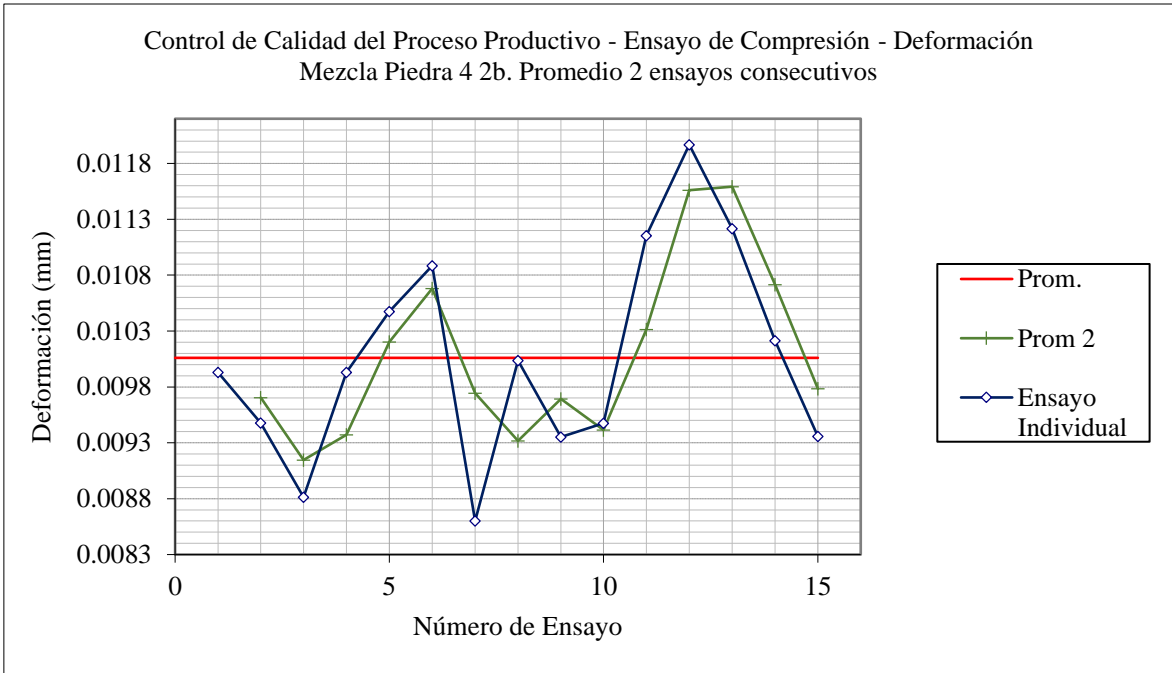


Gráfico 58: Promedio de 2 ensayos consecutivos. Deformación unitaria. (Código: Piedra 4 2b).

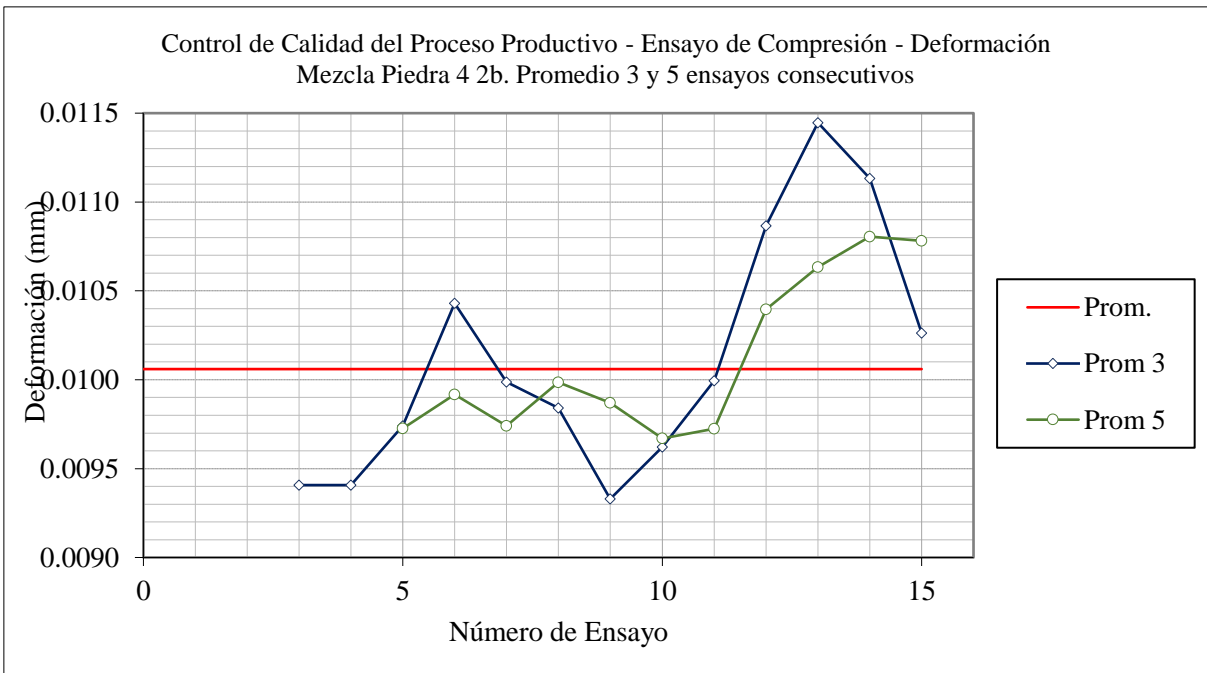


Gráfico 59: Promedio de 3 y 5 ensayos consecutivos. Deformación unitaria. (Código: Piedra 4 2b).

### 5.5.3. Mezcla 3 (Código: C° 2b (Con aditivo bacteriano))

#### A. Datos estadísticos

CUADRO RESUMEN DE DATOS ESTADÍSTICOS – COMPRESION (28 días)		
Mezcla: C° 2b	Esfuerzo de Compresión kg/cm <sup>2</sup>	Deformación Unitaria mm/mm
Número de Datos:	15	15
Promedio:	339.39	0.01132
Desviación Estándar:	16.37	0.00186
Coef. de Variación (%):	4.82	16.43
Mínimo:	309.59	0.00798
Máximo:	363.71	0.01426
Rango (R):	54.12	0.00628
Ancho de Intervalo:	13.00	0.0013

Tabla 91: Datos estadísticos de ensayo de Compresión. (Código: C° 2b).

#### B. Tablas de frecuencias e histogramas

Tabla de Distribución de frecuencias: Esfuerzo de Compresión kg/cm <sup>2</sup> - Mezcla: Piedra 4 2b (28 días)							
Intervalo de clase	Límite inferior (kg/cm <sup>2</sup> )	Límite superior (kg/cm <sup>2</sup> )	Marca de clase	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Absoluta Acumulada	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada
1	309.59	322.59	316.09	2	2	0.13	0.13
2	322.59	335.59	329.09	3	5	0.20	0.33
3	335.59	348.59	342.09	6	11	0.40	0.73
4	348.59	361.59	355.09	3	14	0.20	0.93
5	361.59	374.59	368.09	1	15	0.07	1.00
SUMA				15		1	

Tabla 92: Tabla de Frecuencias de Ensayo a Compresión. (Código: C° 2b).

Tabla de Distribución de Frecuencias: Deformación Unitaria mm/mm - Mezcla: Piedra 4 2b							
Intervalo de clase	Límite inferior (kg/cm <sup>2</sup> )	Límite superior (kg/cm <sup>2</sup> )	Marca de clase	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Absoluta Acumulada	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada
1	0.0080	0.0093	0.0086	2	2	0.13	0.13
2	0.0093	0.0106	0.0099	3	5	0.20	0.33
3	0.0106	0.0119	0.0112	5	10	0.33	0.66
4	0.0119	0.0132	0.0125	3	13	0.20	0.86
5	0.0132	0.0145	0.0138	2	15	0.13	1.00
SUMA =				15		1	

Tabla 93: Tabla de Frecuencias de Deformación Unitaria. (Código: C° 2b).

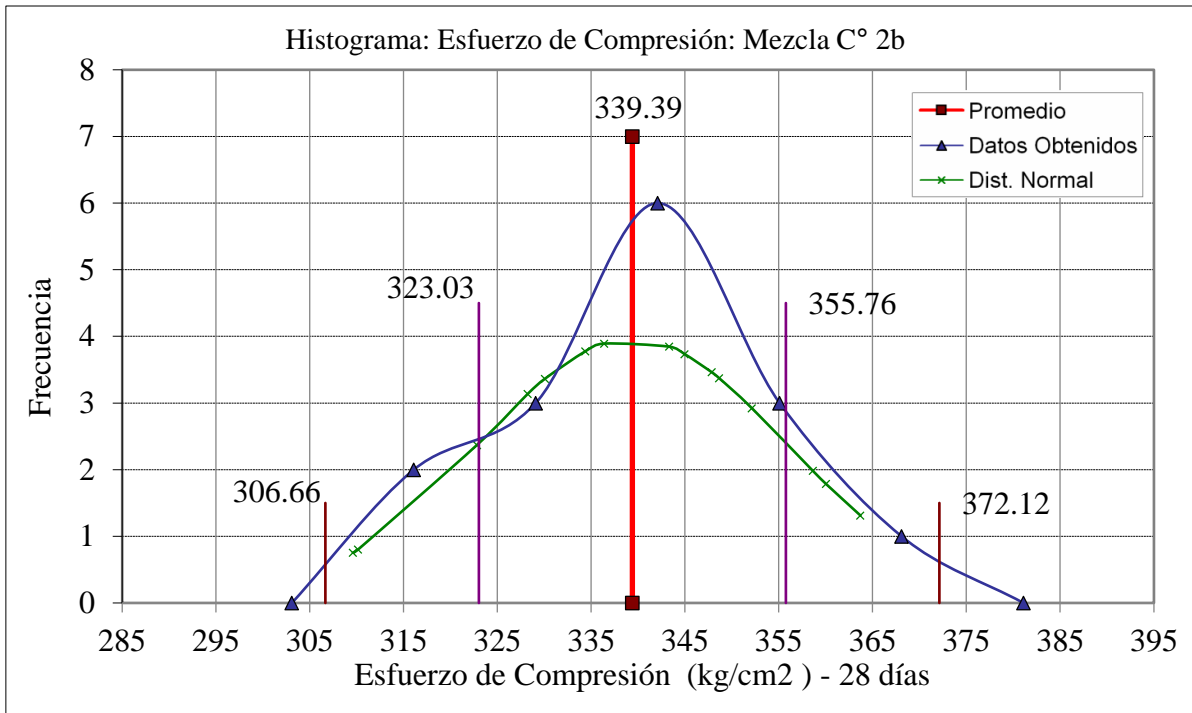


Gráfico 60: Histograma: Esfuerzo a Compresión. (Código: C° 2b).

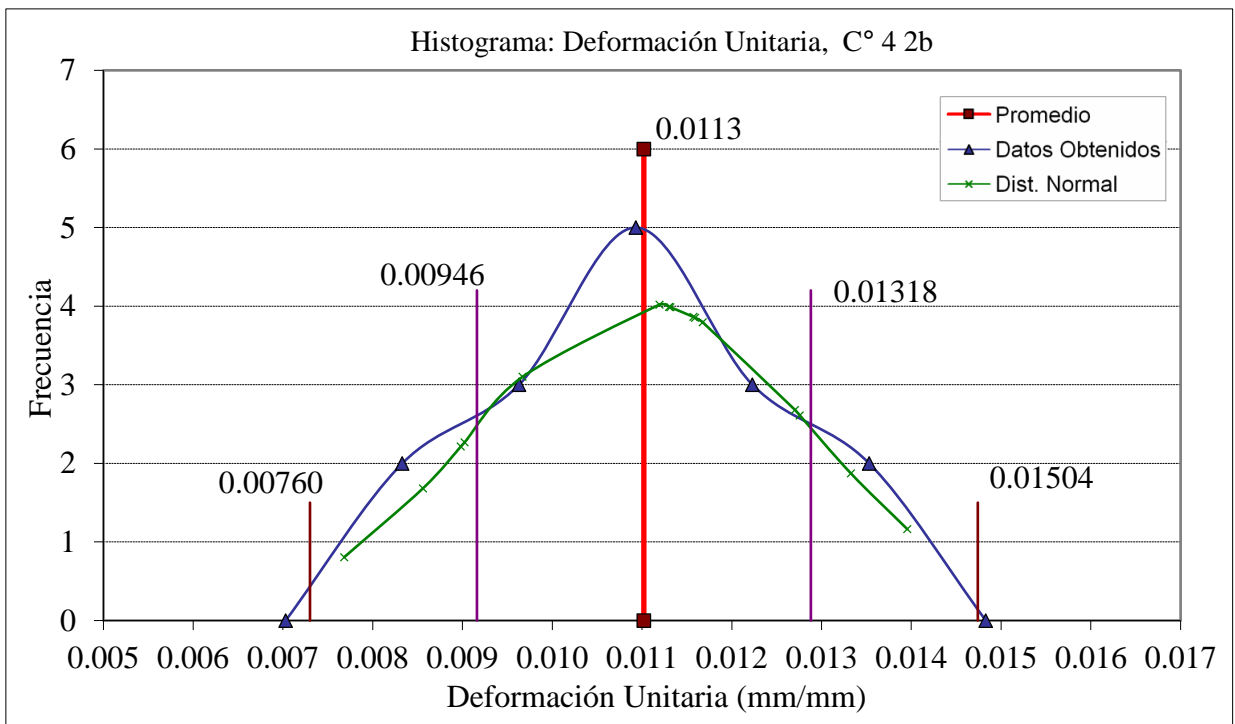


Gráfico 61: Histograma: Deformación Unitaria. (Código: C° 2b).



### C. Prueba T-Student

PRUEBA T - STUDENT						
Esfuerzo de Compresión kg/cm <sup>2</sup> (28 días) - C° 2b	N	Media	Desv. Stand.	t <sub>14,0.025</sub>	Error Stand Desv	
		15	339.3919	16.9398	2.14479	4.37384
Prueba de Valor = 0						
Esfuerzo de Compresión kg/cm <sup>2</sup> (28 días) - C° 2b	t	Grados de Libertad	Sig. (2-colas)	Diferencia Media	Intervalo de Confianza de 95%	
					Inferior	Superior
	77.596	14	0	339.3919	330.01098	348.77288

Tabla 94: Intervalo del 95% de confianza para la media. Resistencia a compresión. (Código: C° 2b).

PRUEBA T - STUDENT						
Deformación Unitaria mm/mm	N	Media	Desv.	t <sub>14,0.025</sub>	Error Stand	
		15	0.0113	0.00186	2.14479	0.00048
Prueba de Valor = 0						
Deformación Unitaria mm/mm	t	Grados de Libertad	Sig (2-colas)	Diferencia a Media	Intervalo de Confianza de 95%	
					Inferior	Superior
	23.6231	14	0	0.0113	0.0103	0.0124

Tabla 95: Intervalo del 95% de confianza para la media. Deformación unitaria. (Código: C° 2b).

### D. Control de Calidad.

RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS				
Código de Mezcla:		C° 2b		
N° Espec.	f <sub>c</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	Prom. de 2	Prom. de 3	Prom. de 5
1	347.85			
2	348.65	348.25		
3	334.37	341.51	343.62	
4	360.04	347.20	347.68	
5	343.30	351.67	345.90	346.84
6	330.06	336.68	344.47	343.28
7	328.22	329.14	333.86	339.20
8	322.83	325.52	327.04	336.89
9	309.59	316.21	320.21	326.80
10	310.14	309.87	314.19	320.17
11	336.39	323.27	318.71	321.44
12	352.13	344.26	332.89	326.22
13	358.63	355.38	349.05	333.38
14	363.71	361.17	358.16	344.20
15	344.96	354.33	355.77	351.16
prom	339.39	338.89	337.81	335.42
Desv. Standar	16.94	15.79	14.41	10.61
Variación	4.99	4.66	4.27	3.16
Numero	15.00	14.00	13.00	11.00
min	309.59	309.87	314.19	320.17
max	363.71	361.17	358.16	351.16
rango	54.11	51.30	43.97	31.00

Tabla 96: Promedio 2, 3 y 5 ensayos consecutivos. Esfuerzo a Compresión. (Código: C° 2b).

RESULTADOS DE DEFORMACION				
Código de Mezcla:		C° 2b.		
N° prob.	Def. Unit. mm	Prom. de 2	Prom. de 3	Prom. de 5
1	0.0093			
2	0.0080	0.0087		
3	0.0089	0.0084	0.0087	
4	0.0093	0.0091	0.0087	
5	0.0100	0.0096	0.0094	0.0091
6	0.0119	0.0109	0.0104	0.0096
7	0.0131	0.0125	0.0116	0.0106
8	0.0120	0.0125	0.0123	0.0112
9	0.0119	0.0119	0.0123	0.0118
10	0.0116	0.0117	0.0118	0.0121
11	0.0136	0.0126	0.0124	0.0124
12	0.0130	0.0133	0.0127	0.0124
13	0.0116	0.0123	0.0127	0.0123
14	0.0115	0.0116	0.0120	0.0123
15	0.0143	0.0129	0.0125	0.0128
Prom.	0.0113	0.0113	0.0114	0.0115
Desv. Estándar:	0.00186	0.00166	0.00151	0.00124
Variación	16.43	14.70	13.30	10.77
Numero	15	14	13	11
min	0.0080	0.0084	0.0087	0.0091
max	0.0143	0.0133	0.0127	0.0128
rango	0.00627	0.00490	0.00404	0.00372

Tabla 97: Promedio 2, 3 y 5 ensayos consecutivos. Deformación Unitaria. (Código: C° 2b).

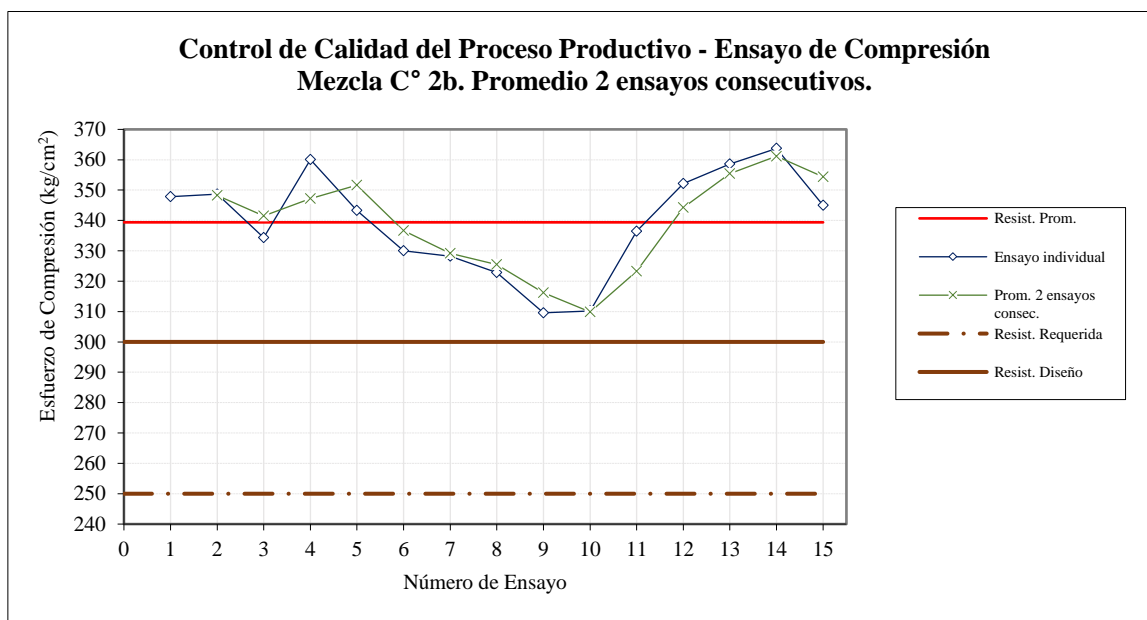


Gráfico 62: Promedio de 2 ensayos consecutivos de resistencia a la compresión. (Código: C° 2b).

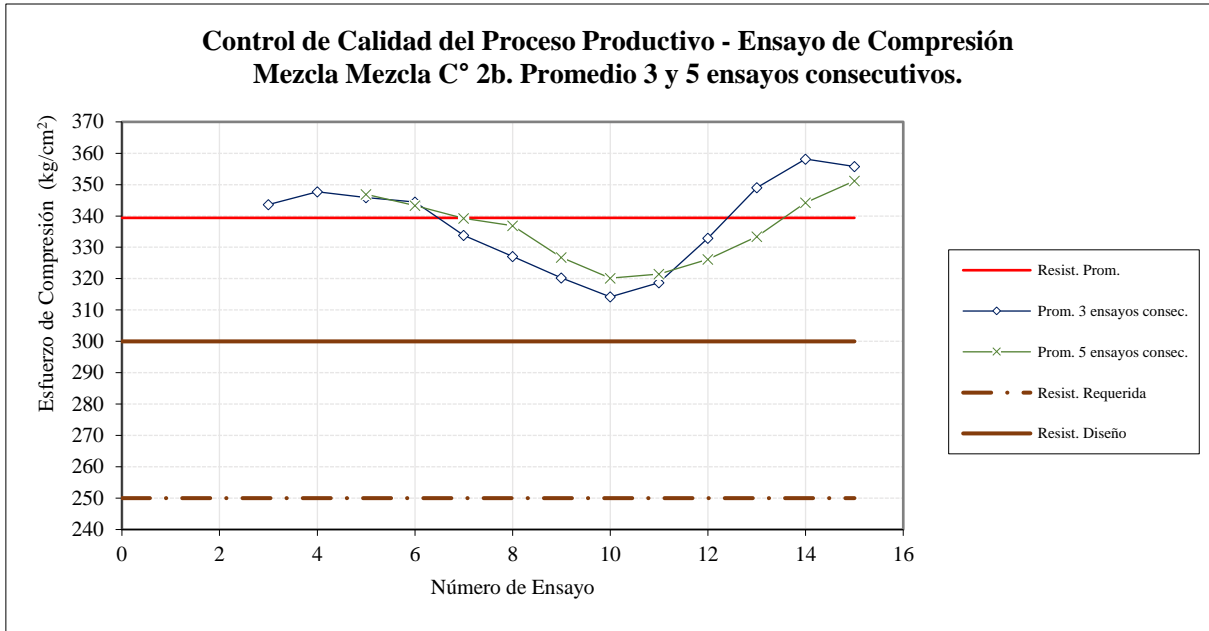


Gráfico 63: Promedio de 3 y 5 ensayos consecutivos a Compresión. (Código: C° 2b).

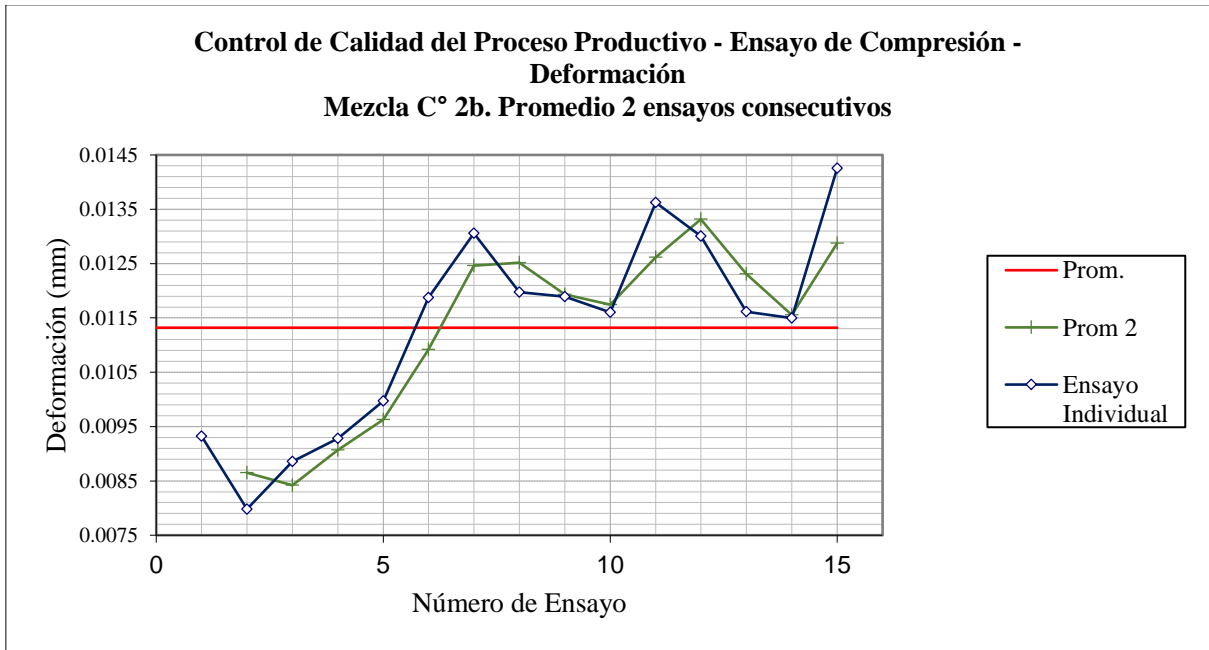


Gráfico 64: Promedio de 2 ensayos consecutivos. Deformación unitaria. (Código: C° 2b).

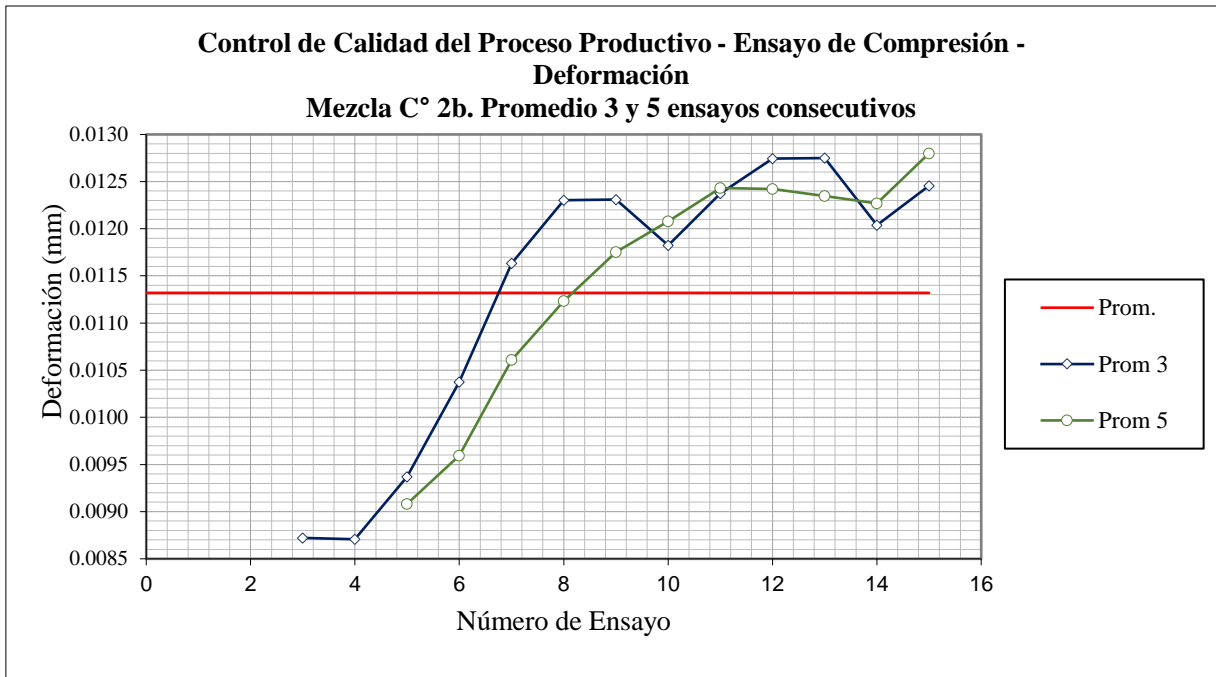


Gráfico 65: Promedio de 3 y 5 ensayos consecutivos. Deformación unitaria. (Código: C° 2b).

### 5.6. Análisis estadístico en IBM SPSS Statistics.

Análisis Descriptivo					
	GRUPOS		Estadístico	Error estándar	
<b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>C° Normal</b>	Media	257,956	1,6298	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	254,460	
			Límite superior	261,452	
		Media recortada al 5%	257,875		
		Mediana	258,235		
		Varianza	39,843		
		Desviación estándar	6,3121		
		Mínimo	246,4		
		Máximo	271,0		
		Rango	24,6		
		Rango intercuartil	6,1		
		Asimetría	,045	,580	
		Curtosis	,569	1,121	
	<b>Piedra 4 2b</b>	Media	283,291	2,9387	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	276,988	
Límite superior			289,594		
Media recortada al 5%		283,065			

		Mediana		282,773	
		Varianza		129,543	
		Desviación estándar		11,3817	
		Mínimo		264,4	
		Máximo		306,3	
		Rango		41,9	
		Rango intercuartil		16,7	
		Asimetría		,329	,580
		Curtosis		-,083	1,121
	<b>C° 2b</b>	Media		339,392	4,3738
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	330,011	
			Límite superior	348,773	
		Media recortada al 5%		339,697	
		Mediana		343,305	
		Varianza		286,958	
		Desviación estándar		16,9398	
		Mínimo		309,6	
		Máximo		363,7	
		Rango		54,1	
		Rango intercuartil		23,9	
Asimetría			-,414	,580	
Curtosis			-,663	1,121	
<b>DEFORMACIÓN (mm x 10<sup>-3</sup>)</b>	<b>C° Normal</b>	Media		,007212	,0002777
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	,006616	
			Límite superior	,007807	
		Media recortada al 5%		,007194	
		Mediana		,007426	
		Varianza		,000	
		Desviación estándar		,0010754	
		Mínimo		,0052	
		Máximo		,0096	
		Rango		,0044	
		Rango intercuartil		,0013	
		Asimetría		,043	,580
		Curtosis		,867	1,121
	<b>Piedra 4 2b</b>	Media		,010059	,0002434
			Límite inferior	,009537	

		95% de intervalo de confianza para la media	Límite superior	,010581	
		Media recortada al 5%		,010034	
		Mediana		,009930	
		Varianza		,000	
		Desviación estándar		,0009427	
		Mínimo		,0086	
		Máximo		,0120	
		Rango		,0034	
		Rango intercuartil		,0015	
		Asimetría		,425	,580
		Curtosis		-,341	1,121
	<b>C° 2b</b>	Media		,011321	,0004792
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	,010293	
			Límite superior	,012349	
		Media recortada al 5%		,011343	
		Mediana		,011616	
		Varianza		,000	
		Desviación estándar		,0018560	
		Mínimo		,0080	
		Máximo		,0143	
		Rango		,0063	
		Rango intercuartil		,0037	
		Asimetría		-,295	,580
		Curtosis		-,828	1,121

Tabla 98 : Análisis Descriptivo en IBM SPSS Statistics 22

Pruebas de normalidad							
	GRUPOS	Kolmogorov -Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )	C°Normal	,120	15	,200*	,974	15	,910
	Piedra 4	,138	15	,200*	,977	15	,946
	C° 2b	,125	15	,200*	,953	15	,567
DEFORMACIÓN (mm x 10 <sup>-3</sup> )	C°Normal	,142	15	,200*	,960	15	,688
	Piedra 4	,131	15	,200*	,967	15	,818
	C° 2b	,204	15	,094	,947	15	,484

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Tabla 99: Pruebas de normalidad en IBM SPSS Statistics 22.

La prueba de normalidad, el  $p > 0,05$ , por lo tanto, SÍ hay distribución normal de los datos, y eso apoya la opción de aplicar un estadístico paramétrico, en este caso, la prueba de ANOVA. Como la cantidad de mediciones hechas en cada grupo es pequeña (15 por grupo), la prueba a tener en cuenta, es la de Shapiro-Wilk.

### Diagramas de caja y bigotes para comparar grupos según deformación

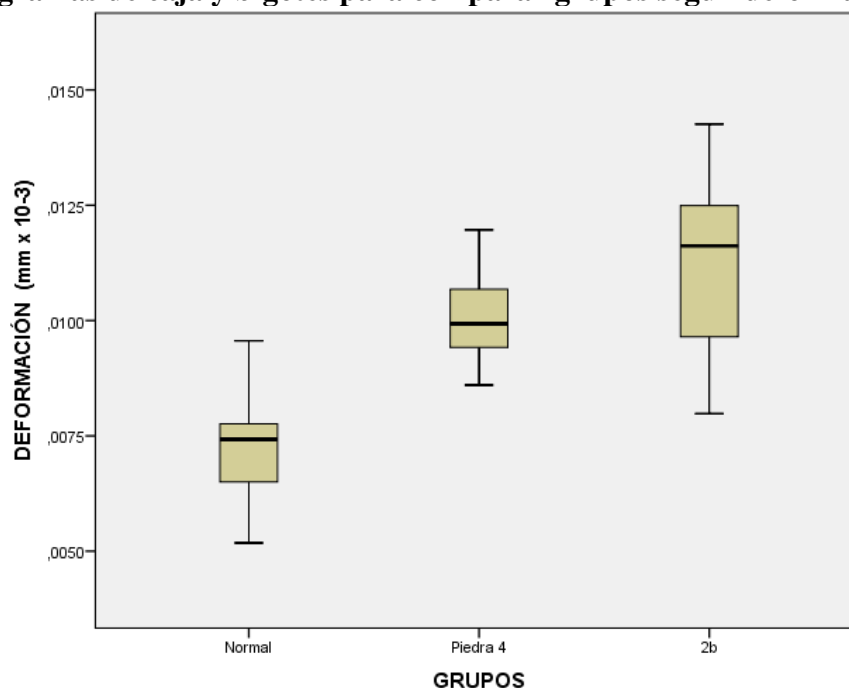


Gráfico 66: Diagramas de caja y bigotes para comparar grupos según deformación en IBM SPSS Statistics ( $\text{mm} \times 10^{-3}$ ).

ANOVA						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	Entre grupos	52104,888	2	26052,444	171,268	,000
	Dentro de grupos	6388,815	42	152,115		
	Total	58493,703	44			
DEFORMACIÓN ( $\text{mm} \times 10^{-3}$ )	Entre grupos	,000	2	,000	36,320	,000
	Dentro de grupos	,000	42	,000		
	Total	,000	44			

Tabla 100: Prueba estadística ANOVA en IBM SPSS Statistics 22.

✓ Pruebas Post Hoc Para comparaciones múltiples de grupos

Comparaciones múltiples							
HSD Tukey							
Variable dependiente	(I) GRUPOS	(J) GRUPOS	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )	Normal	Piedra 4	-25,3352*	4,5035	,000	-36,277	-14,394
		2b	-81,4359*	4,5035	,000	-92,377	-70,495
	Piedra 4	Normal	25,3352*	4,5035	,000	14,394	36,277
		2b	-56,1007*	4,5035	,000	-67,042	-45,159
	2b	Normal	81,4359*	4,5035	,000	70,495	92,377
		Piedra 4	56,1007*	4,5035	,000	45,159	67,042
DEFORMACIÓN (mm x 10 <sup>-3</sup> )	Normal	Piedra 4	-,0028476*	,0004940	,000	-,004048	-,001648
		2b	-,0041093*	,0004940	,000	-,005309	-,002909
	Piedra 4	Normal	,0028476*	,0004940	,000	,001648	,004048
		2b	-,0012616*	,0004940	,037	-,002462	-,000062
	2b	Normal	,0041093*	,0004940	,000	,002909	,005309
		Piedra 4	,0012616*	,0004940	,037	,000062	,002462

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Tabla 101: Comparaciones múltiples en IBM SPSS Statistics 22.

El valor de p ( $p < 0,05$ ) lo que significa que hay diferencia significativa al comparar las medias de las mediciones hechas, para ambas variables (Resistencia a la compresión y deformación). Esto mismo se puede ver en los diagramas de caja y bigotes, que se obtienen al realizar un análisis exploratorio, sin embargo, siempre es necesario tener el valor del estadístico para que fortalezca lo visto en los gráficos.



**VI. Anexo VI: Constancia de uso de laboratorio.**



Universidad Nacional de Cajamarca  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
*Laboratorio de Ensayo de Materiales*



EL JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA, DEJA:

**CONSTANCIA**

Que el Sr. **ASENJO ALARCÓN DENNIS EDINSSON**. Ex alumno de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca; que ha realizado trabajos en el Laboratorio de Ensayo de Materiales “Mg. Ing. Carlos Esparza Díaz” de la Facultad de Ingeniería, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca, para la Tesis Titulada: “INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DEL ADITIVO BACTERIANO EN LA REPARACIÓN DEL PROCESO DE FISURACIÓN CONTROLADA DEL CONCRETO”. Dichos ensayos se realizaron del 26 de noviembre al 21 de diciembre del 2018, en dicha institución.

Se expide el presente, para fines que se estime conveniente.

Cajamarca, 22 de abril de 2019.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
  
Ing. Mauro Centurión Vargas  
JEFE DEL LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

## VII. Anexo VII: Guía práctica del uso del aditivo bacteriano.

### GUÍA PRÁCTICA (PASO A PASO) DEL USO DEL ADITIVO BACTERIANO.

#### OBTENCION DEL ADITIVO BACTERIANO

---

Contactar con un laboratorio de microbiología para la obtención de las cepas bacterianas, estas se deberán diluir en una proporción de  $3 \times 10^8$  células por ml, junto a los nutrientes que se requieren para la supervivencia de las bacterias en el concreto o mortero, como se indica en la siguiente tabla, en agua esterilizada:

Composición del medio de cultivo	
Componentes	Gramos por litro
Caldo BHI	2.10
NaHCO <sub>3</sub>	1.50
NH <sub>4</sub> Cl	7.00
Urea	7.00
CaCl <sub>2</sub>	5.00

Tabla 102: Composición del medio de cultivo. (Soundari et al.,2015).

#### USOS

---

El aditivo bacteriano se utiliza para la reparación de fisuras de morteros y concreto, y es aplicable a cualquier estructura de concreto.

#### INFORMACIÓN DE APLICACIÓN

---

##### INCORPORACIÓN A LA MEZCLA DE CONCRETO/MORTERO.

###### En Estructuras de Concreto.

- ◆ Aditivo bacteriano de cepas de *Paenibacillus Lactis*. Para un concreto de  $f'c=300$   $kg/cm^2$  se deberá utilizar una dosificación en peso de 1: 2.15: 1.85: 20.83lt/bol (Agua), se deberá agregar 2.12lt/bol de (Aditivo bacteriano).
- ◆ Aditivo bacteriano de cepas de *Bacillus firmus*. Para un concreto de  $f'c=280$   $kg/cm^2$  se deberá utilizar una dosificación en peso de 1: 2.15: 1.85: 20.83lt/bol (Agua), se deberá agregar 2.12lt/bol de (Aditivo bacteriano)

###### En Mortero.

- ◆ Aditivo bacteriano de cepas de *Paenibacillus Lactis o*. Para un mortero de  $f'c=168$   $kg/cm^2$  se deberá utilizar una dosificación en peso de 1: 3.07: 29.75lt/bol (Agua), se deberá agregar 3.6lt/bol de (Aditivo bacteriano).

##### METODOLOGIA DE APLICACIÓN DIRECTA A LA MEZCLA DE CONCRETO/MORTERO

#### PASO 1

---

Todo concreto/mortero debe mezclarse hasta que se logre una distribución uniforme de los materiales sólidos.

## **PASO 2**

---

Preparar el agua de mezcla.

## **PASO 3**

---

Agitar el frasco que contiene el aditivo bacteriano hasta obtener una distribución uniforme.

## **PASO 4**

---

Verter el aditivo bacteriano directamente al agua de mezcla.

## **PASO 5**

---

Diluir el aditivo bacteriano juntamente con el agua de mezcla.

## **PASO 6**

---

Verter la combinación del agua de mezcla y aditivo bacteriano sobre la mezcla de agregados y cemento.

## **PASO 7**

---

Mezclar hasta que la apariencia de mezcla sea uniforme.

## **PASO 8**

---

Vaciar la mezcla en la estructura

# **METODOLOGIA DE APLICACIÓN SUPERFICIAL A ESTRUCTURAS DE CONCRETO/MORTERO**

## **PASO 1**

---

Limpiar la superficie de la grieta, esta debe encontrarse sana, exenta de polvo, grasa, aceite o cualquier impregnación que pueda actuar como elemento desmoldante que impida lograr una buena adherencia.

## **PASO 2**

---

Para la limpieza es conveniente tratar con agua a presión y/o aire comprimido exento de aceite.

## **PASO 3**

---

Agitar el frasco que contiene el aditivo bacteriano hasta obtener una distribución uniforme.

## **PASO 4**

---

Colocar el aditivo bacteriano directamente al frasco spray, jeringa o pulverizador; previamente esterilizados.

## **PASO 5**

---

Aplicar una capa del contenido sobre la fisura o grieta

## **PASO 6**

---

Repetir el proceso del paso 5 hasta cubrir completamente la fisura o grieta

## **PASO 7**

---

Supervisar la curación de la grieta o fisura periódicamente cada 7 días.

## **CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS**

---

El aditivo bacteriano sella las fisuras que se producen en una estructura, mediante la precipitación de cristales de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) proporcionando una reparación y evitando el deterioro de la estructura.

Los beneficios del aditivo bacteriano incluyen, entre otro, los siguientes:

- ◆ Reparación de las grietas en el concreto y/o mortero
- ◆ Aumento de la resistencia a compresión.
- ◆ Aumento la resistencia a la flexión. (Salmabanu et. al, 2015)
- ◆ Alternativa de alta calidad como sellador de concreto. (Manikandan et. al, 2015)
- ◆ Mejora en la durabilidad de materiales de construcción. (Manikandan et. al, 2015) (Ardehana et. al, 2016)
- ◆ Brinda protección contra la corrosión de refuerzo de acero por crack puente. (Ravindranatha et. al, 2015)
- ◆ Se obtiene mejor resistencia al agua ácida suave y productos químicos agresivos. (Ravindranatha et. al, 2015)
- ◆ Da mayor trabajabilidad y mejora la relación agua-cemento. (Ravindranatha et. al, 2015)

## **LIMITACIONES**

---

Se recomienda utilizar el aditivo bacteriano para fisuras menores de 3mm, ya que dicha dimensión fue la más grande se evaluó en la presente investigación. También se puede considerar lo dicho por Jonkers, et al, (2007); no hay límite para el largo de la grieta que este material puede reparar, desde centímetros a kilómetros. Para el ancho, sin embargo, sí hay límite: las grietas no deben tener una amplitud mayor a 8 milímetros.

## **NOTAS**

---

Todos los datos técnicos recogidos en esta guía se basan en ensayos de laboratorio realizados en la presente investigación y en los artículos científicos previos realizados en los antecedentes internacionales por diversos investigadores. Las medidas de los datos actuales pueden variar por diversas circunstancias.

Es posible que otro tipo de cepas bacterianas que se desconocen presenten mejores bondades que las estudiadas en este trabajo, lo cual será objeto de futuras investigaciones.