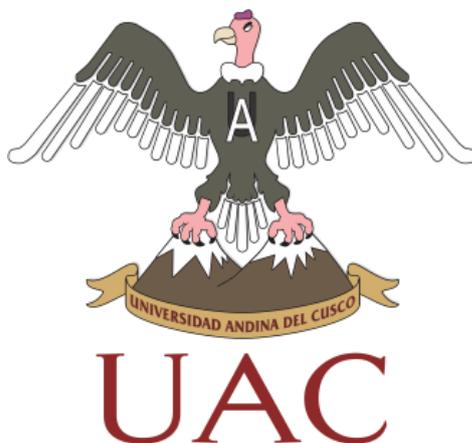


UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

“ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO UTILIZANDO BACTERIAS DEL GÉNERO BACILLUS Y BIOPOLÍMEROS COMO BIOREPARADOR, CUSCO-2016”.

Presentado por los bachilleres:

- Mendoza Nina, Renato Héctor.
- Sánchez Quijano, Jhon Marx.

**Para optar al Título Profesional de
Ingeniero Civil**

Asesores:

- Mgt. Ing. Víctor Chacón Sánchez.
Blgo. Lugó Miranda Barriga.

CUSCO – PERÚ
2017

DEDICATORIA

A DIOS POR DARME LA VIDA, SABIDURÍA E INTELIGENCIA.

A MIS QUERIDOS PADRES, POR TODO SU APOYO, ENSEÑANZAS Y SABIDURÍA QUE INCULCARON EN MI PARA SER MEJOR PERSONA, PROFESIONAL Y UN BUEN CIUDADANO DEL PRESENTE Y DEL FUTURO.

A MI QUERIDA MADRE ROSALÍA NINA CRUZ, DE MANERA ESPECIAL POR SU INFINITO AMOR, ENSEÑANZA, VALIOSOS CONSEJOS TRASCENDENTALES, MOTIVACIÓN, PALABRAS DE ALIENTO PARA LLEGAR LEJOS Y MI GRAN EJEMPLO DE SUPERACIÓN CONSTANTE.

A MIS QUERIDAS HERMANAS ANA MENDOZA NINA Y ROSA MENDOZA NINA POR SU APOYO, CONSEJOS Y FORMAR PARTE DE MI VIDA DIARIA DESDE NIÑOS.

A MIS SOBRINOS PHILLER BOZA MENDOZA, VALERIA BOZA MENDOZA, KENNETH HUAMÁN MENDOZA, KEITH HUAMÁN MENDOZA POR LOS MOMENTOS DIVERTIDOS Y FELICES QUE ALEGRAN MI VIDA.

A TODOS MIS COMPAÑERO(A)S Y AMIGO(A)S QUE COMPARTIERON LAS AULAS UNIVERSITARIAS DE LA FACULTAD DE INGENIERIA - UAC Y FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS – UNSAAC.

“Hay dos días en la vida en los que no se puede hacer nada, uno fue ayer y otro será mañana, solo tenemos el hoy para luchar por nuestros sueños”.

¡A USTEDES, MUCHAS GRACIAS!

RENATO HÉCTOR.

DEDICATORIA

ESTE TRABAJO LO DEDICO A DIOS NUESTRO PADRE POR BENDECIRME PARA LLEGAR HASTA DONDE HE LLEGADO, CON MUCHO AMOR HA GUIADO MI VIDA, MIS ESTUDIOS, MI TRABAJO Y MI PROFESIÓN, PORQUE HICISTE REALIDAD ESTE SUEÑO ANHELADO.

A MIS PADRES JUSTO ABEL SÁNCHEZ VILLAFUERTE. Y LAURA QUIJANO GARCÍA, LOS CUALES SON MI FORTALEZA Y REFLEXIÓN; A MIS HERMANOS JENNER, IVET, LAURA, LLEGUÉ HASTA AQUÍ Y LES AGRADEZCO POR MOSTRARME SU APOYO INCONDICIONAL EN TODA MI VIDA Y MÁS AÚN EN MIS DUROS AÑOS DE MI FORMACIÓN PROFESIONAL Y SIN LA AYUDA DE CADA UNO DE USTEDES HUBIERA SIDO IMPOSIBLE CULMINAR CON MI PROFESIÓN, A USTEDES QUE DESEARON TANTO COMO YO ESTE MOMENTO.

AQUELLAS PERSONAS QUE ME CONOCEN TAL COMO SOY, QUE COMPRENDEN MIS LOGROS Y MIS FRACASOS, CON QUIENES HE COMPARTIDO ALEGRÍAS Y MOMENTOS MUY INOLVIDABLES GRACIAS A USTEDES AMIGAS Y AMIGOS MÍOS.

JHON MARX.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS por darnos la vida, que con amor ha guiado nuestros pasos y la de nuestras familias, por todas las bendiciones que nos dio y lecciones que aprendemos cada día, por permitirnos obtener este logro tan ansiado, por el amor y el cuidado que ha tenido con nosotros.

A la Universidad Andina del Cusco por ser parte de nuestra segunda casa de estudios.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Civil por darnos la formación académica y profesional.

A la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Andina del Cusco por brindarnos acceso a los laboratorios de investigación, de microbiología y molecular.

A la Vicerrectora de Investigación Dra. Di-Yanira Bravo Gonzales infinitamente nuestro agradecimiento por sus palabras de aliento, motivación para no desistir en el presente trabajo.

A la Decana de la Facultad de Ciencias de la Salud, Dra. Herminia Naveda Cahuana por permitirnos realizar nuestro trabajo de investigación.

A la Directora de los laboratorios de la Facultad de Ciencias de la Salud. Blga. Miluska Frisancho Camero, por su apoyo para la realización del presente trabajo.

A los Docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil que transmitieron sus conocimientos en el periodo de nuestra formación académica.

Con mucho estima y cariño a nuestro querido asesor Mg. Ing. Víctor Chacón Sánchez por su orientación, enseñanza, apoyo y ayuda en la elaboración del trabajo de investigación.

A nuestro coasesor Blgo. Lugó Miranda Barriga por su apoyo constante en temas de Microbiología y las capacitaciones permanentes en el uso y manejo de instrumentos, equipos, reactivos de laboratorio y permanente apoyo en bioseguridad.

A la Mg. Ing. Yara Wehbe de la Universidad de Miami, por su apoyo en este proceso de la investigación científica.

A nuestro dictaminante de tesis Ing. Edson Julio Salas Fortón por las revisiones a nuestro trabajo de investigación.

A nuestra dictaminante de tesis Ing. Jannette Delgado Obando por las revisiones a nuestro trabajo de investigación.

Al laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales del Gobierno Regional Cusco.

RENATO HÉCTOR.

JHON MARX.

RESUMEN

El presente estudio se realizó en el Laboratorio de Investigación de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Andina del Cusco con el objetivo de determinar si el sistema de bioreparación mantiene la resistencia de estructuras de concreto fisurado utilizando bacterias.

Los datos de la investigación se obtuvieron mediante la elaboración de diseño de protocolos tanto en la parte biológica como en la de ingeniería.

El proceso metodológico para la obtención de datos en lo referente al concreto incluye los ensayos de resistencia a la abrasión, granulometría, contenido de humedad, peso unitario, peso específico, diseño de mezcla, revenimiento y resistencia a la compresión. Los cuales siguieron los protocolos para un diseño de mezcla con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

Se concluyó que la aplicación con la solución A y B (solución bioreparadora) en las muestras de concreto fisurado mantiene la resistencia a la compresión del concreto bioreparado, esto proporcionalmente según el volumen (mL) de solución aplicada, tipo de solución (solución A y B, tanto en la composición de solución "B" nitrato de calcio o lactato de calcio), la cantidad de veces aplicadas con la solución A y B en las muestras de concreto fisurado. Por tanto esta nueva aplicación de reparación de concreto es factible para sellar las fisuras que se presenta en infraestructuras de concreto.

Palabra clave: concreto, bioreparación, bacteria, fisura, carbonato de calcio, resistencia, compresión.

ABSTRACT

The present study was carried out in the research laboratory of the Department of Health Sciences of the Universidad Andina del Cusco in order to determine if the bioreparation system maintains the resistance of fissured concrete structures using bacteria.

The research data were obtained through the design of protocols in both the biological and engineering parts.

The methodological process for obtaining data regarding the concrete included tests of resistance to abrasion, grain size, moisture content, unit weight, specific weight, mixing design, slump and compressive strength. The protocols were followed for a blend design with $f'c = 210 \text{ kg / cm}^2$.

It was concluded that by the application of bioreparator solution A and B into the fissured samples the bioreparated concrete maintains its compressive strength, this proportionally according to the volume (mL) of applied solution, type of solution (solution A and B, in the composition of solution "B" calcium nitrate or calcium lactate), the amount of times applied with solution A and B into the samples of fissured concrete.

KEYWORDS: Concrete, bioreparation, bacteria, crack, calcium carbonate, strength, compression.

INTRODUCCIÓN

En el capítulo 1 se identificó el problema y se estableció los objetivos de la tesis; en el capítulo 2 se detallan los aspectos teóricos pertinentes relacionados con el tema de investigación; en el capítulo 3 se desarrolló la metodología de investigación, recolección de datos y análisis de datos; en el capítulo 4 se presentan en tablas y fotografías los resultados que se obtuvieron de la investigación y finalmente en el capítulo 5 están las conclusiones y recomendaciones del trabajo de investigación.

La aplicación de concreto está aumentando rápidamente en todo el mundo y por lo tanto el desarrollo de concreto sostenible es urgentemente necesario por razones ambientales. Como en la actualidad alrededor del 7 % del total de emisiones antropogénicas de CO₂ atmosférico se debe a la producción de cemento, los mecanismos que contribuirían a prolongar la vida útil de las estructuras de concreto harían que el material no sólo fuera más duradero sino también más sostenible. Uno de estos mecanismos que recibe atención creciente en los últimos años es la capacidad de autoreparación, es decir, la curación autónoma de fisuras en concreto (Jonkers, Thijssen, Muyzer, Copuroglu, & Schlangen, 2010).

La presencia de fisuras, y la subsiguiente entrada de sustancias corrosivas agresivas, es una limitación para la durabilidad. Esto conduce a la corrosión prematura del refuerzo y fallo temprano de la estructura. Como un resultado, se emprenden medidas costosas para el mantenimiento y la reparación. En la actualidad, una amplia gama de productos de relleno a base de epoxi a base de silano repelente de agua, está disponible para el concreto. Sin embargo, el impacto negativo en el medio ambiente es un problema para la industria de la reparación (Wiktor & Jonkers, 2015).

La presencia de fisuras puede reducir la durabilidad de las estructuras de concreto. Las micro fisuras son una característica casi inevitable del concreto. Si las micro - fisuras forman una red continua, pueden contribuir a la permeabilidad del concreto, reduciendo la resistencia del concreto contra la penetración de sustancias (Schlangen & Joseph, 2009).

Una manera prometedora es pre-agregar la curación del concreto para reparar fisuras de edad temprana cuando aparecen, es decir, la llamada auto-curación. Además de los materiales de curación poliméricos más comúnmente estudiados, la precipitación

bacteriana de carbonato de calcio (CaCO_3) también tiene el potencial de ser utilizado para la auto-curación. Es más compatible con la mezcla de concreto y es favorable al medio ambiente (Wang, Van Tittelboom, De Belie, & Verstraete, 2012).

ÍNDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
INTRODUCCIÓN	vii
ÍNDICE	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xix
CAPÍTULO I:	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.1.1. Descripción del problema.....	1
1.1.2. Formulación interrogativa del problema	2
1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.2.1. Justificación técnica	3
1.2.2. Justificación social	4
1.2.3. Justificación por viabilidad	4
1.2.4. Justificación por relevancia	4
1.3. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.3.1. Limitaciones	5
1.4. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN	6
1.4.1. Objetivo General	6
1.4.2. Objetivo Específico	6
1.5. HIPÓTESIS	7
1.5.1. Hipótesis General	7
1.5.2. Sub hipótesis.....	7
1.6. DEFINICIÓN DE VARIABLES	8
1.6.1. Variables independientes.....	8
1.6.2. Variables dependientes.....	8
1.6.3. Cuadro de Operacionalización de variables.	9

CAPÍTULO II.....	10
MARCO TEÓRICO.....	10
2.1. ANTECEDENTES DE LA TESIS O INVESTIGACIÓN ACTUAL	10
2.1.1. Antecedentes a Nivel Nacional	10
2.1.2. Antecedentes a Nivel Internacional.....	10
2.2. ASPECTOS TEÓRICOS PERTINENTES	14
2.2.1. Bioreparador.....	14
2.2.2. Parte biológica.....	14
2.2.2.1. Género Bacillus	14
2.2.3. Cemento portland	23
2.2.4. Agua:	28
2.2.5. Agregados.....	29
2.2.6. Concreto	39
2.2.6.1. Conceptualización del Concreto.....	39
2.2.6.2. Propiedades principales del concreto fresco	39
2.2.6.3. Propiedades principales del concreto endurecido	41
2.2.6.4. Diseño de Mezclas.....	42
2.2.6.5. Las fisuras en el Concreto	45
CAPÍTULO III	51
METODOLOGÍA	51
3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	51
3.1.1. Tipo de investigación	51
3.1.2. Nivel de investigación	51
3.1.3. Método de investigación	52
3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	52
3.2.1. Diseño metodológico.....	52
3.2.2. Diseño de Ingeniería.....	52
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA	59
3.3.1. Población	59
3.3.1.1. Descripción de la población	59
3.3.1.2. Cuantificación de la población	59
3.3.2. Muestra.....	60
3.3.2.1. Descripción de la muestra	60
3.3.2.2. Cuantificación de la muestra	60

3.3.2.3. Método de muestreo	60
3.3.2.4. Criterios de evaluación de muestra	60
3.3.3. Criterios de inclusión.....	61
3.4. INSTRUMENTOS EMPLEADOS EN LA INVESTIGACIÓN	62
3.4.1. Instrumentos metodológicos - formatos	62
3.4.2. Instrumentos de Ingeniería	69
3.5. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	70
3.5.1. Esterilización y preparación de medios de cultivo	70
3.5.2. Preparación de medios de cultivo.....	75
3.5.3. Resuspensión de cepa (inoculación y siembra).....	77
3.5.4. Curva de crecimiento bacteriano	83
3.5.5. Obtención de esporas bacterianas.....	86
3.5.6. Granulometría de agregados.....	89
3.5.7. Porcentaje de humedad.....	92
3.5.8. Peso específico de los agregados.....	94
3.5.9. Ensayo de peso unitario de los agregados	96
3.5.10. Propiedades físico químicas del agua.....	99
3.5.11. Ficha técnica del cemento portland tipo IP	100
3.5.12. Diseño de mezclas ACI	100
3.5.13. Prueba de revenimiento	102
3.5.14. Preparación de solución A y B (B _N =Nitrato de calcio y B _L =Lactato de calcio).....	103
3.5.15. Método de aplicación	107
3.5.16. Pruebas del concreto en estado endurecido	114
3.5.17. Vista a Microscopio - Estereoscopio.....	126
3.6. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE DATOS.....	129
3.6.1. Análisis del tiempo de crecimiento y esporulación de <i>Bacillus subtilis</i>	129
3.6.2. Análisis de la aplicación del bioreparador.	131
3.6.3. Análisis del desarrollo de la bioreparación en briquetas fisuradas.	137
3.6.4. Análisis de resistencia a la abrasión y/o desgaste de muestras de agregado grueso.....	141
3.6.5. Análisis de granulometría y módulo de finura para el agregado fino de la cantera de Pisac.....	143
3.6.6. Análisis de granulometría para el agregado grueso	145

3.6.7. Análisis del contenido de humedad para los agregados.....	147
3.6.7.1 Análisis del contenido de humedad para el agregado fino y grueso	147
3.6.8. Análisis del peso específico y absorción para el agregado fino.....	148
3.6.9. Análisis del peso específico y porcentaje de absorción para el agregado grueso.....	150
3.6.10. Análisis del peso unitario para los agregados.	152
3.6.10.1. Análisis del peso unitario del agregado fino.	152
3.6.10.2. Análisis del peso unitario del agregado grueso.	153
3.6.11. Análisis del diseño de mezclas para el concreto $F'c: 210\text{Kg/cm}^2$	154
3.6.11.1. Características físicas y mecánicas de los componentes del concreto. .	155
3.6.11.2. Cálculo de resistencia de diseño.....	155
3.6.11.4. Dosificación de concreto $F'c: 210\text{ Kg/cm}^2$	161
3.6.11.5. Análisis del revenimiento – Slump del concreto.....	162
3.6.12. Análisis, resistencia a la compresión axial del concreto.	163
CAPÍTULO IV	175
RESULTADOS	175
4.1. RESULTADO DEL TIEMPO DE CRECIMIENTO Y ESPORULACIÓN DE <i>Bacillus subtilis</i>	175
4.2. RESULTADO DE LA APLICACIÓN DEL BIOREPARADOR.	176
4.3. RESULTADO DEL DESARROLLO DEL BIOREPARADOR EN BRIQUETAS FISURADAS.....	177
4.4. RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO.....	180
4.4.1 Resistencia concreto $f'c: 210\text{ kg/cm}^2$ - Patrón.....	180
4.4.2 Resultados de la resistencia a la compresión.....	184
CAPÍTULO V	186
DISCUSIÓN.....	186
GLOSARIO	194
CONCLUSIONES	196
RECOMENDACIONES	199
REFERENCIAS	200
ANEXOS	206

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Cuadro de operacionalización de variables.	9
Tabla 2: Límites máximo permisibles.	29
Tabla 3: Clasificación según su tamaño.	31
Tabla 4: Tamices Estándar ASTM.....	36
Tabla 5: Tamices correspondientes a la agregado fino.....	36
Tabla 6: Requisitos granulométricos del agregado fino.	37
Tabla 7: Tamices correspondientes a la gradación gruesa.....	37
Tabla 8: Resistencia de Diseño.....	43
Tabla 9: Factor de Corrección para F'_{cr}	44
Tabla 10: Clasificación de los fallos en una edificación.....	45
Tabla 11: Propiedades físicas de los agregados.....	56
Tabla 12: Población de probetas diseñadas.	59
Tabla 13: Numero de pruebas experimentales.....	60
Tabla 14: Formato Excel para el cálculo de las curvas granulométricas para agregado fino.....	63
Tabla 15: Formato Excel para el cálculo de la granulometría para agregado grueso. ...	64
Tabla 16: Formato Excel para el cálculo del Peso Específico del agregado fino y agregado grueso.	65
Tabla 17: Formato Excel para el cálculo del Peso Unitario para el agregado Fino y para el agregado grueso.....	66
Tabla 18: Formato Excel para el cálculo del Porcentaje de Humedad del agregado fino y del agregado grueso.	67
Tabla 19: Formato Excel para el cálculo de Resistencia a compresión Patrón los 07, 14, 21 y 28 días.	68
Tabla 20: Pesos retenidos del agregado grueso.	92
Tabla 21: Pesos retenidos del agregado fino.	92
Tabla 22: Cuadro de toma de datos Contenido de humedad	94
Tabla 23: Toma de datos, peso específico del agregado fino	95
Tabla 24: Toma de datos, peso específico del agregado grueso	95
Tabla 25: Toma de datos.....	99
Tabla 26: Toma de datos de cono de Abrams.....	103

Tabla 27: Toma de datos para la resistencia a la compresión a los 7 días concreto f'c: 210 Kg/cm	117
Tabla 28: Toma de datos para la resistencia a la compresión a los 14 días concreto f'c: 210 Kg/cm	118
Tabla 29: Toma de datos para la resistencia a la compresión a los 21 días concreto f'c: 210 Kg/cm	118
Tabla 30: Toma de datos para la resistencia a la compresión a los 28 días concreto f'c: 210 Kg/cm	118
Tabla 31: Toma de datos para la Resistencia a la compresión a los 7 días concreto fisurado patrón	119
Tabla 32: Toma de datos para la resistencia a la compresión a los 7 días. Probetas de Concreto fisuradas + solución A + solución B _N , Y curadas con solución A + Solución B _N	119
Tabla 33: Toma de datos para la resistencia a la compresión a los 7 días. Probetas de Concreto fisuradas + solución A + solución B _N , Curadas con Agua	119
Tabla 34: Toma de datos para la resistencia a la compresión a los 7 días. Probetas de Concreto fisuradas + solución A + solución B _L , Curadas con solución A + Solución B _L	120
Tabla 35: Toma de datos para la resistencia a la compresión a los 7 días. Probetas de Concreto fisuradas + solución A + solución B _L , Curadas con Agua.	120
Tabla 36: Toma de datos para la Resistencia a la compresión a los 14 días concreto fisurado patrón	120
Tabla 37: Toma de datos para la resistencia a la compresión a los 14 días. Probetas de Concreto fisuradas + solución A + solución B _N , Curadas con solución A + Solución B _N	121
Tabla 38: Toma de datos para la resistencia a la compresión a los 14 días. Probetas de Concreto fisuradas + solución A + solución B _N , Curadas con Agua	121
Tabla 39: Toma de datos para la resistencia a la compresión a los 14 días. Probetas de Concreto fisuradas + solución A + solución B _L , Curadas con solución A + Solución B _L	121
Tabla 40: Toma de datos para la resistencia a la compresión a los 14 días. Probetas de Concreto fisuradas + solución A + solución B _L , Curadas con Agua.	122
Tabla 41: Toma de datos para la Resistencia a la compresión a los 21 días concreto fisurado patrón	122

Tabla 42: Toma de datos para la resistencia a la compresión a los 21 días. Probetas de Concreto fisuradas + solución A + solución B _N , Curadas Con solución A + Solución B _N	122
Tabla 43: Toma de datos para la resistencia a la compresión a los 21 días. Probetas de Concreto fisuradas + solución A + solución B _N , Curadas con Agua	123
Tabla 44: Toma de datos para la resistencia a la compresión a los 21 días. Probetas de Concreto fisuradas + solución A + solución B _L , Curadas con solución A + Solución B _L	123
Tabla 45: Toma de datos para la resistencia a la compresión a los 21 días. Probetas de Concreto fisuradas + solución A + solución B _L , Curadas con Agua.	123
Tabla 46: Toma de datos para la Resistencia a la compresión a los 28 días concreto fisurado patrón	124
Tabla 47: Toma de datos para la resistencia a la compresión a los 28 días. Probetas de Concreto fisuradas + solución A + solución B _N , Curadas solución A + Solución B _N	124
Tabla 48: Toma de datos para la resistencia a la compresión a los 28 días. Probetas de Concreto fisuradas + solución A + solución B _N , Curadas con Agua	124
Tabla 49: Toma de datos para la resistencia a la compresión a los 28 días. Probetas de Concreto fisuradas + solución A + solución B _L , Curadas con solución A + Solución B _L	125
Tabla 50: Toma de datos para la resistencia a la compresión a los 28 días. Probetas de Concreto fisuradas + solución A + solución B _L , Curadas con Agua.	125
Tabla 51: Soluciones A y B _N , inyectadas a las briquetas fisuradas (Solución “B” con nitrato de calcio).....	111
Tabla 52: Solución A y B _N (Solución “B” con nitrato de calcio) inyectadas a los 0 días a las briquetas fisuradas y a los 7, 14 y 21 días aplicada con agua destilada.	112
Tabla 53: Solución A y B _L (Solución “B” con lactato de calcio) inyectadas a los 0, 7, 14, 21 días a las briquetas fisuradas.	113
Tabla 54: Solución A y B _L (Solución “B” con lactato de calcio) inyectados a los 0 días a las briquetas fisuradas, y a los 7, 14, 21 días inyectadas solamente con agua destilada.	114
Tabla 55: Datos del tiempo y la concentración de curva de crecimiento bacteriana..	129
Tabla 56: Cantidad (mL) de obtención de esporas bacteriana.....	129

Tabla 57: Cantidad en mililitros, inyectadas a las briquetas a los 0 días, con nitrato de calcio en solución B _N .	131
Tabla 58: Cantidad de solución A y B (con nitrato de calcio) inyectadas a las briquetas a los 0 días.	132
Tabla 59: Cantidad de solución A y B _L (con lactato de calcio) inyectadas a las briquetas a los 0 días.	132
Tabla 60: Cantidad de solución A y B _L (con lactato de calcio) inyectadas a las briquetas a los 0 días.	132
Tabla 61: Cantidad total de solución A y B _N ., aplicadas a los 0 y 7 días.	133
Tabla 62: Cantidad (mL) de agua destilada, utilizadas en las briquetas fisuradas a los 0 y 7 días.	133
Tabla 63: Cantidad de solución A y B _L (lactato de calcio), aplicadas a las briquetas fisuradas a los 0 y 7 días.	133
Tabla 64: Cantidad de solución, aplicadas a las briquetas fisuradas a los 0 y 7 días, con agua destilada.	134
Tabla 65: Cantidad total de solución A y B _N aplicadas a los 0, 7 y 14 días, a las briquetas fisuradas, con solución B _N (nitrato de calcio).	134
Tabla 66: Cantidad total de agua destilada, utilizadas en las briquetas fisuradas a los 0,7 y 14 días.	134
Tabla 67: Cantidad total de solución A y B _L ., aplicada a las briquetas fisuras a los 0, 7 y 14 días, con solución B _L (lactato de calcio).	135
Tabla 68: Cantidad total de agua destilada, aplicadas a las briquetas fisuras a los 0, 7 y 14 días.	135
Tabla 69: Cantidad total de solución A y B _N ., aplicadas a los 0, 7, 14 y 21 días, a las briquetas fisuradas, con solución B _N (nitrato de calcio).	135
Tabla 70: Cantidad total de agua destilada, aplicadas en las briquetas fisuradas, a los 0, 7,14 y 21 días.	136
Tabla 71: Cantidad total de solución A y B _L ., aplicadas a las briquetas fisuras a los 0, 7, 14 y 21 días, con solución B _L (lactato de calcio).	136
Tabla 72: Cantidad total de agua destilada aplicadas en las briquetas fisuradas, a los 0, 7,14 y 21 días	136
Tabla 73: Control de la resistencia de esfuerzo a compresión, utilizando la solución A+ B, y agua destilada a los 7 días.	138

Tabla 74: Control de la resistencia de esfuerzo a compresión, utilizando la solución A+ B, y agua destilada a los 14 días.	138
Tabla 75: Control de la resistencia de esfuerzo a compresión utilizando la solución A+B, y agua destilada a los 21 días.	139
Tabla 76: Control de la resistencia de esfuerzo a compresión, utilizando la solución A+B, y agua destilada a los 28 días.	139
Tabla 77: Selección de gradación de las muestras de ensayo a realizar en la máquina de abrasión los Ángeles.....	141
Tabla 78: Verificación de resistencia mecánica de los agregados.	141
Tabla 79: Desgaste a la abrasión de muestras de agregado.	142
Tabla 80: Límites granulométricos del agregado fino.	143
Tabla 81: Análisis granulométrico de agregado fino.....	144
Tabla 82: Límites granulométricos agregado grueso.	145
Tabla 83: Granulometría del agregado grueso de la cantera de vicho.....	146
Tabla 84: Contenido de humedad del agregado fino y grueso	147
Tabla 85: Peso específico y absorción del agregado fino.....	149
Tabla 86: Peso específico y absorción del agregado grueso.....	151
Tabla 87: Peso unitario seco suelto y peso unitario seco compactado de agregado fino.	152
Tabla 88: Peso unitario seco suelto y peso unitario seco compactado del agregado grueso.	153
Tabla 89: Características del cemento agregado grueso y agregado fino.....	155
Tabla 90: Selección del tipo de asentamiento (F ³ cr).	156
Tabla 91: Selección del volumen de agua por m ³ , agua en litros/m ³ para (TMN) de agregados y consistencia indicada	157
Tabla 92: Selección, contenido de aire atrapado.	157
Tabla 93: Selección, relación agua/cemento por resistencia, para F ³ cr.	157
Tabla 94: Selección, peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto.	158
Tabla 95: Valores de diseño para 01 metro cúbico en estado seco.....	159
Tabla 96: Dosificación final por 01 m ³ de concreto.	161
Tabla 97: Dosificación de concreto F ³ c: 210 Kg/cm ²	161
Tabla 98: Revenimiento del concreto	162
Tabla 99: Cálculo de resistencia a la compresión del concreto patrón.....	164
Tabla 100: Cálculo de resistencia a la compresión del concreto fisurado patrón.....	165

Tabla 101: cálculo de resistencia a la compresión del concreto fisurado + solución A + Solución B _N , Curadas con solución A + Solución B _N	166
Tabla 102: cálculo de resistencia a la compresión del concreto fisurado + solución A + Solución B _N , Curadas con Agua	167
Tabla 103: cálculo de resistencia a la compresión del concreto fisurado + solución A + Solución B _L , Curadas con solución A + Solución B _L	168
Tabla 104: Cálculo de resistencia a la compresión del concreto fisurado + solución A + Solución B _L , Curadas con Agua.	169
Tabla 105: Tiempo de obtención de la mayor concentración de bacterias	175
Tabla 106: Equivalencia de solución de un medio de cultivo con bacterias para la obtención de esporas bacterianas en mililitros (mL).	176
Tabla 107: Resistencia a la compresión del concreto patrón.....	180
Tabla 108: Resistencia a la compresión del concreto fisurado patrón.....	181
Tabla 109: Resistencia a la compresión del concreto fisurado + Bioreparador N (Solución Nitrato de Calcio), Curadas Con Bioreparador N	181
Tabla 110: Resistencia a la compresión del concreto fisurado + Bioreparador N (Solución Nitrato de Calcio), Curadas con Agua.....	182
Tabla 111: Resistencia a la compresión del concreto fisurado + Bioreparador L (Solución Lactato de Calcio), Curadas con Bioreparador L.	182
Tabla 112: Resistencia a la compresión del concreto fisurado + Bioreparador L (Solución Lactato de Calcio), Curadas con Agua.	183
Tabla 113: Resultados de la resistencia de los diferentes ensayos	184

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Formas de las bacterias.	14
Figura 2: La esporulación y los ciclos vegetativos de <i>Bacillus subtilis</i>	15
Figura 3: Bacteria del género <i>Bacillus</i>	16
Figura 4: Aislamiento de <i>Bacillus subtilis</i> (adaptado de Merino, 2010).	17
Figura 5: Pasos para la siembra de bacterias por la técnica de agotamiento.	18
Figura 6: Técnica de siembra en cuadrantes, donde se observan las cuatro estrías realizadas una a continuación de la otra y sin cargar el asa nuevamente.	19
Figura 7: (a) aerobios, (b) anaerobios, (c) aerobios facultativos, (d) microaerofilos, (e) anaerobios aerotolerantes.	20
Figura 8: Técnicas de siembras aplicadas a medios de cultivo contenidos en tubos, donde: (A) Siembra por estría simple, (B) siembra mixta (picadura y estría), (C y D) siembra por picadura en agar inclinado y recto y, (E) siembra con asa bacteriológica en medio líquido.	20
Figura 9: Curva típica de crecimiento de una población bacteriana (Adaptado de Gonzáles, 2007).	21
Figura 10: Enfoque autoregenerable con carbonato de calcio.	22
Figura 11: Componentes principales de la fabricación del cemento.	25
Figura 12: Estados de saturación del agregado.	32
Figura 13: Costura de una fisura.	46
Figura 14: Orientación de la Reparación con barras.	47
Figura 15: Para corregir fisuración en loza y en viga.	47
Figura 16: Reparación de una fisura mediante perforación y obturación.	48
Figura 17: Proceso de calibración de la balanza analítica.	71
Figura 18: Medios y caldos de cultivo para su pesaje.	71
Figura 19: Proceso del pesado del medio BHI.	72
Figura 20: Preparación y medida de agua destilada.	72
Figura 21: Proceso de preparación y dilución de los medios de cultivo.	73
Figura 22: Ebullición del medio de cultivo.	73
Figura 23: Esterilización mediante autoclave.	74
Figura 24: Disminución a temperatura ambiente de los medios de cultivo.	74
Figura 25: Esterilización en cámara de flujo laminar.	75
Figura 26: Transferencia de los medios de cultivo a placas Petri y tubos de ensayo.	76

Figura 27: Esterilización mediante un mechero bunsen en cada momento de trabajo con los medios de cultivo.....	76
Figura 28: Medios de cultivo en placas Petri dentro de envases cerrados.	77
Figura 29: Cepa bacteriana, utilizada en la investigación de la tesis.	78
Figura 30: Cepa bacteriana y medios solidificados y líquidos para la resuspensión.....	79
Figura 31: Trabajo en condiciones asépticas.....	79
Figura 32: Esterilización del asa de siembra.	80
Figura 33: Resuspensión del inóculo en medio sólido.	80
Figura 34: Siembra de la cepa bacteriana en placas Petri.	81
Figura 35: Transferencia de la cepa a tubos de ensayo con medios de cultivo.	81
Figura 36: Proceso de inoculación en el tubo de ensayo.	82
Figura 37: Esterilización de la aguja de siembra.....	82
Figura 38: Proceso de inoculación de cepas.....	83
Figura 39: Siembra en los medios de cultivo BHI.....	84
Figura 40: Proceso de lectura de la concentración de bacterias mediante un espectrofotómetro.....	85
Figura 41: Proceso del estrés bacteriano.	87
Figura 42: Cambio de temperatura para formar esporas.	87
Figura 43: Centrifugación de medio (esporas + medio de cultivo).	88
Figura 44: Proceso de disolución (esporas + agua destilada).....	88
Figura 45: Enjuague con agua destilada los tubos y su posterior centrifugación).	89
Figura 49: Recolección de material para la investigación.	90
Figura 50: Cuarteo de los agregados	90
Figura 51: Tamizado de agregado fino y grueso.	91
Figura 52: Tamizado.....	91
Figura 53: Porcentaje de humedad.	93
Figura 54: Contenido de Humedad.....	93
Figura 55: Peso unitario suelto.	97
Figura 56: Peso unitario Compacto.	98
Figura 57: Ensayo del peso unitario.	98
Figura 58: Orden para el inicio de fabricación de los testigos de concreto.....	101
Figura 59: Dosificación y preparado de la mezcla de concreto.....	101
Figura 60: Verificación de la prueba	102
Figura 63: reactivos para preparación de solución A y B.	104

Figura 64: Peso de reactivos de solución A y B.	105
Figura 65: Re suspensión de esporas bacterianas en probeta de 1000 mL.	105
Figura 66: Vertido de líquido de esporas bacterianas a los envases con reactivos.	106
Figura 67: Probeta con contenido de esporas bacterianas para solución B.	106
Figura 68: Solución final de bioreparador.	107
Figura 69: Realización de pruebas piloto.	108
Figura 70: Aplicación mediante el curado con 200 mL de solución A y B _N + 200mL de agua destilada.	108
Figura 71: Codificación de briquetas.	109
Figura 72: Proceso de inyección en la fisura del concreto.	109
Figura 73: Aplicación de bioreparador en las briquetas.	110
Figura 61: Desmolde de los testigos de concreto.	115
Figura 62: Etiquetado de los testigos de concreto.	115
Figura 63: Transporte de los testigos de concreto	116
Figura 64: Refrentado de testigos de concreto.	116
Figura 65: Ensayo de compresión.	117
Figura 74: Observación mediante un estereoscopio, la formación de cristales de carbonato de calcio.	126
Figura 75: Eflorescencia del concreto (vista macroscópica).	127
Figura 76: Equipo para observar la formación de carbonato de calcio.	127
Figura 77: Observación a 2x. de la formación de carbonato de calcio mediante un estereoscopio.	128
Figura 78: Curva de crecimiento de colonias.	130
Figura 79: Desgaste a la abrasión de muestras del agregado.	142
Figura 80: Curva granulométrica del agregado fino	144
Figura 81: Curva de granulometría del agregado grueso de la cantera de vicho.	146
Figura 82: Contenido de humedad del agregado fino	148
Figura 83: Peso específico de masa y peso específico saturado.	150
Figura 84: Peso específico de masa y peso específico saturado.	151
Figura 85: Peso unitario seco suelto y peso unitario seco compactado de agregado fino.	153
Figura 86: Peso unitario seco suelto y peso unitario seco compactado de agregado grueso.	154
Figura 87: Diagrama de dosificación del, concreto F'c: 210 Kg/cm ²	161

Figura 88: Diagrama de lecturas de revenimiento del concreto.	162
Figura 89: Interpretación de resultados a la compresión, 7 días.	170
Figura 90: Interpretación de resultados a la compresión, 14 días.	171
Figura 91: Interpretación de resultados a la compresión, 21 días.	172
Figura 92: Interpretación de resultados a la compresión, 28 días.	173
Figura 93: Briqueta fisura aplicada con solución bioreparador.	176
Figura 94: Fisuras bioreparadas.	177
Figura 95: Vista a estereoscopio 2x.	178
Figura 96: Observación de la precipitación de carbonato de calcio mediante la observación en estereoscopio.	178
Figura 97: Formación del carbonato de calcio.	179
Figura 98: Cristales de carbonato de calcio.	179
Figura 99: Representación gráfica de la resistencia a la compresión del concreto patrón.	180
Figura 100: Representación gráfica de la resistencia la compresión del concreto fisurado patrón.	181
Figura 101: Representación gráfica de la resistencia la compresión del concreto fisurado + Bioreparador N (Solución Nitrato de Calcio), Curadas Con Bioreparador N.	182
Figura 102: Representación gráfica de la resistencia la compresión del concreto fisurado + Bioreparador N (Solución Nitrato de Calcio), Curadas con Agua. .	182
Figura 103: Representación gráfica de la resistencia la compresión del concreto fisurado + Bioreparador L (Solución Lactato de Calcio), Curadas con Bioreparador L.	183
Figura 104: Representación gráfica de la resistencia la compresión del concreto fisurado + Bioreparador L (Solución Lactato de Calcio), Curadas con Agua. .	183
Figura 105: Análisis grafico de las resistencia promedio de las diferentes pruebas de resistencia.	184
Figura 106: Representación gráfica de la resistencia promedio de la compresión de las diferentes pruebas de resistencia.	185
Figura 107: Vista a estereosmicroscopio antes (a,b) y después (c,d).	187
Figura 108: Comparación del proceso de reparación.	187
Figura 109: Reparación de fisuras.	188
Figura 110: Reparación de fisuras menores a 0.5 mm de ancho.	188

Figura 111: Formación de cristales	188
Figura 112: Formación de mineral calcio, basado en una serie de 21 días, (b) a una vista de 500x se muestra presencia de bacterias.	189
Figura 113: Vista a estereoscopio del precipitado de carbonato de calcio como precursor de la calcita, con un aumento focal de 2x.	189
Figura 114: sellado de fisuras menores a 0.3 mm	190
Figura 115: Formación de cristales en las fisuras.....	190
Figura 116: Esfuerzo a compresión.....	191
Figura 117: Resistencia del Concreto Patrón V/S Concreto fisurado patrón.	191
Figura 118: Resistencia del concreto fisurado patrón V/S Concreto fisurado + bioreparador N, curadas con bioreparador N.	192
Figura 119: Resistencia del concreto fisurado patrón V/S Concreto fisurado + bioreparador N, curadas con agua.....	192
Figura 120: Resistencia del concreto fisurado patrón V/S Concreto fisurado + bioreparador L curadas con bioreparador L.	193
Figura 121: Resistencia del concreto fisurado patrón V/S Concreto fisurado + bioreparador L, curadas con agua.	193

CAPÍTULO I:

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. Descripción del problema

En el Perú hay una gran variedad de vestigios Incaicos, construcciones y monolitos de roca las cuales han sido afectadas por causa del tiempo, el intemperismo, movimientos sísmicos; merecen ser atendidos para conservarlos para generaciones presentes y futuras. Así mismo hoy en día en nuestro país hay una gran tendencia de uso del concreto en las construcciones de infraestructura como edificaciones, puentes, represas y otras diferentes obras de arte. Todo concreto al igual que otros materiales es afectado por cambios de humedad, temperatura, pH; por esa razón se contraen, expanden y se deforman, dependiendo de la carga y de condiciones de apoyo en las que son sometidas.

Las fisuras en las estructuras de concreto siempre han sido una señal de alarma que podrían indicar que hay problemas estructurales o de estética. Al ingresar sustancias nocivas como el agua pueden iniciar un proceso de corrosión en el acero de refuerzo. Las fisuras con filtraciones de agua en estructuras subterráneas como los sótanos de los edificios pueden reducir enormemente la vida útil de la estructura debido a la corrosión del acero y daño en el concreto, además de reducir la funcionalidad, durabilidad y el uso.

1.1.2. Formulación interrogativa del problema

1.1.2.1. Formulación interrogativa del problema general

- ¿El sistema de bioreparación de estructuras de concreto fisurado utilizando la bacteria *Bacillus subtilis*, mantiene la resistencia del concreto?

1.1.2.2. Formulación interrogativa de los problemas específicos

Problema específico N° 1

- ¿Cuál es el tiempo de crecimiento de la bacteria *Bacillus subtilis*?

Problema específico N° 2

- ¿Cuál es el tipo de aplicación del bioreparador en la fisura del concreto para alcanzar la mayor resistencia?

Problema específico N° 3

- ¿Cómo es el desarrollo del bioreparador en una briqueta fisurada de 1 mm de ancho?

Problema específico N° 4

- ¿Cuál es la resistencia que alcanzará el concreto reparado utilizando el bioreparador a los 7, 14, 21 y 28 días?

1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

Justificación del problema de investigación

En toda obra civil se busca obtener concretos de buena calidad optimizando los costos, para que de esa forma el proyecto sea rentable económicamente y socialmente.

En la actualidad, todo concreto tiende a fisurarse por cambios de temperatura, movimientos sísmicos o desestabilización del suelo, estas fisuras aparecen en las estructuras, son antiestéticas y podrían afectar la integridad estructural, funcional o la vida útil del concreto. Sin embargo, las fisuras pueden ser reducidas y controladas por medio de nuevas tecnologías como la “bioreparación”; el material de construcción más popular del mundo, el concreto, será más duradero, si aplicamos una nueva especie de bacteria que podrá ser empleada como un sistema de bioreparación de fisuras.

Sin embargo estas fisuras del concreto pueden ser controladas, mediante la aplicación de bacterias que reparen el concreto fisurado mediante el proceso de la bioreparación que consiste en la precipitación de carbonato de calcio (CaCO_3) que sella la fisura y evitar de esta manera el ingreso de agua y sustancias nocivas y corrosivas que pueden dañar al acero de refuerzo y a la misma estructura en su funcionalidad, durabilidad y por supuesto en lo económico.

1.2.1. Justificación técnica

Contribuir con el conocimiento y empleo del bioreparador para el uso en estructuras de concreto fisurado a causa de fenómenos naturales, ya que la utilización de este material en nuestra ciudad del Cusco no ha sido aplicada hasta el momento.

Con el presente estudio se pretende dar una propuesta de auto-reparación que mejorará las propiedades mecánicas de un concreto reparado con agente biológico.

1.2.2. Justificación social

La presente investigación aportará en la contribución a nuestra sociedad, porque necesitamos conocer de un concreto auto-reparable, el cual es una alternativa de solución a los diferentes problemas que se puede tener durante la construcción y por supuesto para el mantenimiento del mismo.

En la actualidad surge la necesidad en la población de una construcción sostenible y por supuesto amigable con el medio ambiente, las cuales deben estar de acuerdo a las necesidades económicas, sociales y ambientales.

Por ello este tipo de auto-reparación con una bacteria del género *Bacillus* será un material sostenible, debido a la utilización de agentes biológicos. Así mismo, este tipo de bioreparación es amigable con el medio ambiente, no produce contaminación de residuos peligrosos que puedan perdurar por tiempo prolongado en la naturaleza, contaminando el medio ambiente.

1.2.3. Justificación por viabilidad

La presente investigación tuvo acceso a los laboratorios de la Facultad de Ciencias de la Salud y Laboratorio de Concreto y Asfalto de la Universidad Andina del Cusco. Así mismo se recopilaron y procesaron los datos en Laboratorio de Investigación de la Facultad de Ciencias de la Salud, realizando la preparación de solución A y B, elaboración de briquetas de concreto, y se aplicó el líquido bioreparador a la muestras de concreto fisurado, también cabe destacar que los equipos, herramientas, materiales e insumos estuvieron al alcance para la investigación.

1.2.4. Justificación por relevancia

La importancia del estudio es conocer la reparación del concreto utilizando agentes biológicos, capaces de sellar las fisuras menores a 0.3 mm de ancho de manera eficiente y a la vez conocer sus características en el ámbito de la construcción como son: la resistencia a compresión, permeabilidad y la estética del mismo.

1.3. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Limitaciones

- Se limita a la zona de estudio ubicado en la ciudad del Cusco.
- Se limita a las condiciones climáticas de la ciudad del Cusco.
- Se limita al estudio con la especie *Bacillus subtilis*.
- Se limita al uso del Cemento Portland Puzolánico tipo IP (Yura).
- Se limita al uso de agregados de las canteras de Pisac, Vicho.
- Se limita al estudio con un tamaño máximo nominal (TMN), para el agregado grueso de 3/4".
- Se limita a la aplicación de solución A y B, como solución bioreparadora de concreto fisurado.
- Se limita el uso del revenimiento de 3 - 4", para el diseño de mezclas del concreto patrón.
- Se limita al estudio de muestras de concreto fisurado (briqueta) con dimensiones $D = 10 \text{ cm}$; $H = 20 \text{ cm}$.
- Se limita al curado de briquetas de concreto, por inmersión total en agua, sin considerar los factores de temperatura, humedad, microorganismos del ambiente.
- Se limita al estudio de la evaluación del esfuerzo a compresión utilizando máquina de compresión (ACCU-TEK)
- Se limita al uso del agua de la red pública - potable (Seda Cusco).
- Se limita al uso de equipos como autoclave, incubadora, espectrofotómetro.
- Se limita a medidas de fisuras menores a 0.3 milímetro de ancho.
- Se limita a las condiciones de temperatura y humedad de laboratorio de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Andina del Cusco.

1.4. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General

- Determinar si el sistema de bioreparación mantiene la resistencia de estructuras de concreto fisurado utilizando la bacteria *Bacillus subtilis*.

1.4.2. Objetivo Específico

Objetivo específico N° 1

- Determinar el tiempo de la curva de crecimiento de la bacteria *Bacillus subtilis*.

Objetivo específico N° 2

- Determinar el mejor tipo de aplicación del bioreparador en la fisura del concreto para alcanzar la mayor resistencia.

Objetivo específico N° 3

- Evaluar el desarrollo del bioreparador en una briqueta fisurada de 1 mm de ancho.

Objetivo específico N° 4

- Determinar la resistencia que alcanzará el concreto reparado utilizando el bioreparador a los 7, 14, 21 y 28 días.

1.5. HIPÓTESIS

1.5.1. Hipótesis General

- El sistema de bioreparación en concreto fisurado utilizando la bacteria *Bacillus subtilis* mantiene la resistencia del concreto.

1.5.2. Sub hipótesis

Sub hipótesis N° 1

- El tiempo de la curva de crecimiento de la bacteria *Bacillus subtilis* es de 23 horas para utilizarlo como bioreparador.

Sub hipótesis N° 2

- El tipo de aplicación del bioreparador en el concreto fisurado es por inyección porque alcanza la mayor resistencia.

Sub hipótesis N° 3

- El desarrollo del bioreparador en una briqueta fisurada de 1 mm de ancho repara estéticamente.

Sub hipótesis N° 4

- La resistencia que alcanza el concreto reparado utilizando el bioreparador a los 7, 14, 21 y 28 días es similar a la de un concreto patrón sin fisuras con las mismas características.

1.6. DEFINICIÓN DE VARIABLES

1.6.1. Variables independientes

- Bioreparador.

1.6.1.1. Indicadores de variables independientes

a) Bioreparador

- Tiempo generacional (Reproducción y Crecimiento)
- Esporulación.
- Cristalización
- Metabolismo.

1.6.2. Variables dependientes

- Resistencia del concreto.

1.6.2.1. Indicador de variables dependientes

- ##### **a) Para la resistencia a la compresión del concreto (Kg/cm^2).**
- Fuerza (Kg/cm^2).

1.6.3. Cuadro de Operacionalización de variables.

Tabla 1: Cuadro de operacionalización de variables.

TIPO	VARIABLE	DIMENSIÓN	NIVEL	INDICADOR	INSTRUMENTO
Independiente X ₁	Bioreparador.	<i>Bacillus subtilis</i>	Propiedades biológicas.	-Tiempo de crecimiento - Tipo de Aplicación - Desarrollo del Bioreparador.	- Medio del cultivo. - Autoclave. - Estufa Eléctrica. - Horno de Esterilización. - Espectrofotómetro. - Refrigeradora. - Placas Petri. - Microscopio
		Solución A	Propiedades Químicas y Proceso metabólico.	- Cristalización y Metabolismo	- Guías de observación de laboratorio. - Observación macroscópica
		Solución B			- Formatos de evaluación de reproducción, crecimientos y esporulación. - Formatos de evaluación de las propiedades físicas del Bio-reparador.
Dependiente Y ₁	Resistencia	Compresión.	Resistencia a los 7 días. Resistencia a los 14 días. Resistencia a los 21 días Resistencia a los 28 días.	- Fuerza (Kg/cm ²).	- Guías de observación de laboratorio. - Formatos de evaluación de resistencia a la compresión.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA TESIS O INVESTIGACIÓN ACTUAL

2.1.1. Antecedentes a Nivel Nacional

No se encontró estudios relacionados con el tema de investigación.

2.1.2. Antecedentes a Nivel Internacional

Wehbe (2016) En el trabajo de investigación: **“BIO-INSPIRED SELF-HEALING INFRASTRUCTURE MATERIALS”** (MATERIALES DE INFRAESTRUCTURA AUTOREGENERABLES BIO-INSPIRADOS), presenta una visión general de una metodología bio-inspirada de auto-curación. Esta metodología se basa en el carbonato de calcio (CaCO_3) inducido por microorganismos para rellenar fisuras por precipitación y la unión en los materiales cementosos. El efecto de la adición de microorganismos y materiales relacionados sobre la hidratación, resistencia a la compresión, transporte, y la microestructura de materiales cementosos. La influencia de los parámetros que afecta la morfología y la estructura química del CaCO_3 , microscopía y técnicas analíticas, para establecer las relaciones proceso-microestructura de CaCO_3 .

Wiktor (2015) En el trabajo de investigación: **“FIELD PERFORMANCE OF BACTERIA - BASED REPAIR SYSTEM: PILOT STUDY IN A PARKING GARAGE”** (APLICACION DE BACTERIAS - BASADO EN SISTEMA DE REPARACIÓN: ESTUDIO EXPERIMENTAL EN UNA PLAYA DE ESTACIONAMIENTO), se presenta el desempeño de campo en una playa de estacionamiento. El sistema de reparación basado en bacterias para concreto. Este sistema de reparación basado en líquidos tiene como finalidad el sellado de fisuras y disminución de la porosidad debida a la producción de una base de calcio biomineral. El sistema combina las ventajas de un sistema tradicional de reparación del concreto (reacción rápida y eficacia a corto plazo) y métodos basados en la bio-sostenibilidad, proceso lento y eficiencia a largo plazo). El sistema de reparación basado en bacterias ha sido rociando sobre la superficie de fisuras y pavimento de concreto. La eficiencia de sellado de grieta y mejora de la escala, se evaluaron por permeabilidad al agua y por ensayos de resistencia a la

congelación/descongelación respectivamente. Los resultados fueron muy prometedores, ya que sólo las fisuras que no habían sido tratadas con la bacteria todavía estaban goteando fuertemente. Además, la resistencia a la congelación / descongelación de concreto que fue tratado con el sistema de brioreparación basado en bacterias fue mayor que el concreto sin brioreparación.

Qian, Chen, Ren, & Luo (2015) En su trabajo: “**SELF-HEALING OF EARLY AGE CRACKS IN CEMENT - BASED MATERIALS BY MINERALIZATION OF CARBONIC ANHYDRASE MICROORGANISM**” (AUTOCURACIÓN EN EDAD TEMPRANA DE FISURAS DE CEMENTO - BASADOS EN MATERIALES POR MINERALIZACIÓN DE ANHIDRASA CARBÓNICA MEDIANTE MICROORGANISMOS), investigó el potencial de auto-curación de las fisuras de edad temprana en materiales a base de cemento que incorpora las bacterias que pueden producir anhidrasa carbónica. Los especímenes de materiales a base de cemento fueron pre-fisurados a la edad de 7, 14, 28 y 60 días para estudiar la capacidad de reparación influenciada por el tiempo de craqueo, el ancho de las fisuras fue entre 0.1 y 1.0 mm para estudiar la tasa de cicatrización influenciada por el ancho de fisuras. Los resultados experimentales indicaron que las bacterias mostraron excelente capacidad de reparación a pequeñas fisuras formadas a temprana edad de 7 días, fisuras por debajo de 0,4 mm se cerró casi completamente. El efecto de reparación se redujo con el aumento de la edad de craqueo. El ancho de las fisuras influyó significativamente en la efectividad de la autocuración. El transporte de CO_2 y Ca^{2+} controló el proceso de auto-sanación. Los análisis de simulación por computadora revelaron que el proceso de auto-cicatrización y el mecanismo de precipitación microbiológicamente inducida por las bacterias y la profundidad del CaCO_3 precipitado podrían predecirse la base de Ca^{2+} válido.

Wiktor & Jonkers (2014) Este trabajo de investigación: “**PROTECTION OF AGED CONCRETE STRUCTURES: APPLICATION OF BIO-BASED IMPREGNATION SYSTEM**” (PROTECCIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO: APLICACIÓN DEL SISTEMA DE IMPREGNACIÓN A BASE BIOLÓGICA) se centra especialmente en el envejecimiento del concreto debido a la formación de micro-fisuras o congelación / descongelación, lo que resulta en una mayor permeabilidad del concreto. El sistema de reparación basado en bacterias presentado en este trabajo tiene como objetivo recuperar la permeabilidad del concreto gracias a la precipitación de carbonato de calcio inducida por

bacterias dentro de las fisuras/porosidad. El rendimiento del sistema de reparación basado en bacterias en el laboratorio y la aplicación de campo fueron muy prometedores. Los resultados de laboratorio mostraron que la capacidad de sellado de fisuras del sistema de reparación es muy buena ya que las fisuras se sellaron completamente después de la impregnación. Los resultados de la aplicación fueron muy buenos ya que el concreto tratado tenía una resistencia significativamente mayor a la congelación/descongelación y sólo las fisuras que no estaban impregnadas con el sistema de reparación basado en bacterias todavía estaban goteando.

Sangadji, Wiktor, Jonkers, & Schlangen (2013) En su investigación “**INJECTING A LIQUID BACTERIA-BASED REPAIR SYSTEM TO MAKE POROUS NETWORK CONCRETE HEALED**” (INYECCIÓN DE LÍQUIDO BACTERIANO - BASADO EN SISTEMA DE AUTO REPARACIÓN EN RED DE CONCRETO POROSO), se hicieron los ensayos en prismas de $55 \times 55 \times 285$ mm con un núcleo de concreto poroso de $23 \times 23 \times 285$ mm en el interior. Se instaló una barra de acero roscado de 2 mm de diámetro por debajo del núcleo. Una fisura fue formada por la carga de flexión de tres puntos y la solución se inyectó a través de la red porosa hasta que alcanzó y voló a través de la abertura de la fisura. Las bacterias precipitaron entonces el carbonato de calcio que bloqueaba la grieta. La eficacia de curación (reparación) se midió por prueba de permeabilidad al agua antes y después de la inyección en varios intervalos de tiempo. Se llevó a cabo una carga mecánica de segundo ciclo para evaluar la recuperación de las propiedades mecánicas. Los resultados preliminares mostraron que más del 90% de reducción de la permeabilidad se logró a los 11 días que parecían ser temporales ya que después de 19 días la reducción de la permeabilidad caía hasta el 70%. Esto podría atribuirse al enjuague de la solución después de 11 días ya que el proceso podría no ser completo. Sin embargo, las huellas de bacterias obtenidas de la observación de ESEM (Microscopio) de sección pulida de núcleo poroso cilíndrico de 26 - 30 mm de diámetro a 21 días después de la inyección con la solución, mostró una fuerte evidencia de actividad bacteriana y confirmó la observación previa.

Jonkers (2008) En el proyecto de investigación “**DEVELOPMENT OF A BACTERIA-BASED SELF HEALING CONCRETE**” (DESARROLLO DEL CONCRETO AUTOCURATIVO BASADO EN BACTERIAS), se desarrolló un nuevo tipo de concreto autocurado (autoreparado) en el que las bacterias median la producción de minerales que sellan rápidamente las fisuras recién formadas, un proceso que disminuye la permeabilidad del

concreto y protege mejor el refuerzo de acero incrustado de la corrosión. Los resultados iniciales muestran que la adición de compuestos precursores de minerales orgánicos específicos más bacterias alcalófilas formadoras de esporas como agentes de auto-curación produce partículas de calcita de hasta 100 μm de tamaño que pueden sellar micro-fisuras de hasta mayor tamaño.

2.2. ASPECTOS TEÓRICOS PERTINENTES

2.2.1. Bioreparador

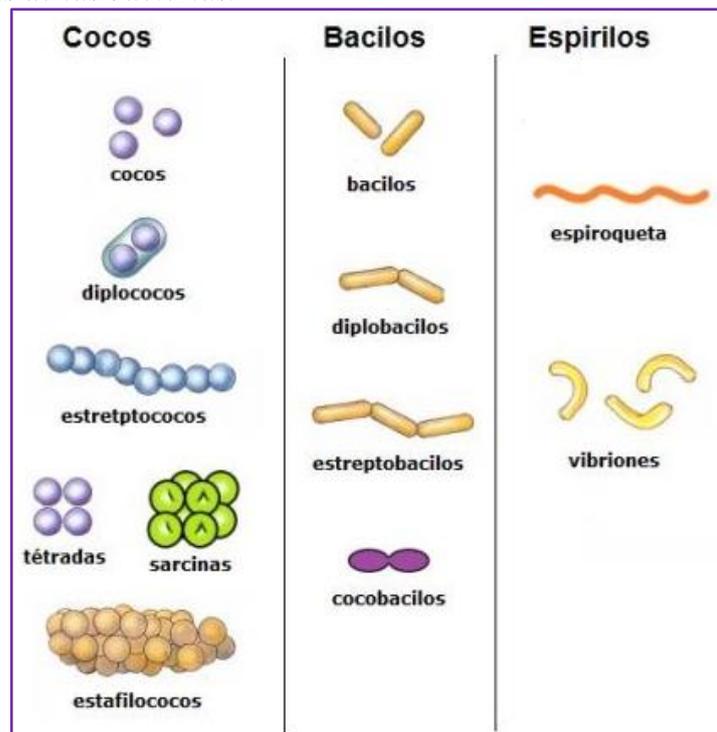
El bioreparador es una mezcla de dos soluciones que contiene esporas bacterianas como intermediarias para sintetizar carbonato de calcio a partir de lactato de calcio y nitrato de calcio y convertir en calcita, la cual repara por lo general fisuras de hasta 1 mm de ancho.

2.2.2. Parte biológica

2.2.3. Género Bacillus

Las células son en forma de varilla y rectas, 0.5 - 2.5 x 1.2 - 10 μm , y a menudo están dispuestas en pares o cadenas, con extremos redondeados o cuadrados. Son Gram positivas y móviles por los flagelos peritricas. Las endosporas son ovales, a veces redondas o cilíndricas y son muy resistentes a muchas condiciones adversas. No hay más de una espora por célula, y la esporulación no es reprimida por la exposición al aire. Aerobio o facultativamente anaerobio, con amplia diversidad de capacidad fisiológica con respecto al calor, pH y salinidad. (...) Se encuentra en una amplia gama de hábitats; Algunas especies son patógenas para vertebrados o invertebrados (Holt , Krieg, Sneath, Staley, & Williams, 1994)

Figura 1: Formas de las bacterias.

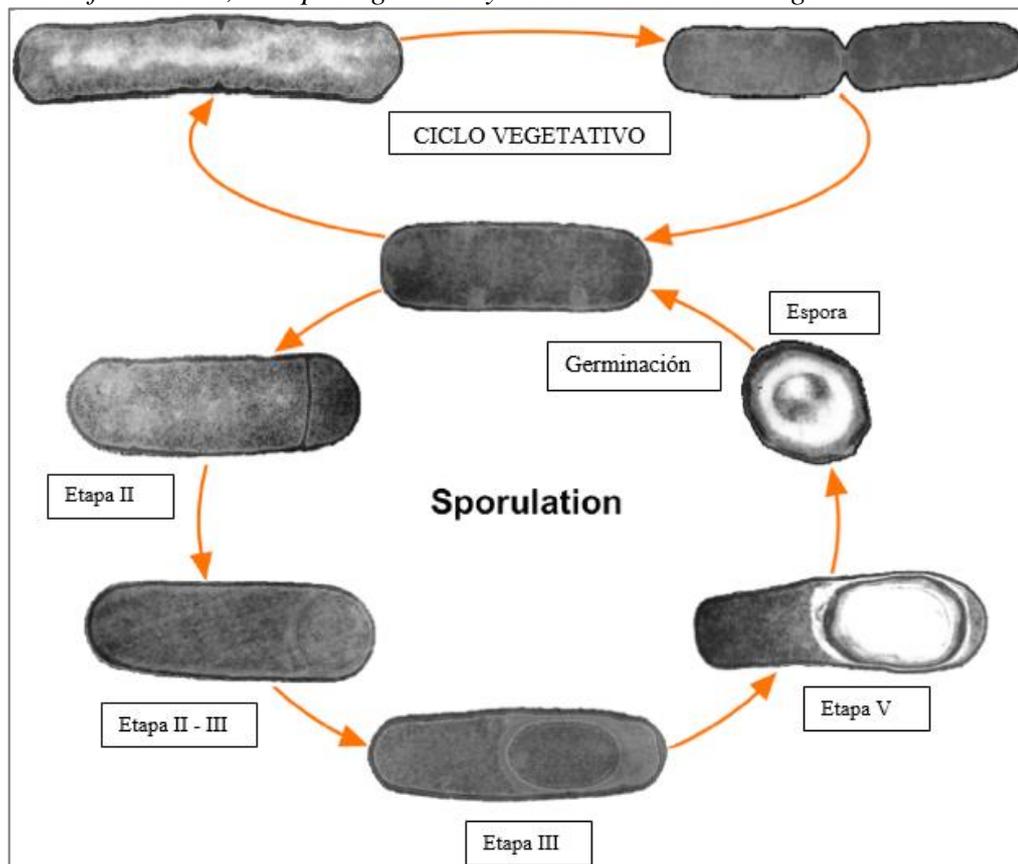


Fuente:<https://iquimicas.com/wp-content/uploads/2011/10/clasificacion-de-las-bacterias-segun-su-forma.jpg>

Bacillus es un género de amplio significado en la historia humana. La primera vacuna antibacteriana consistió en *Bacillus anthracis* atenuado, producido por Louis Pasteur en 1881. Robert Koch utilizó este organismo para demostrar por primera vez que un organismo vivo podría causar una enfermedad infecciosa en 1876 (Barth, Aktories, Popoff, & Stiles, 2004)

La diferenciación celular es un proceso biológico fundamental. Una relativamente simple es la formación de esporas en *B. subtilis*, que se convirtió en un paradigma para el estudio de la diferenciación celular en bacterias. El proceso que da lugar a las esporas resistentes al calor de las células vegetativas de *B. subtilis* requieren alrededor de 23 h a 35 °C y sigue etapas morfológicas bien definidas (Piggot & Coote, 1976; Piggot & Hilbert, 2004).

Figura 2: La esporulación y los ciclos vegetativos de *Bacillus subtilis*. Una célula vegetativa en crecimiento se define como etapa 0. Principales cambios morfológicos durante la esporulación son la división asimétrica (etapa II), inmersión del pre-espora por la célula madre (etapas II-III), conjunto de capas protectoras (etapas IV-V), maduración de la espora (etapa VI), lisis de la célula madre y la liberación de la espora madura (etapa VII). En condiciones favorables, la espora germina y se restaura el ciclo vegetativo.



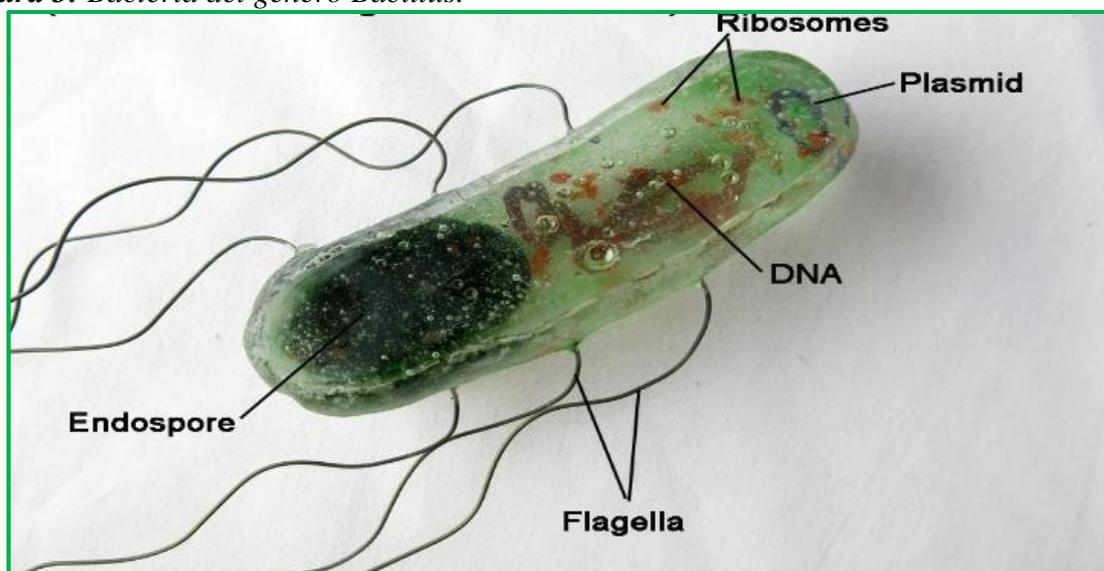
Fuente: (Dissecting the function of the SpoIIIJ and YqjG membrane protein insertases during bacterial spore development (Ph.D degree in Biology) Côte, 2013, pág. 5).

I. Selección de especie bacteriana

Hay varios tipos de bacterias que se pueden utilizar en el concreto como *Bacillus pasteurii*, *Escherichia coli*, *Bacillus sphaericus*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus*, *Bacillus cohnii*, *Bacillus halodurans*, *Bacillus pseudoformis* etc.

Hemos seleccionado *Bacillus subtilis*, para el presente trabajo de investigación, porque es de fácil adquisición y accesible en el mercado, el nivel de seguridad no es de riesgo, es decir no es patógeno para el ser humano y es común en el medio ambiente.

Figura 3: Bacteria del género *Bacillus*.



Fuente: <http://userscontent2.emaze.com/images/97554662-98ba-4b78-9f9a-84fe1566cce8/44756b94-3187-43c2-ae58-7012cafc7612.jpg>

II. *Bacillus subtilis*

Bacillus subtilis fue originalmente llamado *Vibrio subtilis* y renombrado en 1872, este organismo tiene otros nombres como *Bacillus uniflagellatus*, *Bacillus globigii* y *Bacillus natto*. La bacteria *Bacillus subtilis* fue una de las primeras bacterias estudiadas. *Bacillus subtilis* también se conoce como bacilo de heno o bacilo de pasto (Koustubh , Madhav, & Vishal, 2016).

Indica Koustubh *et al* (2016) “Las células de *Bacillus subtilis* son en forma de varilla, bacterias Gram-positivas que se encuentran naturalmente en el suelo y la vegetación, crece en el rango de temperatura mesófila, la temperatura óptima es de 25 - 35 grados Celcius.

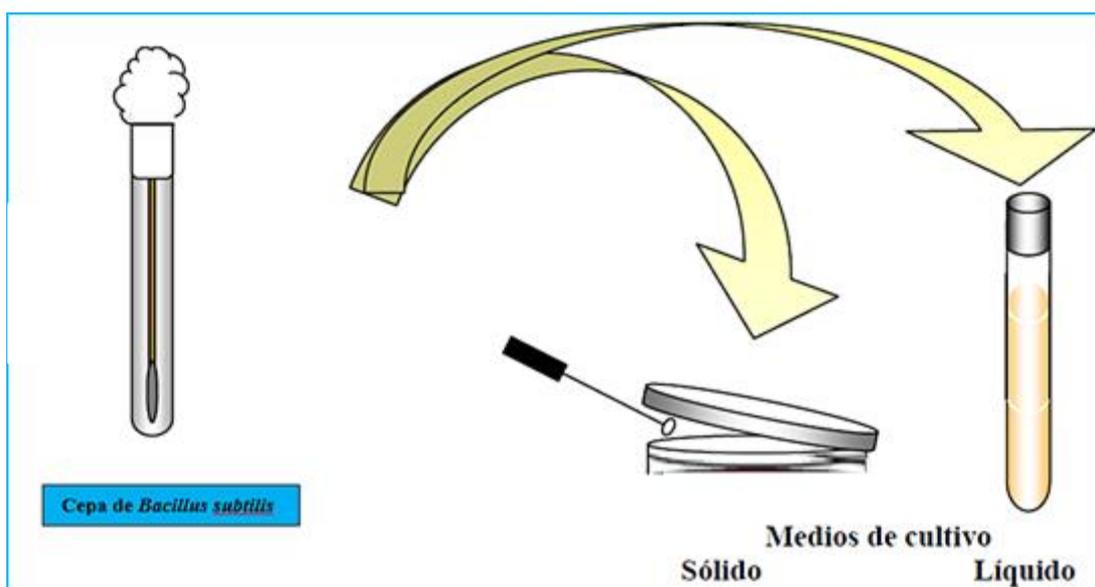
La bacteria *Bacillus subtilis* ha sido clasificada históricamente como un aerobio obligado, aunque existe evidencia de que es un aerobio facultativo. *Bacillus subtilis* se considera como la bacteria mejor estudiada y un organismo modelo para estudiar la replicación de los cromosomas bacterianos y la diferenciación celular (Koustubh *et al.*, 2016).

La diferenciación de especies es difícil debido a su gran número y a las descripciones a menudo incompletas de una serie de especies recién reportadas. Debe hacerse referencia al Manual de Bacteriología Sistemática de Bergey para las propiedades que distinguen a *Bacillus anthracis*, un patógeno de seres humanos y animales, del *B. cereus* estrechamente asociado (Holt *et al.* 1994).

a. Resuspensión de cepa (Caldo BHI, Agar Mueller Hinton)

Se denomina colonia al conjunto de bacterias que provienen de una misma célula madre y en los medios de cultivo aparecen como cúmulos (miles de bacterias) que pueden observarse a simple vista. Las colonias aisladas se obtienen diseminando la muestra sobre la superficie del agar con ayuda de un asa de siembra bacteriológica (Merino, 2010).

Figura 4: Aislamiento de *Bacillus subtilis* (adaptado de Merino, 2010).

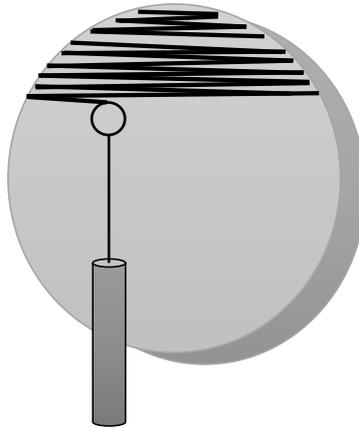


Fuente: Fisiología bacteriana (Merino, 2010).

b. Técnicas de siembra en placa Petri

Mediante esta técnica buscamos obtener colonias separadas a partir de un inóculo. Para su realización: (i) se toma la caja de Placa en la palma de la mano y ligeramente inclinada; con la mano contraria, se manipula el asa de siembra previamente esterilizada por flameado directo a la llama y con ella se recoge una película del caldo de cultivo, para colocarlo en un área periférica de la Placa haciendo movimientos circulares para homogeneizar el inóculo.

Figura 5: Pasos para la siembra de bacterias por la técnica de agotamiento.

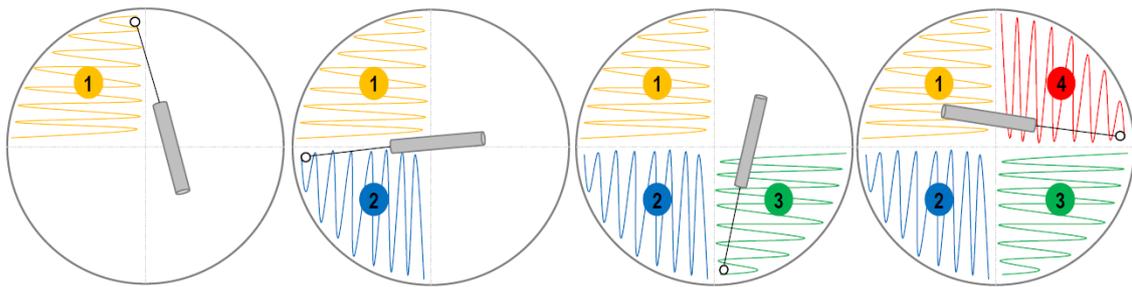


Fuente: Conceptos y práctica de microbiología general (Rojas, 2011).

a. Siembra en placa Petri por la técnica de siembra en cuadrantes

Esta técnica en diluir el inóculo a medida que se realizan estrías en la superficie del agar. Para realizar la siembra, la caja se divide en cuatro cuadrantes (imaginariamente o con un marcador vidriográfico por la base de la caja); se procede a esterilizar el asa en el mechero, se toma el inóculo y se inicia el rayado de la superficie del agar, en cuatro cuadrantes consecutivos (sin esterilizar el asa posteriormente o tomar nuevamente inóculo). Las cajas así sembradas, se incuban a la temperatura adecuada de acuerdo a la bacteria. Con esta técnica de siembra, se espera que al menos en el cuarto cuadrante (última estría realizada), se encuentren colonias de la bacteria aisladas (Rojas, 2011).

Figura 6: Técnica de siembra en cuadrantes, donde se observan las cuatro estrías realizadas una a continuación de la otra y sin cargar el asa nuevamente.



Fuente: Conceptos y práctica de microbiología general (Rojas, 2011).

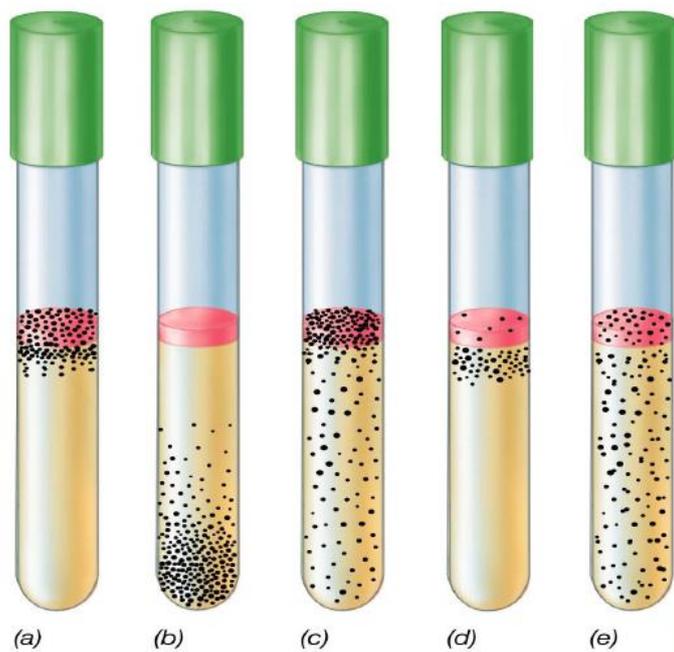
b. Técnicas de siembra en medios contenidos en tubos

Según [Rojas \(2011\)](#) La siembra de medios contenidos en tubos requiere mayor cuidado, puesto que un solo organismo contaminante del aire puede superar en crecimiento al microorganismo de interés.

III. Oxígeno.

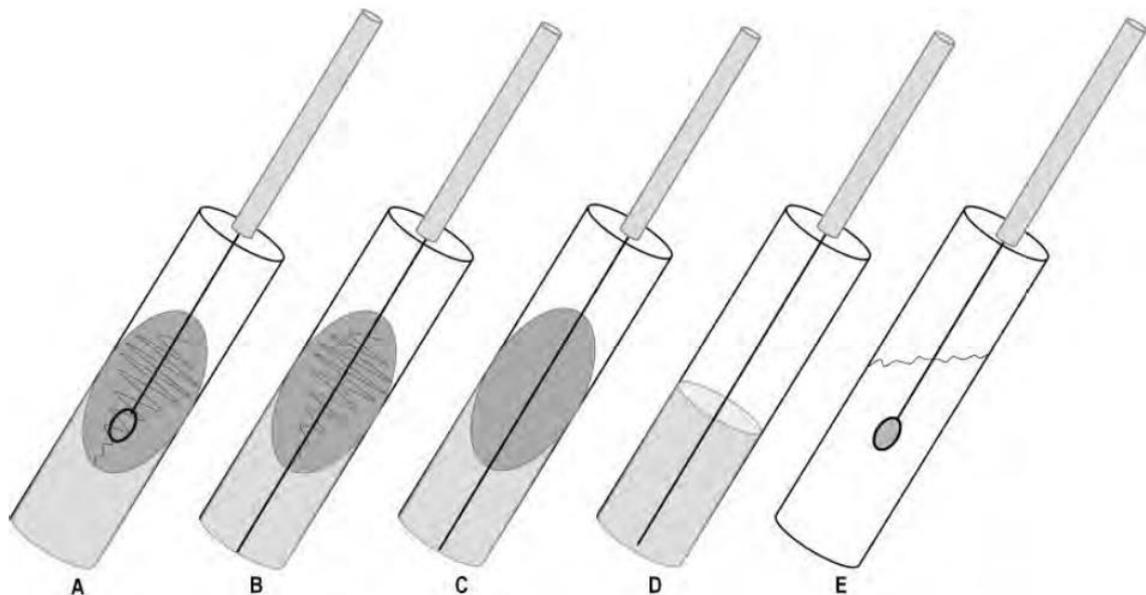
El crecimiento anaerobio, aerobio, anaerobio facultativo, microaerófilo y aerotolerante, como lo revela la posición de las colonias microbianas (representadas aquí como puntos negros) dentro de los tubos de medio de cultivo de caldo de tioglicolato. (A) El oxígeno penetra sólo una corta distancia en el tubo, por lo que los aeróbios oblongos crecen sólo en la superficie. (B) Los anaerobios, que son sensibles al oxígeno, crecen sólo lejos de la superficie. (C) Los aerobios facultativos son capaces de crecer en la presencia o ausencia de oxígeno y por lo tanto crecen a lo largo del tubo. Sin embargo, un mejor crecimiento ocurre cerca de la superficie porque estos organismos pueden respirar, (D) Los microaerófilos, (E) Los anaerobios aerotolerantes crecen a lo largo del tubo. Sin embargo, el crecimiento no es mejor cerca de la superficie porque estos organismos sólo pueden fermentar ([González, 2007](#)).

Figura 7: (a) aerobios, (b) anaerobios, (c) aerobios facultativos, (d) microaerofilos, (e) anaerobios aerotolerantes.



Fuente: http://www.gonzalezcabeza.com/documentos/CRECIMIENTO_MICROBIANO.pdf (González, 2007).

Figura 8: Técnicas de siembras aplicadas a medios de cultivo contenidos en tubos, donde: (A) Siembra por estría simple, (B) siembra mixta (picadura y estría), (C y D) siembra por picadura en agar inclinado y recto y, (E) siembra con asa bacteriológica en medio líquido.



Fuente: Protocolos de prácticas de microbiología experimental (UNAM – 2013).

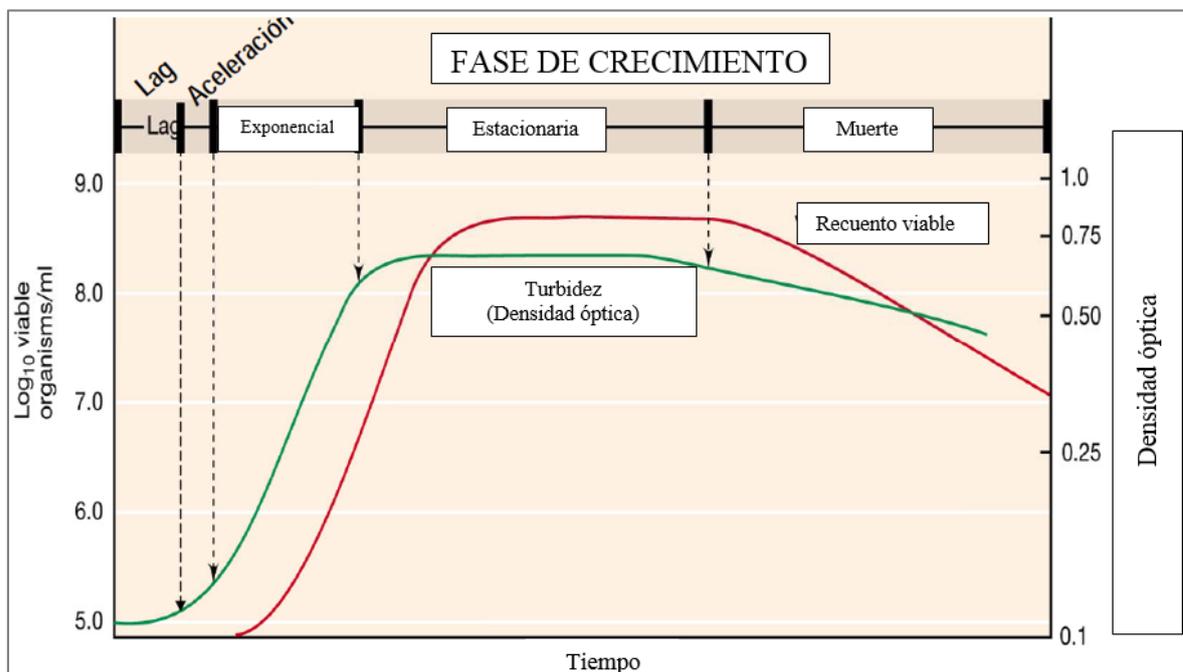
IV. Crecimiento microbiano (González, 2007).

El crecimiento de células, microorganismos, células vegetales y animales, puede tener dos acepciones, una referida al incremento de la masa celular y la otra al incremento del número de células; esta última es la válida desde el punto de vista microbiológico. A la vez, ello puede mirarse bajo dos aspectos o tipos de crecimiento reproductivo.

- a. Células individuales o población de células en crecimiento sincronizado para estudio del ciclo de vida celular. Procesos en laboratorio.
- b. División estocástica de la población, o división al azar

Por tanto, la división celular se efectúa luego de un aumento en el tamaño de la célula, duplicación del núcleo, división celular, división citoplasmática (salvo los organismos cenóticos) y de ésta manera una célula genera a dos células de tamaño similar, conteniendo los mismos elementos estructurales y potencialidades.

Figura 9: Curva típica de crecimiento de una población bacteriana (Adaptado de González, 2007).

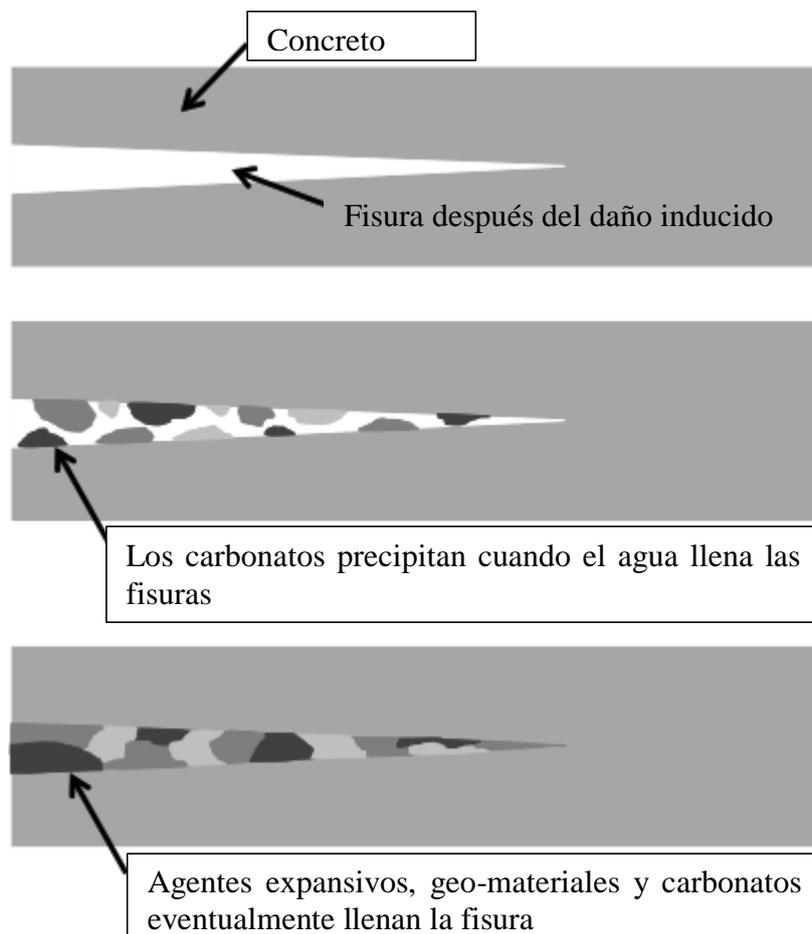


Fuente: http://www.gonzalezcabeza.com/documentos/CRECIMIENTO_MICROBIANO.pdf

V. Carbonato de Calcio (CaCO_3)

El carbonato de calcio (CaCO_3) es uno de los minerales más naturalmente precipitados en la tierra en forma de rocas naturales y existe en ambientes tales como: Agua marina, agua dulce y suelos (Ehrlich, 1998; Castanier *et al.*, 1999). La variabilidad de la concentración en la solubilidad del calcio o carbonato en solución provoca la precipitación natural de CaCO_3 . Incluso el cambio abiótico o la acción biótica (acción microbiana) resulta en la precipitación natural de CaCO_3 . Se encontró que la precipitación de CaCO_3 debido al proceso biótico excede al abiótico en la mayoría de los ambientes sobre la tierra (Castanier, *et al.*, 2000).

Figura 10: Enfoque autoregenerable con carbonato de calcio.



Fuente: Robust Self-Healing Concrete for Sustainable Infrastructure, adaptado de (Li & Herbert, 2012).

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.

El nombre proviene de la similitud en apariencia y el efecto publicitario que pretendió darle en el año 1842 Joseph Aspdin un constructor inglés, al patentar un proceso de calcinación de caliza arcillosa que producía un cemento que al hidratarse adquiriría según él, la misma resistencia que la piedra de la isla de Portland cerca del puerto de Dorset.

Es en 1845 cuando se desarrolla el procedimiento industrial del cemento Portland moderno, que con algunas variantes persiste hasta nuestros días y que consiste en moler rocas calcáreas con rocas arcillosas en cierta composición y someter este polvo a temperaturas sobre los 1300 °C produciéndose lo que se denomina el clinker, constituido por bolas endurecidas de diferentes diámetros, que finalmente se muelen añadiéndoseles yeso para tener como producto definitivo un polvo sumamente fino.

La primera fábrica de cemento Portland se establece en Francia en 1840, luego en Inglaterra en 1845, en Alemania en 1855, en E.E.U.U. en 1871 y a partir de ahí se difunden por todo el mundo. Hacia 1950, la producción mundial de cemento fue de 250 Megatoneladas, estimándose que para fines del Siglo XX, la producción será del orden de 1500 Megatoneladas. (Pasquel, 1993).

a) Proceso de fabricación del Cemento

Las materias primas son molidas e íntimamente mezcladas, se calientan hasta principio de la fusión (1400 – 1450 °C), usualmente en grandes hornos giratorios, que pueden llegar a medir más de 200 metros de longitud y 5.50 metros de diámetro.

Al material parcialmente fundido que sale del horno se le denomina –Clinker- (pequeñas esferas de color gris negruzco, duras y de diferentes tamaños).

El Clinker enfriado y molido a polvo muy fino, es lo que constituye el cemento portland comercial. Durante la molienda se agrega una pequeña cantidad de yeso (3 ó 4%), para regular la fragua del cemento. (Nestor [Pasquel, 1993](#)).

b) Propiedades Químicas.

Según [Pasquel, \(2002\)](#), el punto de partida del proceso de fabricación lo constituye la selección y explotación de las materias primas para su procesamiento consiguiente.

Se inicia con la explotación de las canteras de materia prima para someterlas a un proceso de chancado primario en que se reduce su tamaño a piedras del orden de 5" y luego se procesa este material en una chancadora secundaria que las reduce a un tamaño de $\frac{3}{4}$ ", con lo que están en condiciones de ser sometidas a molienda. Los materiales son molidos individualmente en un molino de bolas hasta ser convertidas en un polvo fino impalpable, siendo luego dosificados y mezclados íntimamente en las proporciones convenientes para el tipo de cemento que se desea obtener.

La mezcla es posteriormente introducida en un horno giratorio consistente, las temperaturas desarrolladas a lo largo del horno producen primero la evaporación del agua libre, luego la liberación del CO₂ y finalmente en la zona de mayor temperatura se produce la fusión de alrededor de un 20% a 30% de la carga y es cuando la cal, la sílice y la alúmina se vuelven a combinar aglomerándose en módulos de varios tamaños usualmente de $\frac{1}{4}$ " a 1" de diámetro de color negro característico, relucientes y duros al enfriarse denominado "Clinker de cemento portland".

En la etapa final del proceso, el Clinker es enfriado y es molido en un molino de bolas conjuntamente con yeso en pequeñas cantidades (3%, 6%) para controlar el endurecimiento violento; la molienda produce un polvo muy fino que contiene hasta 1.1×10^2 partículas por Kg. Y que pasa completamente por un tamiz N°200 y finalmente el cemento pasa a ser almacenado a granel.

Los componentes químicos principales de las materias primas para la fabricación del cemento y las proporciones generales en que intervienen son:

Figura 11: Componentes principales de la fabricación del cemento.

Componente		Procedencia
95%	Óxido de Calcio (CaO)	Rocas Calizas
	Óxido de Sílice (SiO ₂)	Areniscas
	Óxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	Arcillas
	Óxido de Hierro (Fe ₂ O ₃)	Arcillas, Mineral de Hierro, Pirita
Componente		Procedencia
5%	Óxidos de Magnesio, Sodio, Potasio, Titanio, Azufre, Fósforo y Magnesio	Minerales Varios

Fuente: “Tópicos de tecnología del concreto - (Pasquell, 1993)”

c) Composición del cemento portland (Pasquel, 2002).

Luego del proceso de formación del Clinker y molienda final, se obtiene los siguientes compuestos establecidos por primera vez por Le Chateles en 1852 y que son los que definen el comportamiento del cemento hidratado y que detallamos con su fórmula química, abreviatura y nombre corriente.

- SILICATO TRICÁLCICO (3CaO·SiO₂).- Define la resistencia inicial (en la primer semana) y tiene mucha importancia en el calor de hidratación.
- SILICATO DICÁLCICO (2CaO·SiO₂).- Define la resistencia a largo plazo y tiene menor incidencia en el calor de hidratación.
- ALUMINATO TRICÁLCICO (3CaO·Al₂O₃).- Aisladamente no tiene trascendencia en la resistencia, pero con los silicatos condiciona el fraguado violento actuando como catalizador, por lo que es necesario añadir yeso en el proceso (3%-6%) para controlarlo.
- ALUMINO FÉRRITO TETRACÁLCICO (4CaO·Al₂O₃·Fe₂O₃).- Tiene trascendencia en la velocidad de hidratación y secundariamente en el calor de hidratación.
- OXIDO DE MAGNESIO (MgO).- Pese a ser un componente menor, tiene importancia pues para contenidos mayores del 5% trae problemas de expansión en la pasta hidratada y endurecida.

- OXIDO DE POTASIO Y SODIO ($K_2O.Na_2O$ - Álcalis).- Tiene importancia para casos especiales de reacciones químicas con ciertos agregados, y los solubles en agua contribuyen a producir eflorescencia con agregados calcáreos.

d) Tipos de cemento y sus aplicaciones (Pasquel, 2002)

Los tipos de cementos y sus aplicaciones principales se dan de la siguiente manera.

- Cemento Tipo I, de uso general donde no se requiere de propiedades especiales.
- Cemento Tipo II, moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación, empleado en estructuras con ambientes agresivos o en vaciados masivos.
- Cemento Tipo III, desarrollo rápido de resistencia con elevado calor de hidratación, para uso en climas fríos.
- Cemento Tipo IV, de bajo calor de hidratación, para vaciados masivos.
- Cemento Tipo V, alta resistencia a los sulfatos, para ambientes muy agresivos.

e) Mecanismo de hidratación

Según Pasquel, (1993) Se denomina hidratación al conjunto de reacciones químicas entre el agua y los componentes del cemento, que llevan consigo el cambio del estado plástico al endurecido, con las propiedades inherentes a los nuevos productos formados. Los componentes ya mencionados anteriormente, al reaccionar con el agua forman hidróxidos e hidratos de calcio complejos.

La velocidad con que se desarrolla la hidratación es directamente proporcional a la finura del cemento e inversamente proporcional al tiempo, por lo que inicialmente es muy rápida y va disminuyendo paulatinamente con el transcurso de los días, aunque nunca se llega a detener. Contrariamente a lo que se creía hace años, la reacción con el agua no une las partículas de cemento sino que cada partícula se dispersa en millones de partículas de productos de hidratación desapareciendo los constituyentes iniciales. El proceso es exotérmico generando un flujo de calor hacia el exterior denominado calor de hidratación.

Dependiendo de la temperatura y el tiempo, y la relación entre la cantidad de agua y cemento que reaccionan se pueden describir las siguientes etapas:

➤ **Plástico:**

Unión de agua y el polvo de cemento formando una pasta moldeable. Cuando 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. La acción del yeso contrarresta la velocidad de las reacciones y en este estado se produce lo que se denomina el periodo latente o de reposo en que las reacciones se atenúan, y duran entre 40 y 120 minutos dependiendo de la temperatura ambiente y el cemento en particular. (Pasquel, 2002).

➤ **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. Es la etapa en que se evidencia el proceso exotérmico donde se genera el denominado calor de hidratación, que es consecuencia de las reacciones químicas descritas. (Pasquel, 2002).

➤ **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, 2002)

➤ **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 continua de manera indefinida. (Pasquel, 2002)

2.2.5. Agua:

La importancia de estudiar al agua en el cemento radica en que se puede presentar impurezas, como azúcar, ácidos, materia vegetal y aceites que impidan o retardan la hidratación.

El agua debe ser limpia, potable y estar libre desechos, de sustancias químicas indeseables o de residuos que puedan afectar el concreto. Verificar siempre el agua de la tubería antes de usarla. (Neville, 1998).

Debido a que el agua ocupa un papel predominante en las reacciones del cemento durante el estado plástico, el proceso de fraguado y el estado endurecido de un concreto, la presente sección pretende dar una visión generalizada acerca de las características que debe tener desde un punto de vista de la tecnología del concreto (Portugal, 2007).

Definiciones:

a) Agua de mezclado.- Es definida como la cantidad de agua por volumen unitario de concreto.

b) Agua de hidratación.- Es aquella parte del agua original de mezclado que reacciona químicamente con el cemento para pasar a formar parte de la fase sólida del gel, es también conocida como agua no evaporable.

c) Agua evaporable.- El agua restante que existe en la pasta, es agua que puede evaporarse, pero no se encuentra libre en su totalidad. El gel cemento cuya característica principal es un enorme desarrollo superficial interno, ejerce atracción molecular sobre una parte del agua evaporable y la mantiene atraída.

d) Agua de adsorción.- Es una capa molecular de agua que se halla fuertemente adherida a las superficies del gel por fuerzas intermoleculares de atracción.

e) Agua capilar.- Es el agua que ocupa los poros capilares de la pasta, a distancias que suelen estar comprendidas en el intervalo de 30 a 10, de manera que parte de ella está sujeta débilmente a la influencia de las fuerzas de superficie del gel.

f) Agua libre.- Es la que se encuentra fuera de la influencia de las fuerzas de superficie, de tal modo que tiene completa movilidad y puede evaporarse con facilidad.

I. Requisitos de calidad

El agua a ser empleada debe cumplir con los requisitos dados por las normas como la NTP 339.088, y ser de preferencia potable. Si se hace necesario el uso de agua no potable, se deben realizar estudios comparándola con agua potable, manteniendo la similitud en los procedimientos (Ghio, 1994).

Tabla 2: Límites máximo permisibles.

DESCRIPCIÓN		LIMITE PERMISIBLE	
Sólidos en suspensión (residuo insoluble)	5,000	ppm	Máximo
Materia orgánica	3	ppm	Máximo
Alcalinidad (NaHCO ₃)	1,000	ppm	Máximo
Sulfatos (ion SO ₄)	600	ppm	Máximo
Cloruros (ion Cl ⁻)	1,000	ppm	Máximo
pH	5 a 8	ppm	Máximo

Fuente: Según norma “NTP 339.088”

2.2.6. Agregados

Los agregados también llamados áridos son aquellos materiales inertes, de forma granular, naturales o artificiales, que aglomerados por el cemento Portland en presencia de agua forman un todo compacto (piedra artificial), conocido como mortero o concreto. Como agregados de las mezclas de mortero o concreto se pueden considerar, todos aquellos materiales que teniendo una resistencia propia suficiente (resistencia de la partícula), no perturben ni afecten desfavorablemente las propiedades y características de las mezclas y garanticen una adherencia suficiente con la pasta endurecida del cemento Portland. Pero hay algunos otros agregados, que presentan elementos nocivos o eventualmente inconvenientes que reaccionan afectando la estructura interna del concreto y su durabilidad, como por ejemplo, los que presentan elementos sulfurados, los que contienen partículas pulverulentas más finas o aquellas que se encuentran en descomposición latente como algunas pizarras. (Gerardo, 2012).

Según (IMCYC, 2004). Los agregados deben ser:

- **Resistentes y duros:** un agregado resistente y duro dará un concreto final más resistente.
- **Durables:** para soportar el desgaste, rompimiento e intemperismo.
- **Químicamente inactivo:** de modo que los agregados no reaccione con el cemento.
- **Limpio:** la mugre o la arcilla que se pega los agregados no reaccionen con el cemento.
- **Graduados:** los agregados deben de variar en tamaño de modo que se acomoden bien todo junto. Esto da un concreto más resistente y denso. Los agregados redondos dan una mezcla más trabajable, en cambio los agregados angulosos hacen un concreto más difícil de colocar, de trabajar y de compactar, pero pueden hacer un concreto más resistente.
- **Almacenamiento:** los agregados deben ser almacenados donde permanezcan limpios, separados de otros materiales y estén secos. Si los agregados están muy mojados, utilizar menos agua en la mezcla.

I. Clasificación de los Agregados

A.- Clasificación por su origen.

Por su origen los agregados se clasifican en:

- **Agregados Naturales:** Son los formados por los procesos geológicos naturales que han ocurrido en el planeta durante miles de años, y que son extraídos, seleccionados y procesados para optimizar su empleo en la producción de concreto.
- **Agregados Artificiales:** Proviene de un proceso de transformación de materiales naturales, que proveen productos secundarios que con un tratamiento adicional se habilitan para emplearse en la producción de concreto. (Rivva, 2014).

B.- Clasificación por su Tamaño.

De acuerdo a su tamaño los agregados se clasifican en: Agregado Fino y Agregado Grueso.

- **Agregado Fino:** Es aquel que pasa íntegramente el tamiz de 3/8" y como mínimo en un 95% el Tamiz N° 4, quedando retenido en el Tamiz N° 200.
- **Agregado Grueso:** Es aquel que queda retenido, como mínimo, en un 95% en el Tamiz N° 4. (Rivva, 2014).

Tabla 3: Clasificación según su tamaño.

TAMAÑO DE PARTÍCULA EN (mm) TAMIZ	DENOMINACIÓN CORRIENTE	CLASIFICACIÓN COMO AGREGADO PARA CONCRETO.
< 0.002	Arcilla	Fracción muy Fina
0.002 - 0.074 (#200)	Limo	
0.075 - 4.76 (# 200 - # 4)	Arena	Agregado Fino
4.76 - 19.1 (# 4 - 3/4")	Gravilla	Agregado Grueso.
19.1 - 50.8 (3/4" - 2")	Grava	
50.8 - 152.4 (2" - 6")	Piedra Mediana	
> 152.4 (6")	Piedra Grande, Rajon, Bolón	

Fuente: Elaborado por GOMEZ JURADO SARRIA

II. Características físicas de los agregados

Según (Pasquel, 2002) son primordiales en los agregados las características de densidad, resistencia, porosidad, y la distribución volumétrica de las partículas, que se acostumbra denominar granulometría o gradación.

Asociadas a estas características se encuentran una serie de ensayos o pruebas estándar que miden estas propiedades para compararlas con valores de referencia establecidos.

Es importante para evaluar estos requerimientos el tener claros algunos conceptos relativos a ciertas características numéricas.

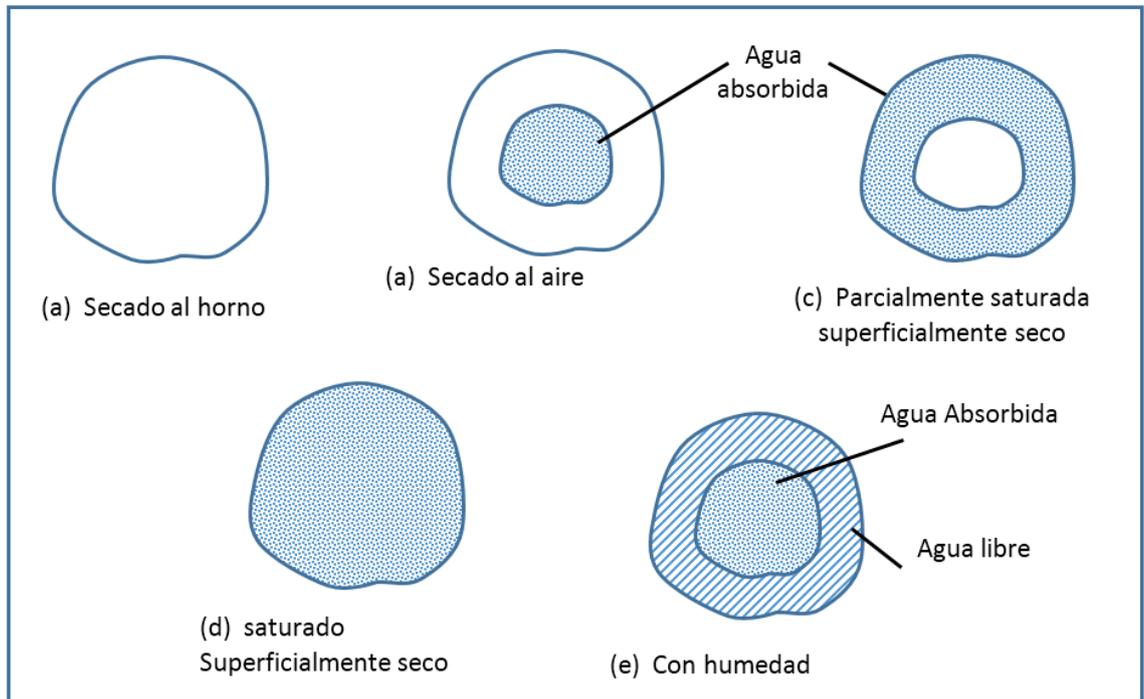
A. Condiciones de saturación

Referido a las condiciones de saturación de una partícula ideal de agregado, partiendo de las condiciones secas hasta cuando tienen humedad superficial, pudiendo distinguirse visualmente los conceptos de saturación.

La saturación en los agregados es un parámetro muy importante que se tiene que tomar en cuenta en los diseños de mezcla ya que los agregados saturados o parcialmente saturados que proceden de las canteras deben ser establecidas a condiciones aptas para su empleo.

En el siguiente esquema se muestran las condiciones de saturación de una partícula ideal de agregado.

Figura 12: Estados de saturación del agregado.



Fuente: Tecnología del concreto (Pasquell, 1993).

B. Peso específico:

Podemos definir al peso específico como el cociente que se obtiene de dividir el peso de las partículas entre el volumen de las mismas sin considerar los vacíos entre ellas, las normas ASTM C-127 y ASTM C-128, establecen los procedimientos estandarizados para su determinación en laboratorio, los valores para agregados

normales oscilan entre 2500 Kg. / m³ y 2750 Kg. /m³. El peso específico es un parámetro muy importante a la hora de hacer diseños, debido a que su valor numérico nos indica las condiciones en las cuales se encuentra el agregado.

C. Peso Unitario.

Es el cociente de dividir el peso de las partículas entre el volumen total incluyendo los vacíos, la norma ASTM C-29, define su método estándar para evaluarlo en las condiciones de acomodo de las partículas luego de compactarlas en un molde metálico apisonándolas con 25 golpes con una varilla de 5/8” en 03 capas.

El cálculo del peso unitario de un agregado nos indica el grado de acomodo de las partículas en una estructura.

D. Porcentaje de vacíos

Es la medida de volumen expresado en porcentaje de los espacios entre las partículas de agregados. Depende también del acomodo entre partículas, por lo que su valor es relativo como en el caso del peso unitario.

$$\% \text{ vacíos} = \frac{(S_B * Da - Pu * Da) * 100}{S_B}$$

Donde:

- S_B: Peso Específico de Masa
- Da: Densidad del agua
- Pu: Peso Unitario Compactado seco

E. Absorción

Es la cantidad de agua que un agregado necesita para pasar de la condición seca a la condición de saturado superficialmente, se expresa generalmente en porcentaje (Abanto, 2009, pág. 39).

$$\% \text{ absorción} = \frac{500 - W_o}{W_o} * 100$$

Donde:

500= es la cantidad de agregado fino saturado superficialmente seco (gr)

W_o=peso del agregado fino secado al horno (gr)

F. Contenido de humedad

Es el contenido de agua dentro de un agregado expresado en porcentaje:

$$\% \text{ humedad} = \% \omega = \frac{H - S}{S} * 100$$

Donde:

- H: Peso del agregado Húmedo
- S: Peso del agregado en condición Seca.

G. Porosidad

Es el volumen de espacios dentro de las partículas de agregado; tiene una gran influencia en todas las demás propiedades de los agregados pues es representativa de la estructura interna de las partículas.

III. Referencias normativas

Las siguientes normas contienen disposiciones que al ser citadas en este texto constituyen requisitos de esta Norma Técnica Peruana (NTP). Las ediciones indicadas estaban en vigencia en el momento de esta publicación. Como toda norma está sujeta a revisión, se recomienda a aquellos que realicen acuerdos a base a ellas, que analicen la conveniencia de usar las ediciones recientes de las normas citadas seguidamente. El Organismo Peruano de Normalización posee, en todo momento, la información de las NTP en vigencia.

Normas técnicas peruanas.

- NTP 400.037:2001 - AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón.
- NTP 400.012:2001 - AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.
- NTP 400.011:1996 - AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones (concretos).
- NTP 400.010:2001 ² AGREGADOS. Extracción y preparación de las muestras.
- NTP 350.001:1970 ² TAMICES DE ENSAYO.

- NTP 339.047:1979 ² HORMIGÓN (CONCRETO). Definiciones terminología relativas al concreto.
- NTP 400.021:2002 ² AGREGADOS. Métodos de ensayo normalizado para el peso específico y absorción de agregado grueso.

IV. Análisis granulométrico

Es la representación numérica de la distribución volumétrica de las partículas por tamaños.

Como sería sumamente difícil medir el volumen de los diferentes tamaños de partículas, se usa una manera indirecta, cual es tamizarlas por una serie de mallas de aberturas conocidas y pesar los materiales retenidos refiriéndolos en porcentaje con respecto al peso total. Los valores hallados se representan gráficamente en un sistema coordinado semilogarítmico que permite apreciar la distribución acumulada. Esto es válido mientras se trabaja con agregados normales, en que los pesos específicos de las partículas no difieren mucho, pero cuando se trata de mezclas de agregados de pesos específicos muy diferentes, hay que hacer las conversiones convenientes para que se represente realmente la distribución volumétrica que es la que interesa para la elaboración de concreto.

La serie de tamices estándar ASTM para concreto tiene la particularidad de que empieza por el tamiz de abertura cuadrada 3" y el siguiente tiene una abertura igual a la mitad de la anterior. A partir de la malla 3/8" se mantiene la misma secuencia, pero el nombre de las mallas se establece en función del número de aberturas por pulgada cuadrada. En la siguiente tabla se indican los tamices estándar ASTM.

Tabla 4: Tamices Estándar ASTM.

TAMICES	ABERTURA LIBRE DEL TAMIZ	
	PULGADAS	MILÍMETROS
3"	3.000	75.00
1 ½"	1.500	37.50
¾	0.7500	19.00
3/8	0.3748	9.52
Nº4	0.1870	4.75
Nº8	0.0937	2.38
Nº16	0.0468	1.19
Nº30	0.0232	0.59
Nº50	0.0116	0.297
Nº100	0.0058	0.149
Nº200	0.00295	0.075

Fuente: (Pasquel, 1993).

- Determinación del análisis granulométrico del agregado fino (arena).

Tabla 5: Tamices correspondientes a la agregado fino.

TAMICES	ABERTURA LIBRE DEL TAMIZ	
	PULGADAS	MILÍMETROS
3/8	0.3748	9.52
Nº4	0.1870	4.75
8	0.0937	2.38
16	0.0468	1.19
30	0.0232	0.59
50	0.0116	0.297
100	0.0058	0.149
200	0.00295	0.075

Fuente: Ing. Sergio Navarro "Introducción a la Ingeniería"

Tabla 6: Requisitos granulométricos del agregado fino.

TAMIZ ESTÁNDAR	% EN PESO DEL MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ
3/8"	100
#4	95 a 100
#8	80 a 100
#16	50 a 85
#30	25 a 60
#50	10 a 30
#100	2 a 10

Fuente: (Harmsem, 2005).

- Determinación del análisis granulométrico del agregado grueso (grava).

Tabla 7: Tamices correspondientes a la gradación gruesa.

TAMICES	ABERTURA LIBRE DEL TAMIZ	
	PULGADAS	MILÍMETROS
3	3	76.2
2.5	2 ½	63.5
2	2	50.8
1.5	1 ½	38.1
1	1	25.4
¾	0.7677	19.1
½	0.5000	12.7
3/8	0.3748	9.52
¼	0.25	6.35
Nº4	0.1870	4.75
Nº8	0.0937	2.38

Fuente: (Harmsem, 2005).

V. *Módulo de fineza:*

Es un concepto sumamente importante establecido por Duff Abrams en el año 1925 y que se define como la suma de los porcentajes retenidos acumulativos de la serie Standard hasta el Tamiz N° 100 y esta cantidad se divide entre 100.

El sustento matemático reside en que es proporcional al promedio logarítmico del tamaño de partículas de una cierta distribución granulométrica.

La justificación experimental que avala esto consiste en que está demostrado que independientemente de la granulometría, los concretos con agregados de igual módulo de fineza, mantienen las mismas condiciones de trabajabilidad y resistencia.

Debe tenerse muy claro que es un criterio que se aplica al agregado en conjunto y no solo a la arena ya que el concepto es general.

La norma ASTM C-33 establece los requisitos que deben cumplir los agregados para usarse en concreto.

En cuanto a los requisitos químicos, lo básico en general es evitar contaminaciones de manera similar al caso del agua además de los requisitos específicos indicados.

a. *Tamaño máximo de las partículas*

Se define como el menor tamiz por el que pasa todo el agregado tamizado. Se define operativamente como Tamaño Máximo Nominal el correspondiente al menor tamiz que produce el primer retenido.

“Es un conjunto de partículas de agregados para concreto, es pertinente distinguir entre el tamaño máximo nominal efectivo y el que se designa como tamaño máximo nominal; el primero identifica con la malla de menor abertura en que alcanza a pasar efectivamente el total de las partículas del conjunto, cuando se le criba sucesivamente en mallas cuyas aberturas se incrementan gradualmente. La determinación de esta TMN es necesario cuando se analiza gradualmente muestras representativas de depósitos naturales, a fin de conocer el TMN disponible en el depósito en estudio, y su verificación es una medida de control indispensable durante el suministro del agregado ya clasificado, previamente a su empleo en la fabricación de concreto” (Civilgeek, 2014).

“(...) el tamaño máximo esta además muy relacionado con la disposición y facilidades de colocación del concreto en los encofrados así como el tipo de estructura, por lo que se recomienda usualmente que no sea más de $\frac{1}{3}$ del espesor de las losas, $\frac{1}{5}$ de la mínima dimensión de los encofrados, ni más de $\frac{3}{4}$ del espesor mínimo en el acero de refuerzo. (Pasquel, 2002).

2.2.7. Concreto

2.2.7.1. Conceptualización del Concreto

El concreto es el aglomerante constituido por la pasta de cemento y agua, que aglutina a los agregados (arena fina, arena gruesa y piedra chancada), y aire estableciéndose así una resistencia debido a la capacidad de la pasta para adherirse con los agregados y soportar esfuerzos de tracción y compresión a los que trabaja el concreto.

“(...) Estructura básica o matriz, constituida por la pasta de cemento y agua, que aglutina los agregados gruesos, finos, aire y vacíos, estableciendo un comportamiento resistente debido en gran parte a la capacidad de la pasta para adherirse a los agregados y soportar esfuerzos de tracción y compresión, así como a un efecto puramente mecánico propiciado por el acomodo de las partículas internas y sus características propias.” (Pasquel, 2002).

Tipos de Concreto:

A. Concreto Simple.

Es una mezcla de cemento portland, agregado fino, agregado grueso, y agua. En la mezcla el agregado grueso deberá estar totalmente envuelto por la pasta del cemento, el agregado fino deberá rellenar los espacios entre agregado grueso y a la vez estar recubierto por la misma pasta. (Abanto, 2009).

B.- Concreto Armado.

Se denomina así al concreto simple cuando este lleva armaduras de acero como refuerzo y que está diseñado bajo la hipótesis de que los dos materiales trabajan conjuntamente, actuando la armadura para soportar los refuerzos de tracción o incrementar la resistencia a la compresión del concreto. (Abanto, 2009).

C.- Concreto ciclópeo.

Se denomina así al concreto simple que está complementado con piedras desplazadoras de tamaño máximo de 10", cubriendo hasta el 30% como máximo, de volumen total. Las piedras deben ser introducidas previa selección y lavado, con el requisito indispensable que cada piedra, en su ubicación definitiva debe estar totalmente recubierta de concreto simple. (Abanto, 2009).

2.2.7.2. Propiedades principales del concreto fresco

A. Trabajabilidad

Está definida como la mayor o menor dificultad para el mezclado, transporte, colocación y compactación del concreto, su evaluación es relevante, por cuanto depende realmente de las facilidades manuales o mecánicas de que se disponga durante las etapas del proceso, ya que un concreto que puede ser trabajable bajo ciertas condiciones de colocación y compactación no necesariamente resulta tal si dichas condiciones cambian. El método tradicional de medir la trabajabilidad es el "Slump" o asentamiento con el cono de Abrams (Pasquel, 2002)

B. Segregación

Es una 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. Las diferencias de densidades entre los componentes del concreto provocan una tendencia natural a que las partículas más pesadas descendan. Es un fenómeno perjudicial para el concreto, produciéndose en el elemento llenado, bolsones de piedra, capas arenosas, cangrejeras, etc. La segregación está en función de la consistencia de la mezcla, siendo el riesgo mayor cuanto más húmeda es esta, y menor cuanto más seca lo es. Generalmente procesos inadecuados de manipulación y colocación son las causas del fenómeno de segregación en las mezclas (Abanto, 2009).

C. Exudación

Es la propiedad en donde el agua de la mezcla se separa de la masa y esta sube hacia la superficie del concreto, esta propiedad es inevitable en el concreto por lo cual es

importante evaluarla y controlarla en cuanto a los efectos negativos que pudiera tener; la exudación está influenciada por la cantidad de finos en los agregados y la finura del cemento, por lo que cuanto más fina es la molienda de este y mayor es el porcentaje de material menor que la malla N°100 la exudación será menor pues se retiene el agua de mezcla. (Pasquel, 2002)

D. Contracción

Es una de las propiedades más importantes en función de los problemas de fisuración que acarrea con frecuencia. Hemos visto que 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, 2002)

2.2.7.3. Propiedades principales del concreto endurecido

A. Elasticidad

Es la capacidad del concreto de deformarse bajo carga, sin tener deformación permanente, el concreto no es un material elástico estrictamente hablando, ya que no tiene un comportamiento lineal en ningún tramo de su diagrama carga v/s deformación en compresión, sin embargo, convencionalmente se acostumbra definir como “ módulo de elasticidad estático”. Los módulos de elasticidad normalmente oscilan entre 250,000 a 350,000 Kg. /cm², la norma que establece para determinar el módulo de elasticidad estático del concreto se especifica en la ASTM C-469. (Pasquel, 2002)

B. Resistencia

Es la capacidad de soportar cargas o esfuerzos, siendo su mejor comportamiento en compresión en comparación con la tracción, debido a las propiedades adherentes de la pasta de cemento. Depende principalmente de la concentración de la pasta de cemento, que se acostumbra expresar en términos de la relación agua/cemento en peso.

Un factor indirecto pero no por eso menos importante en la resistencia lo constituye el curado, ya que es el complemento del proceso de hidratación sin el cual no se llegan a desarrollar completamente las características resistentes del concreto (Pasquel, 2002).

C. Extensibilidad

Es la propiedad del concreto de deformarse sin agrietarse, se define en función de la deformación unitaria máxima que puede asumir el concreto sin llegar a fisurarse (micro fisuración) (Pasquel, 2002).

D. Durabilidad

Es la resistencia a los agentes externos como las bajas temperaturas, la penetración del agua, desgaste por abrasión, retracción al secado, eflorescencias, agentes corrosivos, o choques térmicos, entre otros, sin deterioro de sus condiciones físico-químicas con el tiempo. El concreto debe ser capaz de resistir a la intemperie, acción de productos químicos y desgaste, a los cuales estará sometido en el servicio. Gran parte de los daños por intemperie sufrido por el concreto pueden atribuirse a los ciclos de congelación y descongelación. La resistencia del concreto a esos daños puede mejorarse aumentando la impermeabilidad incluyendo de 2% a 6% de aire con un agente inclusor de aire, o aplicando un revestimiento protector a la superficie (Abanto, 2009).

E. Impermeabilidad

Es la característica de dejar filtrar ya sea aire o agua. Es una importante propiedad del concreto que puede mejorarse, con frecuencia, reduciendo la cantidad de agua en la mezcla. El exceso de agua deja vacíos y cavidades, después de la evaporación, y, si están interconectadas, el agua puede penetrar o atravesar el concreto. La inclusión de aire así como un curado adecuado por tiempo prolongado, suelen aumentar la impermeabilidad (Abanto, 2009).

2.2.7.4. Diseño de Mezclas

Según (Pasquel, 2002) El diseño de mezclas de concreto, es conceptualmente, la aplicación técnica y práctica de los conocimientos científicos sobre sus componentes y la interacción entre ellos, para lograr un material resultante que satisfaga de la manera más eficiente los requerimientos particulares del proyecto constructivo. Es usual el suponer que esta técnica consiste en la aplicación sistemática de ciertas tablas y proporciones ya establecidas que satisfacen prácticamente todas las situaciones normales en las obras.

“(…) independientemente que las características finales del concreto sean indicadas en las especificaciones o dejadas al criterio del profesional responsable del diseño de la mezcla las cantidades de materiales por metro cubico pueden ser determinadas, cuando se emplea el Método del Comité 211 del ACI”. (Rivva, 2014).

I. Método ACI.

Para el diseño de mezcla se utilizará el método del comité 211 de la ACI, y el método del Módulo de fineza de combinación de agregados, que son procedimientos de diseño de mezclas bastante simples, el cual, basándose en tablas elaboradas, permite obtener valores de los diferentes materiales que integran la unidad cúbica de concreto.

- Consideraciones de la resistencia de diseño.

Cuando no se conoce propiedades estadísticas (Factor de seguridad) y/o registros de resultados de ensayos que posibilite el cálculo de desviación estándar de la resistencia del Concreto, se pueden tomar los siguientes valores:

Tabla 8: Resistencia de Diseño.

si:	$F'c < 210 \text{ Kg/cm}^2$	$\text{.--> } F'cr = (F'c + 70) \text{ Kg/cm}^2$
si:	$210 \text{ Kg/cm}^2 \leq F'c \leq 350 \text{ Kg/cm}^2$	$\text{.--> } F'cr = (F'c + 85) \text{ Kg/cm}^2$
si:	$350 \text{ Kg/cm}^2 < F'c$	$\text{.--> } F'cr = (1.1F'c + 50) \text{ Kg/cm}^2$

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones E.060 (RNE, 2009).

Cuando se conoce las propiedades estadísticas de la resistencia del concreto. Según (López, 2014), $F'cr$ es el mayor obtenido de las siguientes formulas.

➤ $F'cr = F'c + 1.34*Ds$ (Ecuación 01).

➤ $F'cr = F'c + 2.33*Ds - 35$ (Ecuación 02).

Donde:

- $F'c$: Resistencia especificada por el diseñador (planos) (Kg/cm²).
- $F'cr$: Resistencia promedio requerida en obra (Kg/cm²).
- Ds : Desviación Estándar (kg/cm²).

Tabla 9: Factor de Corrección para F'_{cr} .

ENSAYOS	FACTOR DE CORRECCIÓN SEGÚN AL N° ENSAYOS
Menos de 15	(Ecuación 02)
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30	1

Fuente: Diseño de Mezclas - (Rivva, 2014).

- Se utilizará la (Ecuación 02) en el caso de que haya un registro menor a 15 ensayos y no se realiza ninguna multiplicación de factor de corrección.
- Se utilizará el mayor valor de la (Ecuación 01) y (Ecuación 02) en el caso de que haya un registro de 15 a 30 ensayos de forma consecutiva y se multiplicará a la desviación estándar por el factor de corrección de la Tabla anterior y si los valores son intermedios interpolar.

Siendo la desviación estándar representada por la siguiente expresión:

$$Ds = \sqrt{\frac{\Sigma(X - \bar{X}_{\text{prom}})^2}{n - 1}}$$

Donde:

Ds : Desviación Estándar (kg/cm^2).

n : Número de ensayos de la serie.

X : Resultados de resistencia de muestra de ensayo individuales.

\bar{X}_{prom} : Promedio de todos los ensayos individuales de una serie.

El diseño de Mezcla que trabajaremos ACI - 211, está sujeto a las consideraciones del Manual de la Construcción de la Agenda Técnica del (I.C.G., 2016).

2.2.7.5. Las fisuras en el Concreto

La fisuración del hormigón es atribuible a numerosas causas. Las fisuras pueden sólo afectar la apariencia de una estructura, 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. (Grant, 1993).

Tabla 10: Clasificación de los fallos en una edificación.

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

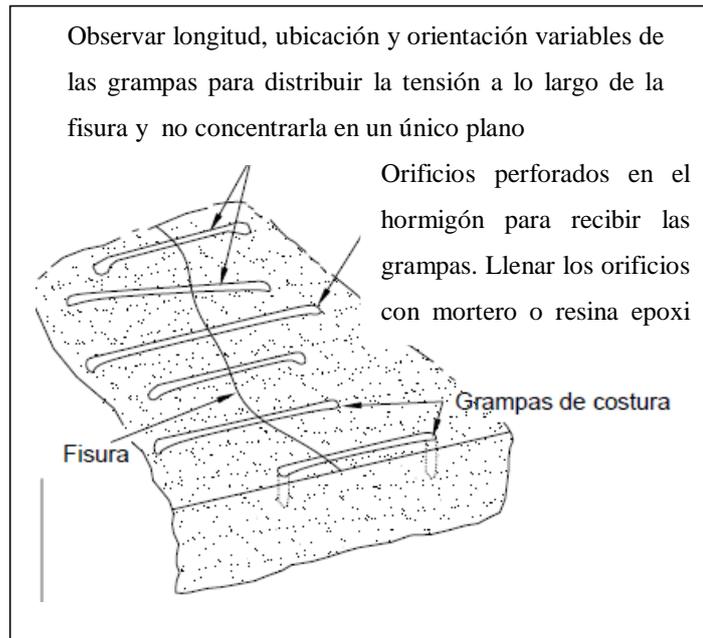
Fuente: http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_122_180_80_1138.pdf.

I. Métodos de reparación de fisuras

a) Costura de fisuras

Coser una fisura consiste en perforar orificios a ambos lados de la fisura, insertar unidades metálicas en forma de U de patas cortas (abrazaderas tipo grampa o bridas de costura) y asegurarlas con mortero como se ilustra en la (figura 8) (Sydney, 1965). Se pueden utilizar costuras cuando es necesario restablecer resistencia a la tracción en fisuras importantes (Hoskins., 1991). Al coser una fisura la estructura tiende a volverse más rígida, y esta rigidez puede aumentar la restricción global de la estructura provocando fisuración en otras partes del hormigón. Por lo tanto, puede ser necesario reforzar la sección o las secciones adyacentes. Debido a que la concentración de tensiones es frecuente, puede ser necesario emplear este método conjuntamente con otros.

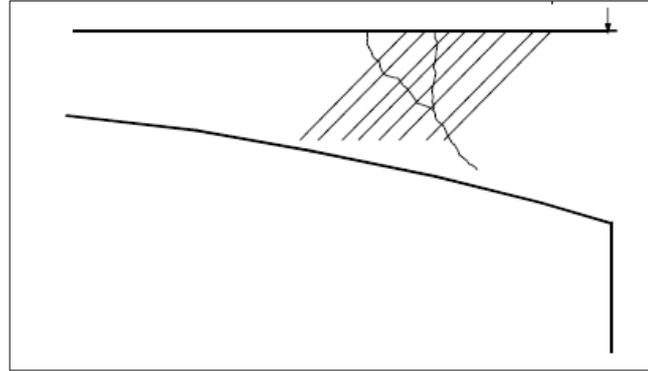
Figura 13: Costura de una fisura.



Fuente: Costura de una fisura. (Sydney, 1965)

b) Armadura convencional – Algunas vigas de hormigón fisuradas de puentes se han reparado exitosamente insertando barras de armadura y asegurándolas con adhesivo epoxi (Stratton & McCollom, 1974). Esta técnica consiste en sellar la fisura, perforar orificios que intersequen el plano de fisuración aproximadamente a 90 grados (Figura 17), inyectar adhesivo epoxi en el orificio y la fisura hasta llenarlos y colocar una barra de armadura en el orificio perforado. Típicamente se usan barras No. 4 ó 5 (10 m ó 15 m), y se las extiende al menos 0,5 m a cada lado de la fisura. La separación de las barras de armadura se selecciona en función de los objetivos de la reparación. Se puede utilizar cualquier patrón de disposición deseado, dependiendo del criterio de diseño y de la ubicación de las armaduras existentes. El material epoxídico adhiere la barra a las paredes del orificio, llena el plano de fisuración, adhiere las superficies de hormigón separadas para formar nuevamente una unidad monolítica y, por lo tanto, refuerza la sección. El material epoxídico utilizado para adherir la fisura nuevamente debería tener muy baja viscosidad y satisfacer los requisitos de ASTM C 881 Tipo IV. (Grant, 1993).

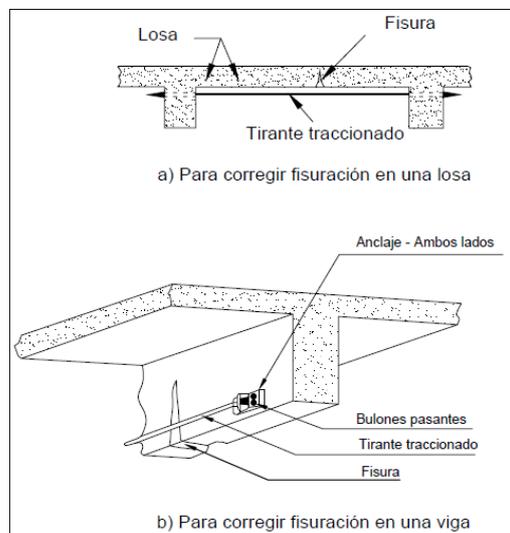
Figura 14: Orientación de la Reparación con barras.



Fuente: ACI 224.1R-93 – causas, evaluación y reparación de fisuras (Grant, 1993).

c) **Acero de pretensado** – A menudo el postensado es la mejor solución disponible cuando se debe reforzar una parte importante del elemento, o cuando se deben cerrar las fisuras que se han formado. Esta técnica emplea barras o cables de pretensado para aplicar una fuerza de compresión. El acero de pretensado se debe anclar adecuadamente, y es necesario realizar el procedimiento cuidadosamente para evitar que el problema simplemente se traslade a otras partes de la estructura. Se deben analizar cuidadosamente los efectos de la fuerza de tesado (incluyendo la excentricidad) sobre las tensiones dentro de la estructura. En el caso de estructuras indeterminadas postensadas mediante este procedimiento se deberían considerar los efectos de los momentos secundarios y reacciones inducidas (Nilson, 1987, pág. 126).

Figura 15: Para corregir fisuración en losa y en viga.



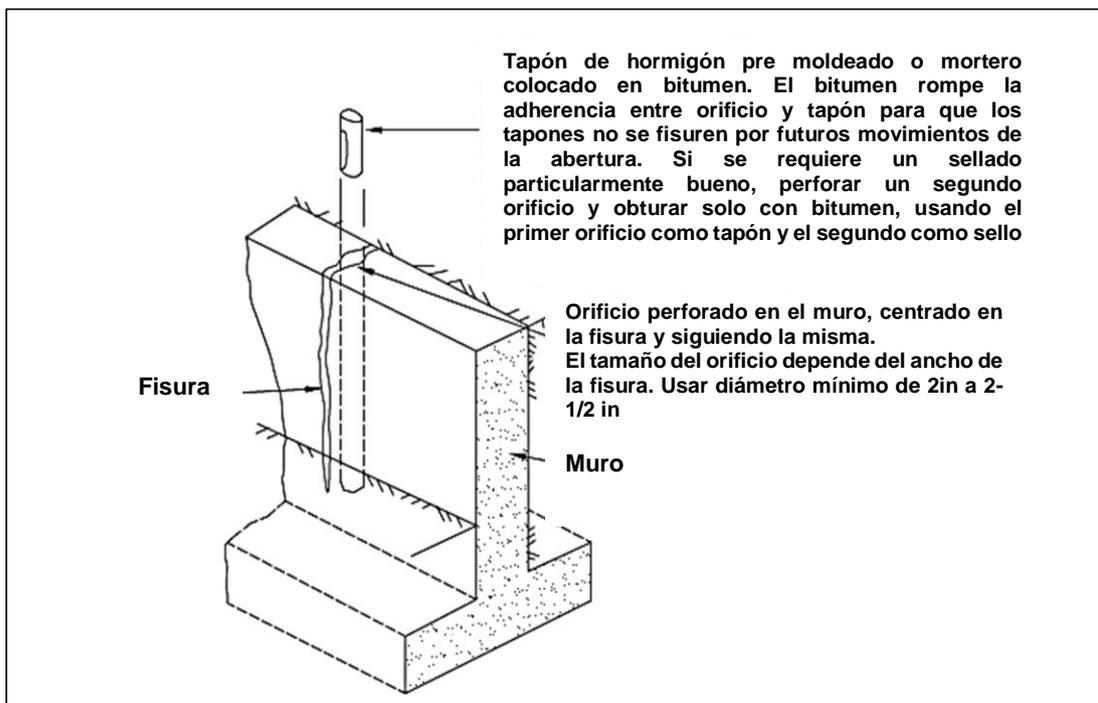
Fuente: Ejemplo de pre tensado (Sydney, 1965).

d) Perforación y obturación.

La perforación y obturación de una fisura consiste en perforar hacia abajo en toda la longitud de la fisura y llenarla con mortero de manera de formar una cuña o tapón. Esta técnica sólo es aplicable cuando las fisuras son de forma razonablemente recta y uno de sus extremos es accesible.

La utilización más frecuente de este método es en la reparación de fisuras verticales en muros de contención. Se debe perforar un orificio (típicamente entre 50 a 75 mm de diámetro), centrado sobre la fisura y siguiendo la misma. El orificio debe ser suficientemente grande para intersecar la fisura en toda su longitud y proveer suficiente material de reparación para absorber estructuralmente las cargas ejercidas sobre el tapón. Luego el orificio se debe limpiar, impermeabilizar y llenar con mortero. El tapón de mortero impide el movimiento transversal de las secciones de hormigón adyacentes a la fisura. También reduce las fugas a través de la misma y la pérdida de suelo de la parte trasera de un muro con fugas (Grant, 1993).

Figura 16: Reparación de una fisura mediante perforación y obturación



Fuente: ACI 224.1R-93 – Causas, evaluación y reparación de fisuras (Grant, 1993).

e) Llenado por gravedad

Se pueden usar monómeros y resinas de baja viscosidad para sellar fisuras con anchos superficiales de entre 0,03 a 2 mm, aplicándolos por el método del llenado por gravedad (Rodler et al., 1989). También se han utilizado exitosamente los metacrilatos de alto peso molecular, uretanos y algunas resinas epoxi de baja viscosidad. Cuanto menor sea la viscosidad, más finas serán las fisuras que se pueden llenar. El procedimiento típico comienza por limpiar la superficie con chorro de aire y/o chorro de agua. Para lograr el mejor llenado posible se debería permitir que las superficies húmedas se sequen durante varios días. El monómero o resina se puede verter sobre la superficie y esparcir empleando cepillos, rodillos o escobas de goma. Debido a que el monómero o la resina penetran en las fisuras lentamente, se debe trabajar el material sobre las fisuras moviéndolo hacia adelante y hacia atrás para lograr el máximo llenado. El exceso de material se debe retirar de la superficie utilizando una escoba para impedir que queden zonas resbaladizas o brillantes luego del curado. Si la textura superficial (fricción) es importante, se debe esparcir arena sobre la superficie antes del curado del mortero o la resina. Si las fisuras contienen gran cantidad de suciedad, humedad u otros contaminantes, el sellador no puede llenarlas. Una solución puede ser limpiar y preparar estas fisuras empleando chorros de agua. Se pueden utilizar testigos extraídos de las fisuras para evaluar la efectividad del llenado de las fisuras. Se puede medir la profundidad de penetración del sellador. Se pueden realizar ensayos de corte (o tracción) aplicando la carga en dirección paralela a las fisuras reparadas (siempre que no haya armaduras presentes en el testigo en el área de falla o cerca de la misma). Para algunos polímeros la fisura de falla ocurrirá fuera de la fisura reparada (Grant, 1993).

f) Llenado con mortero de cemento portland

Las fisuras anchas, particularmente en presas de gravedad y muros de hormigón de gran espesor, se pueden reparar llenándolas con mortero de cemento portland. Este método es efectivo para detener las fugas de agua, pero no unirá estructuralmente las secciones fisuradas. El procedimiento consiste en limpiar el hormigón en las caras de la fisura; instalar asientos armados (boquillas de mortero) a intervalos sobre la fisura (para lograr una conexión con el aparato de inyección que soporte la presión); sellar la fisura entre los asientos utilizando pintura cementicia, sellador o mortero; lavar la

fisura para limpiarla y probar el sellado; y luego llenar toda el área con mortero. Dependiendo del ancho de la fisura, los morteros pueden contener cemento y agua o cemento más arena y agua. Sin embargo, la relación agua-cemento se debe mantener tan baja como sea posible a fin de maximizar la resistencia y minimizar la retracción. Se pueden usar reductores del agua u otros aditivos para mejorar las propiedades del mortero. Para volúmenes pequeños se puede utilizar una pistola de inyección manual; para volúmenes más grandes se debería utilizar una bomba. Una vez llenada la fisura se debería mantener la presión durante varios minutos para asegurar una buena penetración (Grant, 1993).

g) Llenado con mortero químico

Un mortero químico consiste en una solución de dos o más productos químicos (como por ejemplo uretanos, silicatos de sodio y acrilomidas) que se combinan para formar un gel, un precipitado sólido o una espuma, a diferencia de los morteros cementicios que consisten en suspensiones de partículas sólidas en un fluido. Con mortero químico se han llenado fisuras de muy poca abertura, hasta 0,05 mm. (Grant, 1993)

- Las ventajas de los morteros químicos incluyen su aplicabilidad en ambientes húmedos (humedad disponible en exceso), sus amplios límites de control del tiempo de gelificación y la posibilidad de aplicarlos en fisuras muy finas.
- Las desventajas son el elevado grado de capacitación necesaria para emplearlos satisfactoriamente y su falta de resistencia.

h) Impregnación con polímero

Para reparar algunas fisuras se pueden usar sistemas monoméricos. Un sistema monomérico es un líquido compuesto por monómeros que se polimerizarán formando un sólido. Los monómeros adecuados poseen diversos grados de volatilidad, toxicidad e inflamabilidad, y no son aptos para ser mezclados con agua. Tienen muy baja viscosidad y penetran el hormigón seco llenando las fisuras, tal como lo haría el agua. El monómero más frecuentemente utilizado para este propósito es el metacrilato de metilo.

Los sistemas monoméricos utilizados para impregnar contienen un catalizador o iniciador más el monómero básico (o una combinación de monómeros). También pueden contener un agente reticulante. Al calentarlos, los monómeros se unen entre sí, o polimerizan, creando un plástico tenaz, resistente y durable que mejora enormemente varias de las propiedades del hormigón. (Grant, 1993)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es cuantitativa porque nos permite evaluar la realidad en función de parámetros que son medibles, replicables y que estos pueden ser producidos con las mismas condiciones en cualquier momento. Además nos permite hacer uso de datos numérico ([Hernandez, 1999](#)).

La investigación presentada es de tipo cuantitativa, y a la vez aplicada debido a que se ha cuantificado los materiales usados, la cantidad esporas bacterianas e insumos y se midió la resistencia producida en cada caso, teniéndose como producto final la resistencia esperada con el Bioreparador.

3.1.2. Nivel de investigación

Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir miden, evalúan o recolectan datos sobre diversos conceptos (variables), aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno a investigar. En un estudio descriptivo se selecciona una serie de cuestiones y se mide o recolecta información sobre cada una de ellas, para así describir lo que se investiga ([Hernandez, 1999](#))

Así mismo nuestra investigación es correlacional porque nuestras variables están relacionadas y se puede cuantificar la información, sobre los conceptos o las variables aplicadas al estudio de la resistencia del concreto usando Bacterias del genero *Bacillus* como bioreparador.

3.1.3. Método de investigación

Es hipotético deductivo, debido a que se plantearon diversas hipótesis relacionadas con las propiedades y la resistencia de los materiales que se utilizaron en la investigación, las cuales fueron demostradas en base a una serie de procedimientos que nos permiten demostrar la hipótesis, comparándolas con resultados obtenidos.

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1. Diseño metodológico

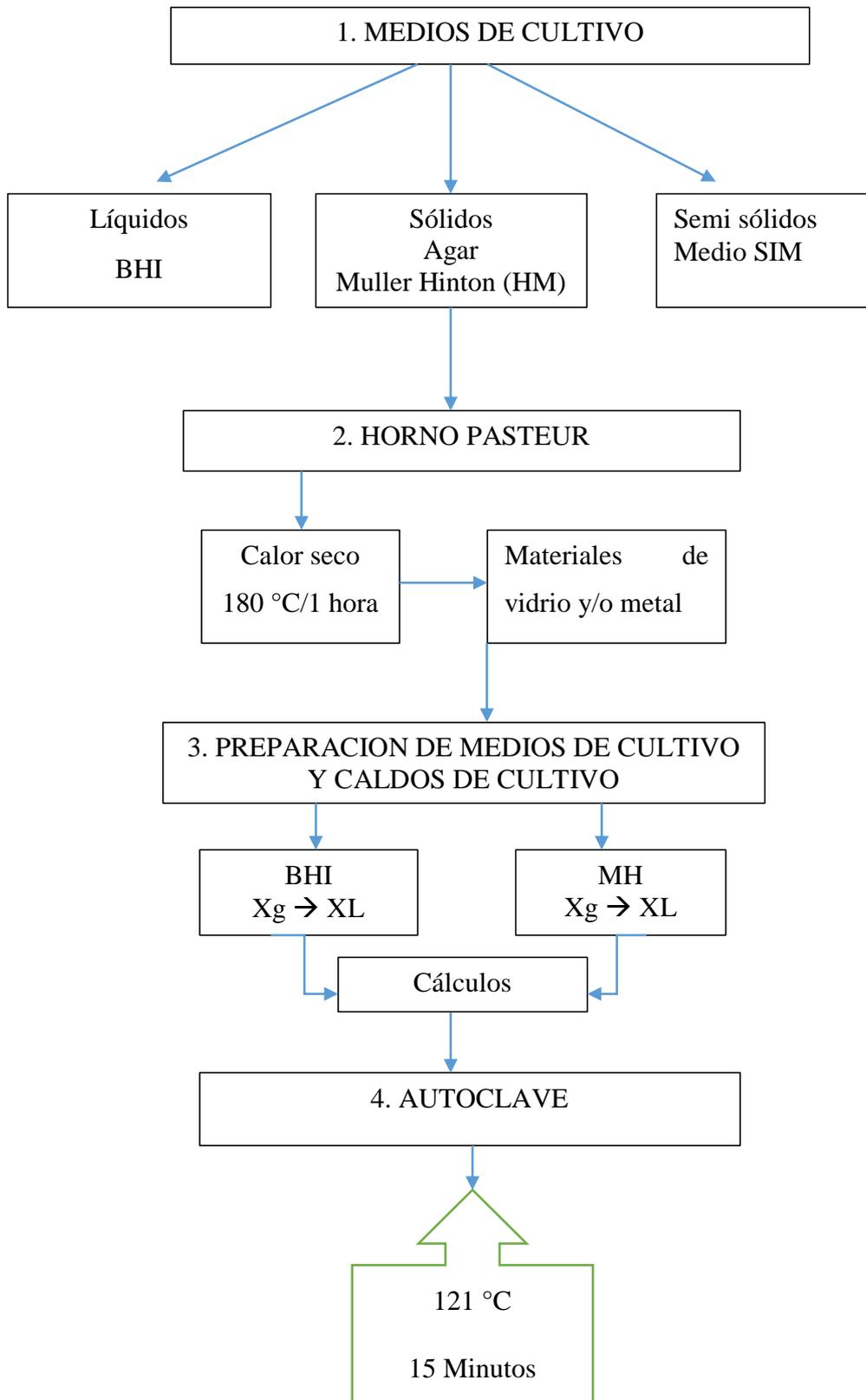
El diseño de la presente tesis es del tipo experimental, porque permite identificar y cuantificar las causas de un efecto en Experimentos Puros, en el cual se realizó: Manipulación intencional de variables, medición, control y grupos de comparación.

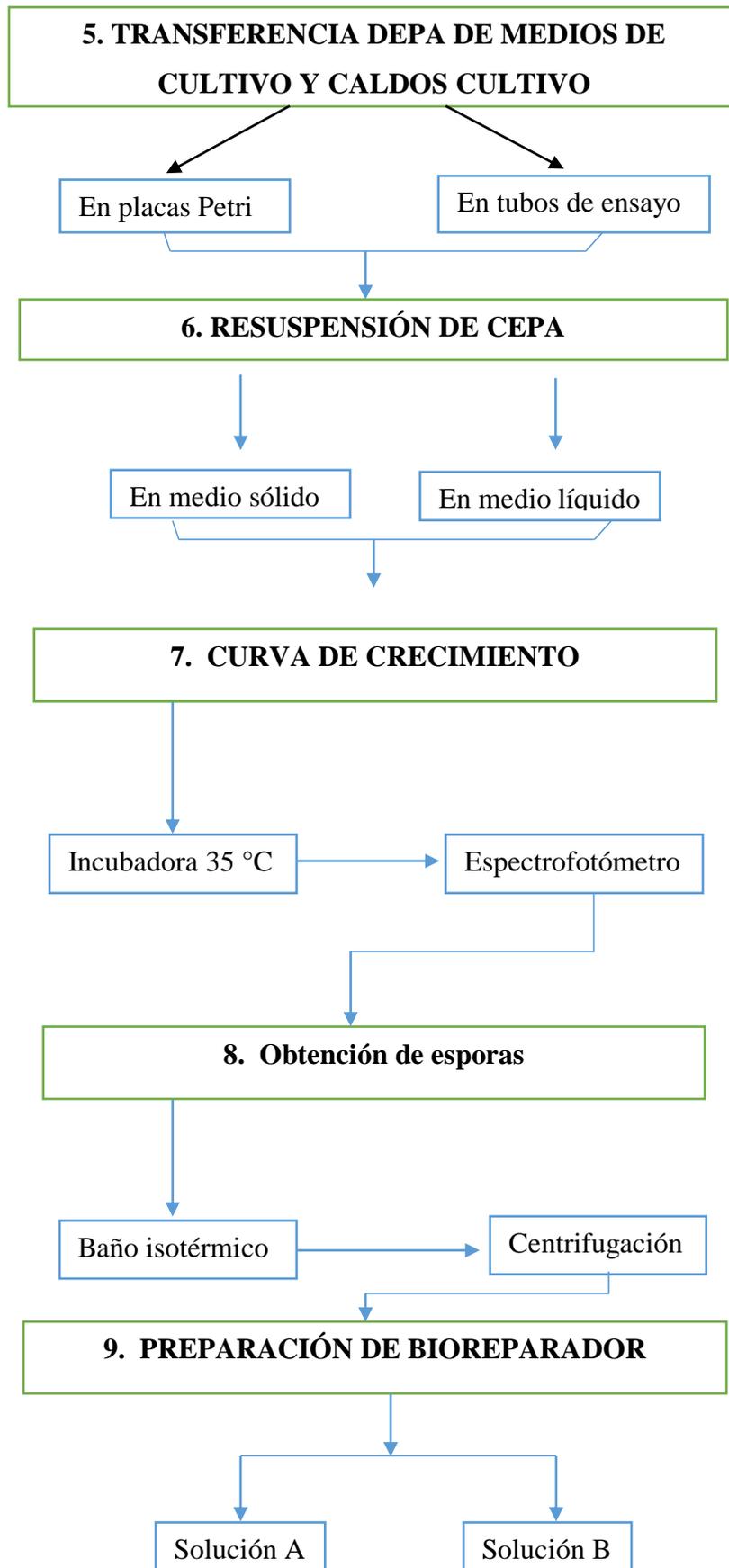
Se tiene dos grupos de objetos con las mismas características. Antes de realizar el experimento se efectuó una pre-prueba, es decir se mide la cualidad que se desea observar en el experimento. A cualquiera de los grupos se le somete al tratamiento experimental. A uno se llama grupo experimental y al otro grupo de control ([Mendoza, 2010](#))

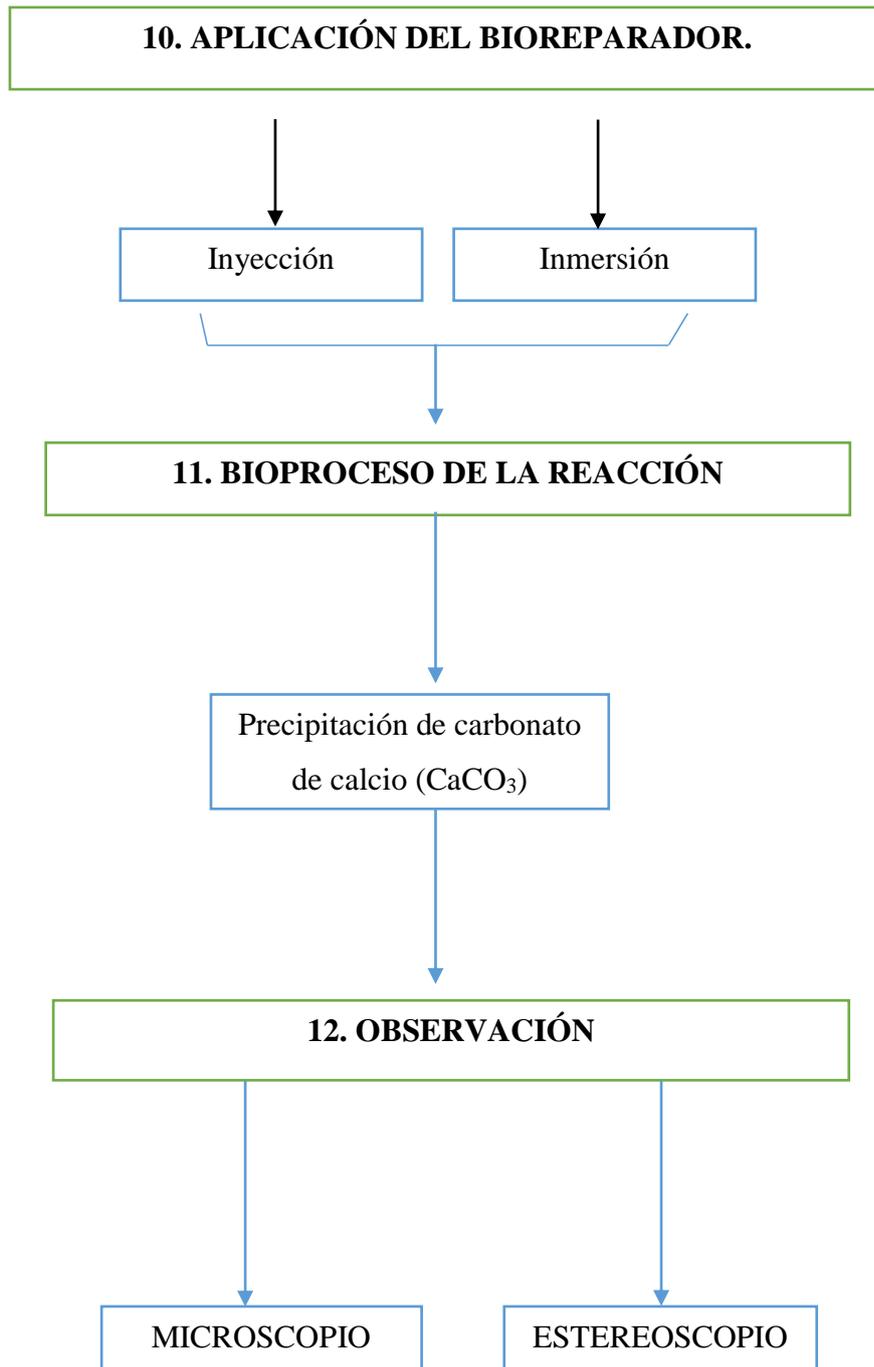
3.2.2. Diseño de Ingeniería

En la secuencia y proceso de desarrollo de la investigación se presentan procedimientos de selección de los materiales e insumos a emplearse, así como la determinación de las propiedades físicas y químicas de los mismos; también se pone en búsqueda la técnica y la metodología de diseño a emplearse. A continuación se muestra la secuencia de la investigación.

DIAGRAMA DE FLUJO - PARTE MICROBIOLÓGICO







I. Definición de las canteras y agregados.

Para la selección del material se obtuvo de los lugares más comerciales; a estos agregados se ha realizado una serie de ensayos, como son: la granulometría, y peso específico para verificar los límites máximos que las normas establecen:

- Para agregados gruesos se ha empleado la NTP.400.013
- Para agregados finos se ha empleado la NTP.400.037

II. Determinación de las propiedades físicas los agregados.

Establecidas las canteras para los agregados se procedió a realizar los ensayos en laboratorio, y se determinaron las propiedades que a continuación se detallan.

Tabla 11: *Propiedades físicas de los agregados.*

Agregado Fino	Agregado Grueso
Módulo de fineza	Peso específico (P.E)
Peso específico (P.E)	Tamaño máximo nominal (TMN)
Porcentaje de absorción (%)	Porcentaje de humedad (%)
Porcentaje de humedad (%)	Porcentaje de absorción (%)
	Peso seco saturado(PSS)

Fuente: Elaboración propia.

III. Determinación del agua de diseño.

Como se describió en el marco teórico el agua es uno de los insumos que tiene mucha importancia en el concreto, para la investigación se ha empleado agua potable que cumple con los estándares de calidad.

IV. Determinación del tipo de cemento.

Según se limita, en el estudio se utilizó solo un tipo de cemento, debido a su uso común en el mercado y en la construcción, cemento portland tipo IP Yura

V. Ensayos en laboratorio, granulometría y propiedades físicas de los agregados.

Se procedió a realizar las pruebas de granulometría y determinación de propiedades físicas de los agregados.

- Cantera de Pisac, para agregado fino.
- Cantera de Vicho, agregado grueso piedra chancada.

VI. Diseño de mezcla (ACI).

Asumimos que se conocen todas las características de los materiales como son el tipo de cemento elegido y sus propiedades, los agregados y sus pesos específicos y pesos unitarios secos, granulometrías, humedades, absorciones.

Los pasos establecidos para el diseño se muestran a continuación.

- 1.- Establecimiento de la cantidad de agua por m^3 de concreto en función de las condiciones de trabajabilidad, el Tamaño Máximo Nominal de los agregados y ocasionalmente el tipo de cemento
- 2.- Definición de la relación agua/cemento en peso en base a la resistencia en compresión solicitada o requisitos de durabilidad.
- 3.- Cálculo de la cantidad de cemento en peso en función de la relación agua /cemento y la cantidad de agua definida en los puntos 1 y 2.
- 4.- Cálculo de los volúmenes absolutos del agua y el cemento.
- 5.- Estimación del porcentaje de aire por m^3 y el volumen absoluto que atraparé el concreto en función de las características granulométricas de los agregados.
- 6.- Obtención del volumen absoluto que ocupan los agregados, restando de $1 m^3$ los volúmenes hallados de cemento, agua y aire.
- 7.- Definición de la proporción en volumen absoluto en que intervendrán el agregado grueso y el fino en la mezcla.
- 8.- Distribución del volumen obtenido en el paso 6 en la proporción definida en el paso 7.
- 9.- Cálculo de los pesos que corresponden a los volúmenes de agregados obtenidos en el paso 8, utilizando los pesos específicos seco.
- 10.- Corrección por humedad y absorción del diseño:
- 11.- Diseño final:
 - Agua final (Kg)
 - Peso Húmedo Piedra (Kg)
 - Peso Húmedo Arena (Kg)
 - Peso de Cemento (Kg)

VII. Elaboración de probetas cilíndricas estándar.

Una vez realizado el diseño se procedió a preparar el concreto, y vaciarlo en moldes cilíndricos de acero, denominados briquetas de dimensiones 10 x 20 cm, Las normas que regulan el procedimiento son la ASTM C-31 y ASTM C.39 o ITINTEC330.36 o 339.034.

VIII. Curado de las probetas de muestreo (briquetas cilíndricas).

Para alcanzar la resistencia deseada es indispensable realizar un buen curado y así reducir el agrietamiento a edades tempranas. Si no se realiza adecuadamente, el concreto se encoge y agrieta desde recién endurecido, y su resistencia puede ser 30% menor. Existen varios sistemas para curar, empleándose el más eficiente: Se han inundado los elementos totalmente con agua limpia: Manteniendo el concreto saturado con agua; se ha regado constantemente durante 7 días.

IX. Ejecución de pruebas de compresión axial a las briquetas.

Los especímenes se sometieron a compresión axial, a los 7 días de su vaciado, luego a los 14 días, 21 días y por ultimo a los 28 días.

X. Aplicación del bioreparador.

Luego de efectuar los ensayos en laboratorio y haber recolectado todos los datos necesarios se procedió a la inyección con las soluciones A (Gluconato de sodio, extracto de levadura, silicato de sodio, esporas de bacterias), B_N (esporas bacterianas más nitrato de calcio) y B_L (esporas bacterianas más lactato de calcio), luego evaluarlas a los 7 días de su vaciado, luego a los 14 días, 21 días y por ultimo a los 28 días.

XI. Análisis y procesamiento de resultados.

Luego de efectuar los ensayos en laboratorio y haber recolectado todos los datos necesarios se procedió al procesamiento en gabinete y finalmente al análisis de los datos.

XII. Conclusiones y recomendaciones.

En la etapa final se sacaron las conclusiones de la investigación realizada y las recomendaciones correspondientes, o ampliaciones en su estudio.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. Población

3.3.1.1. Descripción de la población

La población para nuestra investigación se realizó con probetas de concreto $f'c$: 210 kg/cm² las cuales fueron fisuradas y se le aplicó la solución bioreparadora a base de bacterias. Para esta población se utilizó un conjunto de probetas fisuradas bioreparadas curadas con agua y con solución bioreparadora.

3.3.1.2. Cuantificación de la población

La investigación tiene un total de 144 probetas-testigos de concreto realizadas en laboratorio, para el concreto patrón y para el concreto fisurado y sus dos Tipos de Solución de Bioreparador y sus dos tipos de curado, ver la siguiente tabla.

Tabla 12: Población de probetas diseñadas.

PROBETAS DISEÑADAS PARA LOS ENSAYOS (CONCRETO $f'c$: 210 kg/cm²)	CANTIDAD
PROBETAS-TESTIGOS PARA PRUEBAS DE CONTROL:	
Probetas de Concreto para resistencia de concreto.	24
Probetas de Concreto fisuradas como Patron (Sin Bioreparador)	24
PROBETAS-TESTIGOS PARA PRUEBAS EXPERIMENTALES CURADAS CON SOLUCIÓN NITRATO (N)	
Probetas de Concreto fisuradas + Bioreparador (Solución Nitrato de Calcio) Curadas con Bioreparador	24
Probetas de Concreto fisuradas + Bioreparador (Solución Nitrato de Calcio) Curadas con agua.	24
PROBETAS-TESTIGOS PARA PRUEBAS EXPERIMENTALES CURADAS CON SOLUCIÓN LACTATO (L)	
Probetas de Concreto fisuradas + Bioreparador (Solución Lactato de Calcio) Curadas con Bioreparador	24
Probetas de Concreto fisuradas + Bioreparador (Solución Lactato de Calcio) Curadas con agua	24
TOTAL:	144

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2. Muestra

3.3.2.1. Descripción de la muestra

La muestra son los elementos que se estudiaron en la presente investigación y los resultados se generalizaron a toda la población, es entonces la muestra de la presente investigación para el análisis la resistencia del concreto utilizando bioreparador coincide con la población.

3.3.2.2. Cuantificación de la muestra

Para la cuantificación de la muestra se utilizó 144 testigos en toda la cuantificación de la prueba y de los resultados, para el concreto patrón y para el concreto fisurado y sus dos Tipos de Solución bioreparadora y sus dos tipos de curado.

Tabla 13: Numero de pruebas experimentales.

<u>PRUEBAS EXPERIMENTALES</u>				
Edades (días)	7 días	14 días	21 días	28 días
Control de Resistencia del Concreto	06 Briquetas	06 Briquetas	06 Briquetas	06 Briquetas
Probetas de Concreto fisuradas como patrón (Sin Bioreparador)	06 Briquetas	06 Briquetas	06 Briquetas	06 Briquetas
PROBETAS-TESTIGOS PARA PRUEBAS EXPERIMENTALES CURADAS CON SOLUCIÓN NITRATO (N):				
Probetas de Concreto fisuradas + Bioreparador (Solución Nitrato de Calcio) Curadas Con Bioreparador	06 Briquetas	06 Briquetas	06 Briquetas	06 Briquetas
Probetas de Concreto fisuradas + Bioreparador (Solución Nitrato de Calcio) Curadas Con Agua	06 Briquetas	06 Briquetas	06 Briquetas	06 Briquetas
PROBETAS-TESTIGOS PARA PRUEBAS EXPERIMENTALES CURADAS CON SOLUCIÓN LACTATO (L)				
Probetas de Concreto fisuradas + Bioreparador (Solución Lactato de Calcio) Curadas con Bioreparador.	06 Briquetas	06 Briquetas	06 Briquetas	06 Briquetas
Probetas de Concreto fisuradas + Bioreparador (Solución Lactato de Calcio) Curadas con Agua	06 Briquetas	06 Briquetas	06 Briquetas	06 Briquetas
Total de Briquetas	36 Briquetas	36 Briquetas	36 Briquetas	36 Briquetas
<u>TOTAL</u>	Total: 144 briquetas			

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2.3. Método de muestreo

El método de muestreo es dirigido e intencional por conveniencia, ya que se fabricaron los elementos de estudio (briquetas) y no hubo una selección al azar, ni probabilísticas, se utilizaron todos los elementos fabricados.

3.3.2.4. Criterios de evaluación de muestra

Se realizó en función del ensayo de la resistencia a la compresión axial aplicadas a las muestras de probetas cilíndricas, para ello, los componentes de estos testigos cumplieron los requisitos según Normas Técnicas Peruanas establecidas y con el ACI (Instituto Del Concreto Americano) para su diseño de Mezclas.

Cada briqueta, tuvo las medidas estandarizadas, para este caso testigo cilíndrico con diámetro de 15 cm y altura de 30 cm, así mismo las muestras no sufrieron alteración alguna.

Cada briqueta, fue elaborada y curada a inmersión según lo estipula la Norma (N.T.P. 339.033, 2009), para el ensayo de Resistencia a la Compresión, realizada la prueba en la máquina de compresión axial según lo estipulado en la norma (N.T.P. 339.034, 2013).

3.3.3. Criterios de inclusión

- Los elementos muestrales fueron fabricados con la mezcla de los agregados finos cantera de Pisac y agregados gruesos de la cantera de Vicho (piedra chancada de ½").
- Los elementos muestrales fueron fabricados con cemento portland Tipo IP, de la empresa YURA
- Los elementos muestrales fueron fabricados con agua potable.
- El Bioreparador a base de bacterias *Bacillus Subtilis* y Aditivos Químicos.

3.4. INSTRUMENTOS EMPLEADOS EN LA INVESTIGACIÓN

3.4.1. Instrumentos metodológicos - formatos

- Formato Excel para el cálculo de las curvas granulométricas para agregado fino. (Formato N°01)
- Formato Excel para el cálculo de las curvas granulométricas para agregado grueso. (Formato N°02)
- Formato Excel para el cálculo del Peso Específico del agregado fino y agregado grueso. (Formato N°03)
- Formato Excel para el cálculo del Peso Unitario del agregado Fino y del agregado grueso. (Formato N°04)
- Formato Excel para el cálculo del Porcentaje de Humedad del agregado fino y del agregado grueso. (Formato N°05)
- Formato Excel para el cálculo del Porcentaje de Humedad y Porcentaje de Absorción del agregado grueso. (Formato N°05)
- Formato Excel para el cálculo de Resistencia a compresión Patrón los 07, 14, 21 y 28 días. (Formato N°06)

Tabla 14: Formato Excel para el cálculo de las curvas granulométricas para agregado fino.

Formato N° 01

 <div style="display: inline-block; text-align: center;"> <p>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</p> <p>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</p> <p>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</p> </div> 				
Análisis Granulométrico para Agregado Fino				
NOMBRE DE LA TESIS	"ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO UTILIZANDO BACTERIAS DEL GÉNERO BACILLUS Y BIOPOLÍMEROS COMO BIOREPARADOR, CUSCO - 2016"			
Muestra:			Fecha:	
Clima:			Procedencia/Ciudad:	
Malla	Peso Retenido	% Retenido	%Retenido	% Pasante
	(gr.)		Acumulado	Acumulado
3"				
2 1/2"				
2"				
1 1/2"				
1"				
3/4"				
1/2 "				
#4				
#8				
#16				
#30				
#50				
#100				
#200				
Total			Módulo de Fineza =	
Observaciones: _____				

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 15: Formato Excel para el cálculo de la granulometría para agregado grueso.
Formato N° 02**

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil 				
Análisis Granulométrico para Agregado Grueso				
NOMBRE DE LA TESIS		"ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO UTILIZANDO BACTERIAS DEL GÉNERO BACILLUS Y BIOPOLÍMEROS COMO BIOREPARADOR, CUSCO - 2016 "		
Muestra:			Fecha:	
Clima:			Procedencia/Ciudad:	
Malla	Peso Retenido	%Retenido	%Retenido	%Pasante
	(gr.)		Acumulado	Acumulado
3"				
2 ½"				
2"				
1 ½"				
1"				
¾"				
½"				
#4				
#8				
#16				
#30				
#50				
#100				
#200				
<#200				
Total			Módulo de Fineza =	
Observaciones: _____				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16: Formato Excel para el cálculo del Peso Específico del agregado fino y agregado grueso.

Formato N° 03

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil 			
PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO Y GRUESO			
NOMBRE DE LA TESIS		"ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO UTILIZANDO BACTERIAS DEL GÉNERO BACILLUS Y BIOPOLÍMEROS COMO BIOREPARADOR, CUSCO -2016 "	
TOMA DE DATOS, PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO CANTERA DE PISAC			
Síbolo	DESCRIPCIÓN	M-1	Und.
500	Muestra Saturado con Superficie Seca.		gr
$W_o =$	Peso en el aire de la muestra secada en el horno.		gr
$V_f =$	Volumen de la Fiola		cm ³
$V_a =$	Volumen de Agua añadida a la Fiola con Probeta graduada.		cm ⁴
Observaciones: _____			

SÍMBOLO	AGREGADO GRUESO - Cantera de Vicho	M -1	Und
	Peso de la muestra saturada dentro del agua + canastilla.		gr
	Peso de la Canastilla Dentro del Agua.		gr
A =	Peso de la M uestra Seca		gr
B =	Peso de la M uestras Saturada Superficialm ente Seca		gr
C =	Peso de la M uestra Saturada dentro del Agua		gr
Observaciones: _____			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17: Formato Excel para el cálculo del Peso Unitario para el agregado Fino y para el agregado grueso.

Formato N° 04

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil 						
PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO Y PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO						
NOMBRE DE LA TESIS	"ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO UTILIZANDO BACTERIAS DEL GÉNERO BACILLUS Y BIOPOLÍMEROS COMO BIOREPARADOR, CUSCO - 2016"					
PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO						
DATOS :	AGREGADO GRUESO - CANTERA VICHO	M -1	M -2	M -3	PROMED.	Und.
T :	Peso del Envase					gr
V :	Volumen del Envase					cm ³
Gsc :	Envase + Muestra (SIN Compactar)					gr
Gsc - T :	Muestra (SIN Compactar)					gr
Gco :	Envase + Muestra (COM PACTADO)					gr
Gco - T :	Muestra (COM PACTADO)					gr
Observaciones: _____						
PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO						
DATOS :	AGREGADO FINO PISAC	M -1	M -2	M -3	PROMED.	Und.
T :	Peso del Envase					gr
V :	Volumen del Envase					cm ³
Gsc :	Envase + Muestra (SIN Compactar)					gr
Gsc - T :	Muestra (SIN Compactar)					gr
Gco :	Envase + Muestra (COM PACTADO)					gr
Gco - T :	Muestra (COM PACTADO)					gr
Observaciones: _____						

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18: Formato Excel para el cálculo del Porcentaje de Humedad del agregado fino y del agregado grueso.

Formato N° 05

 <div style="display: inline-block; text-align: center; vertical-align: middle;"> <p>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</p> <p>Facultad de Ingeniería y Arquitectura</p> <p>Escuela Profesional de Ingeniería Civil</p> </div> 						
CONTENIDO DE HUMEDAD						
NOMBRE DE LA TESIS	“ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO UTILIZANDO BACTERIAS DEL GÉNERO BACILLUS Y BIOPOLÍMEROS COMO BIOREPARADOR, CUSCO - 2016”					
AGREGADO FINO						
Símbolo	DESCRIPCIÓN	M-1	M-2	M-3	Promedio	Und.
W=	Peso de la Muestra en estado Natural.					gr
D=	Peso de la Muestra Seca después del horneado.					gr
Observaciones: _____						
AGREGADO GRUESO						
Símbolo	DESCRIPCIÓN	M-1	M-2	M-3	Promedio	Und.
W=	Peso de la Muestra en estado Natural.					gr
D=	Peso de la Muestra Seca después del horneado.					gr
Observaciones: _____						

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2. Instrumentos de Ingeniería

- Máquina a compresión, capacidad máxima de compresión
- Horno Eléctrico, Temperatura máxima de cocción: 210 °C.
- Juego de tamices estándar de bronce, marca E.L.E.
- Moldes de briquetas de Ø 0.10 cm y altura H 0.20 cm.
- Balanza digital Henkel de 30kg +/- 0.01kg
- Cono de Abrahams para medir la consistencia del concreto en estado fresco.
- Es una mezcladora de concreto tipo trompo.

3.5. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1. Esterilización y preparación de medios de cultivo

a) Equipos y materiales utilizados en la prueba.

- Equipo de protección personal (mandil, gorra, gafas, barbijo, guantes)
- Autoclave para la esterilización de material
- Horno Pasteur
- Destilador de agua
- Estufa eléctrica
- Balanza analítica
- 2 espátulas
- Probetas graduadas, de 100 mL, 250 mL, 500mL y 1000 mL
- Botellas para preparación de medios de cultivo de 200, 400, 1000 mL
- Pabilo de algodón
- Rollo de papel kraft
- Rollo de papel aluminio
- Rollo de papel toalla
- Agua destilada
- Agar BHI
- Alcohol 70%.
- Lejía 10%.
- Marcador vidriográfico.

b) Procedimiento

1. Todo material de vidrio se esterilizó con calor seco con el "horno Pasteur", se sometió a temperaturas de 180 °C durante 1h.
2. Se calibró la balanza analítica para pesar los medios de cultivo. Se pesó 37 g de caldo de cultivo BHI para 1 litro de agua destilada, así mismo 36.5 g/L de medio de cultivo MH.

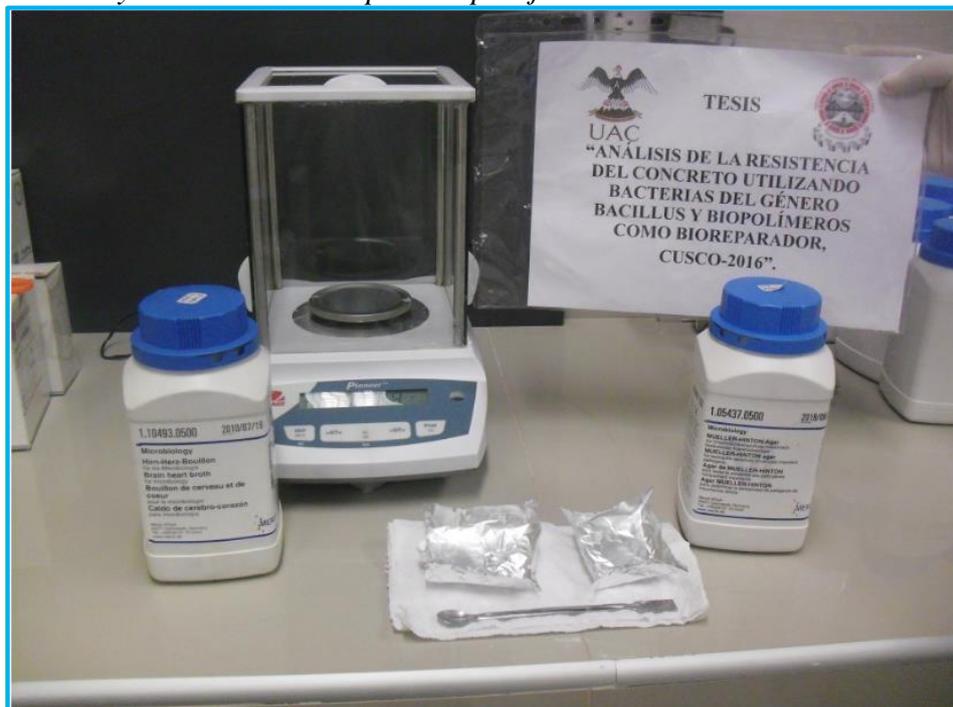
Figura 17: *Proceso de calibración de la balanza analítica.*



Fuente: Elaboración propia.

3. Se realizó los pesajes correspondientes para la preparación de los medios de cultivo, en este caso se usó los medios BHI y MH.

Figura 18: *Medios y caldos de cultivo para su pesaje.*



Fuente: Elaboración propia.

- Se pesó la cantidad de 37 g/L. de caldo BHI sobre un papel aluminio, según las indicaciones del fabricante, cabe mencionar que, se midieron en diferentes cantidades hasta sumar un total de 37g/L.

Figura 19: Proceso del pesado del medio BHI.



Fuente: Elaboración propia.

- Se midió el volumen de agua destilada en una probeta graduada de 1000 mL de capacidad.

Figura 20: Preparación y medida de agua destilada.



Fuente: Elaboración propia.

6. Se agregó agua destilada y caldo BHI. a cada botella de vidrio graduada. 7.4 g de BHI a 200 mL. de agua destilada, 14.8 g de BHI a 400 mL. de agua destilada y 37 g de BHI a 1000 mL. de agua destilada.

Figura 21: *Proceso de preparación y dilución de los medios de cultivo.*



Fuente: Elaboración propia.

7. La preparación del medio de cultivo, se rehidrató (con agua destilada, en una botella graduada) y se llevó a ebullición mediante una cocinilla.

Figura 22: *Ebullición del medio de cultivo.*



- Se esterilizó en autoclave la botella del medio de cultivo, sin cerrar totalmente la tapa rosca y se llevó a una temperatura de 121 °C por 15 minutos.

Figura 23: Esterilización mediante autoclave.



Fuente: Elaboración propia.

Cuando el autoclave llegue a una temperatura de 121 °C, se debió mantener constante a esta temperatura durante 15 minutos. Finalizado el tiempo, se deja enfriar por 15 minutos aproximadamente abriendo la válvula de escape de vapor del autoclave ligeramente.

- Después se retiraron los medios de cultivo del autoclave, se enroscó la tapa por completo y se introdujo la botella en un baño a 45 °C / 30 minutos.

Figura 24: Disminución a temperatura ambiente de los medios de cultivo.



Fuente: Elaboración propia.

3.5.2. Preparación de medios de cultivo

a) Equipos y materiales utilizados en la prueba.

- Equipo de protección personal (mandil, gorra, gafas, barbijo, guantes)
- Medios de cultivo
- Cabina de flujo laminar
- Mechero de Bunsen
- Encendedor
- Placas Petri de 100 mm x 20 mm. estériles
- Gradillas para tubos de ensayo
- Parafilm "M" (cinta adhesiva)
- Alcohol 70%
- Legía al 10 %
- Marcador vidriográfico.

b) Procedimiento

1. Finalizada la esterilización de los caldos y medios de cultivo en autoclave, se llevó a cámara de flujo laminar para esterilizar con rayos UV.

Figura 25: Esterilización en cámara de flujo laminar.



Fuente: Elaboración propia.

2. Se vertió 20 mL de agar en las placas Petri estériles. Todo ello dentro de una cabina de flujo laminar y en el radio de esterilidad del mechero, flameando bien la boca de la botella graduada para evitar las contaminaciones.

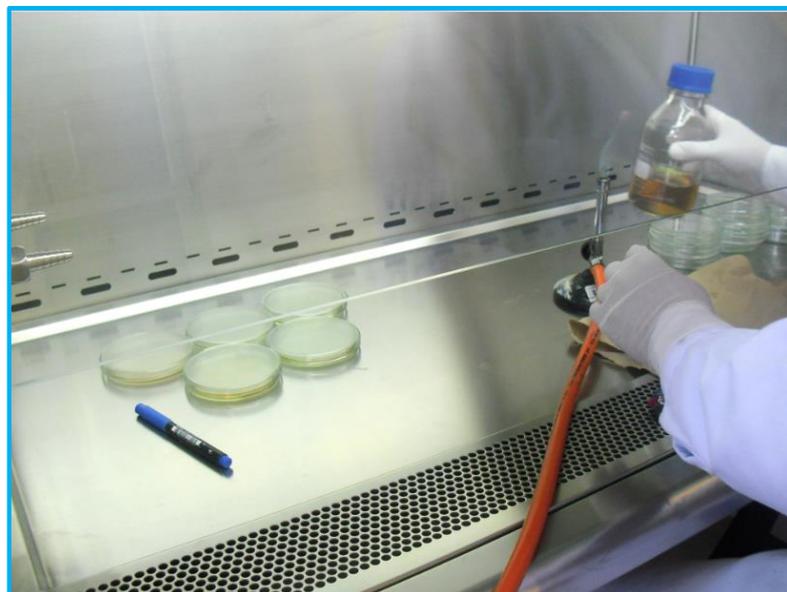
Figura 26: *Transferencia de los medios de cultivo a placas Petri y tubos de ensayo.*



Fuente: Elaboración propia.

3. Los medio ya esterilizados, no se expusieron al ambiente, para evitar su contaminación. Estos solo fueron abiertos en condiciones de cabina de flujo laminar en el momento de su uso.

Figura 27: *Esterilización mediante un mechero bunsen en cada momento de trabajo con los medios de cultivo.*



Fuente: Elaboración propia.

4. Se dejó que el medio en placas Petri se solidifique, posteriormente se conservó en un envase hermético dentro de la refrigeradora de 2 - 8 °C.

Figura 28: Medios de cultivo en placas Petri dentro de envases cerrados.



Fuente: Elaboración propia.

5. Todos los medios se guardaron dentro de una refrigeradora de 4 – 8 °C.

3.5.3. Resuspensión de cepa (inoculación y siembra)

a) Material Biológico

Las cepas resistentes a la alcalinidad fueron adquiridas de la empresa GenLab. La cepa de la presente investigación, pertenece al banco de cepas del laboratorio de Gen Lab del Perú S.A.C.

El microorganismo utilizado en nuestra investigación fue *Bacillus subtilis* derived from ATCC® 11774™*.

La cepa tiene el siguiente código: H03873-A

El producto es: KWIK-STIK™ *Bacillus subtilis* derived from ATCC® 11774™* (COD MICROBIOLOGICS: 0269P)

b) Equipos y materiales utilizados en la prueba

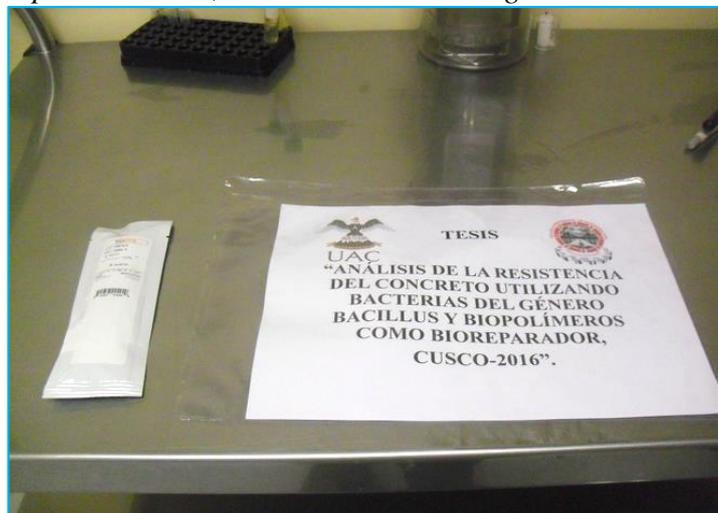
- Equipo de protección personal (mandil, gorra, gafas, barbijo, guantes)
- Refrigeradora
- Mechero de Bunsen
- Encendedor.
- Placas Petri de 100 mm x 20 mm.
- Tubos de ensayo 200 mm x 15 mm.
- Gradillas para tubos de ensayo.
- Asa bacteriológica de siembra.
- Aguja bacteriológica de inoculación.
- Parafilm "M" (cinta adhesiva)
- Rollo de papel toalla.
- Agua destilada.
- Alcohol 70%.
- Lejía 10%.
- Marcador vidriográfico.

c) Procedimiento

➤ Siembra en placas Petri por la técnica agotamiento por estrías

1. La cepa de bacteria que se conservó en refrigeradora de 2 - 8 °C, se tomó para la resuspensión.

Figura 29: Cepa bacteriana, utilizada en la investigación de la tesis.



Fuente: Elaboración propia.

2. Se sacó de la refrigeradora el medio solidificado en placas Petri y el medio líquido en tubos de ensayo, para resuspender las bacterias sobre ello.

Figura 30: Ceba bacteriana y medios solidificados y líquidos para la resuspensión.



Fuente: Elaboración propia.

3. Se trabajó con material abierto, encima de una mesa esterilizada a lado de un mechero Bunsen, esto con la finalidad de evitar la contaminación de la cepa bacteriana.

Figura 31: Trabajo en condiciones asépticas.



Fuente: Elaboración propia.

4. Se esterilizó el asa de siembra y se enfrió en las proximidades del mechero por 10 a 20 segundos. la esterilización también se lleva a cabo con la finalidad de evitar la presencia de otro tipo de microorganismos que puedan alterar nuestra investigación.

Figura 32: Esterilización del asa de siembra.



Fuente: Elaboración propia.

5. Se tomó muestra del inóculo sin contaminar la superficie del medio, en la parte que hubo crecimiento, sin penetrar en el medio con el asa.
6. Se transfirió el inóculo a un área pequeña de la superficie de la placa, próxima al borde y se extendió formando estrías (zigzag) muy juntas sobre la superficie de una porción pequeña de la placa.

Figura 33: Resuspensión del inóculo en medio sólido.



Fuente: Elaboración propia.

7. Se flameó el asa de siembra y se enfrió. Luego se procedió a rozar, una vez con el asa de siembra, las estrías sembradas la primera vez. Se realizó sobre una porción pura de la placa por segunda vez, sin tocar la primera.

Figura 34: Siembra de la cepa bacteriana en placas Petri.



Fuente: Elaboración propia.

8. Se flameó y enfrió el asa de siembra.
9. Se cerró la placa Petri y se conservó en refrigeradora a temperatura entre 4 – 8 °C. hasta el momento del uso.

➤ **Técnicas de inoculación en medios contenidos en tubos**

1. Se trabajó con material abierto y con mecheros Bunsen.
2. Se mantuvo inclinado el tubo que contenía el cultivo que se transfirió, para que los microorganismos del aire caigan en las paredes externas del tubo y no en la boca de este.

Figura 35: Transferencia de la cepa a tubos de ensayo con medios de cultivo.



Fuente: Elaboración propia.

3. Los tapones se mantuvieron en la mano contraria a aquella que contenía el tubo, sosteniéndolos entre el dedo meñique y el anular. No deben colocarse sobre la mesa de trabajo o algún otro lugar.

Figura 36: *Proceso de inoculación en el tubo de ensayo.*



Fuente: Elaboración propia.

4. Se Flameó la boca del tubo antes de cerrarlo después de la siembra e inoculación.
5. Se esterilizó la aguja adecuadamente (toda la porción que entra en contacto con el medio de cultivo).

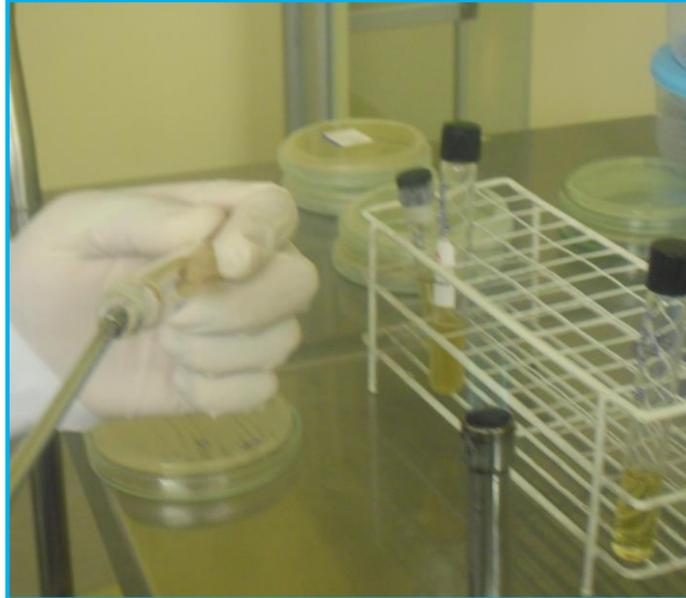
Figura 37: *Esterilización de la aguja de siembra.*



Fuente: Elaboración propia.

6. Se sumergió la aguja de siembra en el medio de cultivo, sin tocar las paredes del tubo, para que no se contamine con microorganismos del medio, esto se realizó en condiciones de esterilidad.

Figura 38: *Proceso de inoculación de cepas.*



Fuente: Elaboración propia.

7. Se enfrió la aguja en una parte del medio, sin deteriorar el mismo.
8. Después de realizar la siembra, se esterilizó el asa y se flameó nuevamente la boca del tubo y se colocó la misma tapa a cada tubo.
9. La aguja bacteriológica se flameó de nuevo para destruir organismos restantes.
10. Se conservó en refrigeradora de 2 – 8 °C.

3.5.4. Curva de crecimiento bacteriano

a) Equipos y materiales utilizados en la prueba

- Equipo de protección personal (mandil, gorra, gafas, barbijo, guantes)
- Incubadora.
- Espectrofotómetro
- Puntas con filtro estéril para micropipetas (tips)
- Mechero de Bunsen
- Fósforo
- Micropipetas de 2- 20 μ l, 20 – 200 μ l, 100 – 1000 μ l.

- Vasos de precipitado, de 200 mL, 400 mL, 600 ml.
- Botellas graduada con medios de cultivo de 200, 400, 1000 mL
- Tubos de ensayo 200 mm x 15 mm. (5 mL de cultivo bacteriano)
- Gradillas para tubos de ensayo.
- Rollo de papel toalla
- Parafilm "M". (cinta adhesiva)
- Alcohol 70%.
- Lejía 10%
- Agua destilada
- Marcador vidriográfico.

b) Procedimiento

1. En condiciones asépticas mediante una micropipeta (capacidad 1000 μ L) se realizó la siembra de un subcultivo o repique la cantidad de 50 μ L. extraídos, de un cultivo bacteriano (5 mL) a una botella graduada de 200 mL (caldo BHI).

Figura 39: Siembra en los medios de cultivo BHI.



Fuente: Elaboración propia.

2. Se eliminó el filtro estéril para micropipetas (tips), en un vaso de precipitado de 200 mL. que contenía lejía al 10% y la boca de la botella graduada se esteriliza cerca al mechero bunsen y se tapó.
3. En el momento de tiempo cero ($t=0$) se tomó del medio bacteriano (caldo BHI + inóculo de *Bacillus subtilis*) 1 mL de solución para leer mediante el espectrofotómetro la cantidad de concentración de colonias bacterianas.
4. Se llevó a incubadora a 35 °C. el medio bacteriano de 200 mL de 24 – 48 horas.
5. En cada hora se controló mediante el espectrofotómetro para verificar la concentración de bacterias, con estos datos se construyó la curva de crecimiento.

Figura 40: Proceso de lectura de la concentración de bacterias mediante un espectrofotómetro.



Fuente: Elaboración propia.

6. Se tomó como referencia la cantidad de horas que ha tenido su máxima concentración de colonias, ese dato (número de horas) es el valor referencial que utilizamos para trabajar la obtención de esporas bacterianas, porque hubo la mayor concentración de bacterias de *Bacillus subtilis*.
- c) Toma de datos de curva de crecimiento.
- Se tomaron datos a cada hora, mediante la lectura de un espectrofotómetro, los mismos que nos permitieron verificar la concentración de bacterias.

3.5.5. Obtención de esporas bacterianas

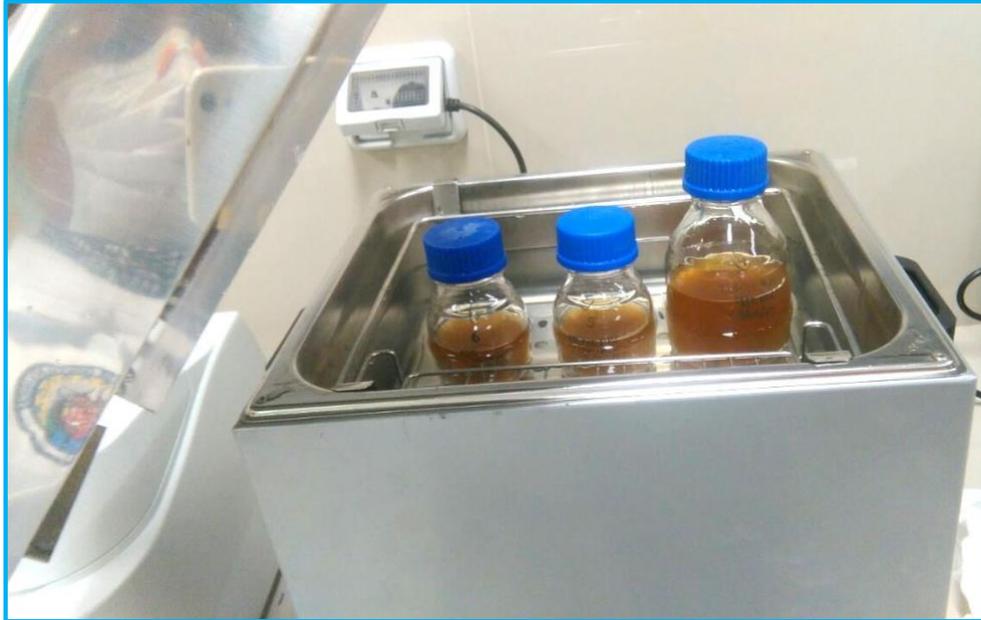
a) Equipos utilizados en la prueba

- Equipo de protección personal (mandil, gorra, gafas, barbijo, guantes)
- Baño isotérmico
- Centrífuga
- Vórtex (dispositivo para agitar tubo de ensayo)
- 24 tubos de 15 mL con tapa rosca azul
- Gradilla
- Papel toalla
- Parafilm "M". (cinta adhesiva)
- Agua destilada
- Alcohol 70 %
- Lejía 10%
- Marcador vidriográfico.

b) Procedimiento.

1. Cuando se tuvo la máxima concentración de bacterias, se procedió a retirar de la incubadora.
2. El cultivo bacteriano se pasó al proceso del estrés (cambios bruscos de temperatura, pH, falta de nutrientes, humedad).

Figura 41: Proceso del estrés bacteriano.



Fuente: Elaboración propia.

3. Se sometió a baño isotérmico a 80 °C por 10 minutos.

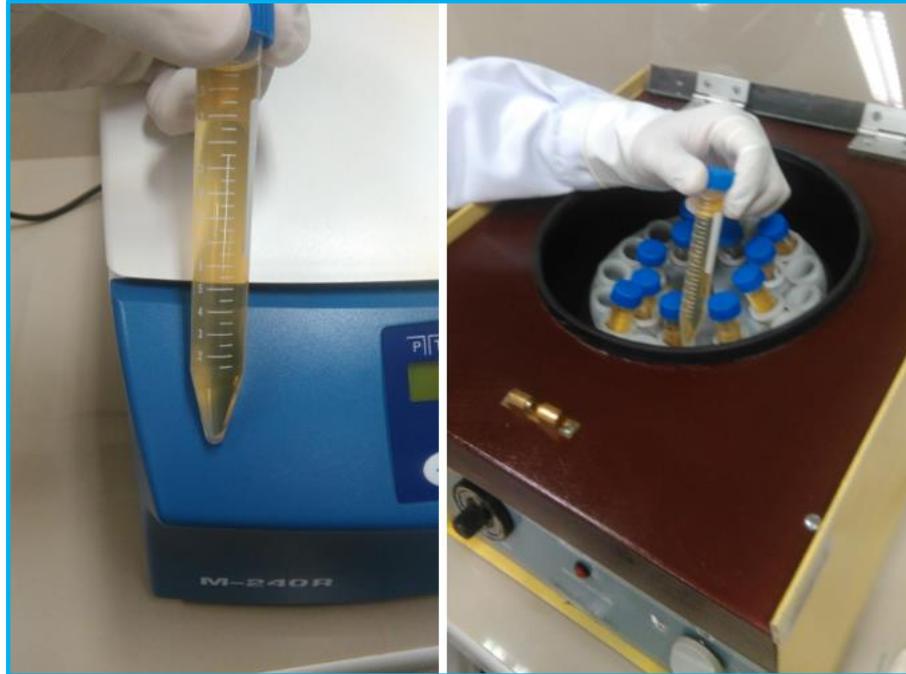
Figura 42: Cambio de temperatura para formar esporas.



Fuente: Elaboración propia.

4. Se enfrió a temperatura ambiente.
5. Se procedió a decantar el cultivo bacteriano en 24 tubos de ensayo de 15 mL y luego se procedió a centrifugar por 10 minutos.

Figura 43: Centrifugación de medio (esporas + medio de cultivo).



Fuente: Elaboración propia.

6. El líquido bacteriano se desechó, pero el sedimento de esporas obtenidas en el tubo se disolvió con 10 mL. de agua destilada mediante un vórtex (agitador de tubo de ensayo).

Figura 44: Proceso de disolución (esporas + agua destilada).

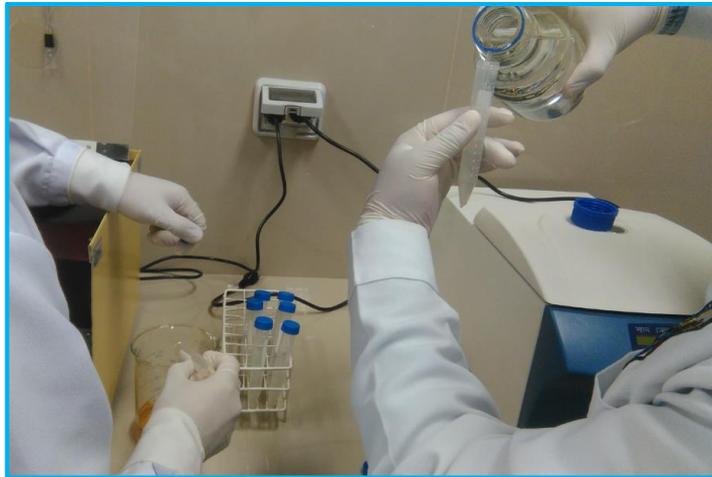


Fuente: Elaboración propia.

7. De 2 tubos; el sedimento de esporas obtenidas se disolvió con 5 mL. de agua destilada cada una y se junta a una de ellas, quedando así disuelta el líquido (agua

destilada 10 mL. con esporas disueltas) y se coloca en la centrífuga. Esto como nivel uno (primera vez), se repitió hasta nivel cuatro (cuarta vez), es decir este mismo proceso 4 veces, para finalmente obtener la cantidad total de esporas.

Figura 45: *Enjuague con agua destilada los tubos y su posterior centrifugación).*



Fuente: Elaboración propia.

3.5.6. Granulometría de agregados

a. Instrumentos y/o equipos

- Juego de tamices estándar según norma.
- Charolas y/o recipientes.
- Balanza de 2 Kilogramos.
- Espátulas, brochas.
- Pala y balanza de 1000 gramos.

b. Procedimientos

1. En la primera etapa se procede a la recolección de material para la investigación con agregado fino de la Cantera de Pisac, así como piedra chancada de la Cantera de Vicho.

Figura 46: Recolección de material para la investigación.



Fuente: Elaboración propia.

2. En la segunda etapa realizamos el cuarteo de los agregados.

Figura 47: Cuarteo de los agregados



Fuente: Elaboración propia.

3. En la tercera etapa se procedió al tamizado de los agregados finos Cantera Pisac. En lo que se respecta al agregado grueso piedra chancada de ½” Cantera de Vichos. En la granulometría del agregado fino como del agregado grueso la mezcla cumple los requisitos granulométricos establecidos por la norma ASTM C-33.

Figura 48: Tamizado de agregado fino y grueso.



Fuente: Elaboración propia.

4. En la cuarta etapa se procedió al peso de los agregados y a su respectiva colocación en la serie de tamices estándar para el proceso de zarandeo en la vibradora.

Figura 49: Tamizado



Fuente: Elaboración propia.

c. Toma de datos

En la recolección de dato de laboratorio de la granulometría se observa según los límites establecidos en la normas que los agregados deben cumplir un cierto límite.

Tabla 20: Pesos retenidos del agregado grueso.

PESO RETENIDO DE PIEDRA CHANCADA DE VICHO	
Tamices	Piedra Chancada
3/4"	126.5 gr.
1/2"	626.7 gr.
3/8"	471.2 gr.
1/4"	268.9 gr.
Base	125.6 gr.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21: Pesos retenidos del agregado fino.

PESO RETENIDO DE ARENA DE PISAC	
Tamices	Cunyac
3/8"	12.1 gr.
N°4	92.3 gr.
N°8	213.7 gr.
N°16	267.2 gr.
N°30	311.3 gr.
N°50	380.2 gr.
N°100	194.6 gr.
N° 200	66.0 gr.
Base	42.9 gr.

Fuente: Elaboración propia.

3.5.7. Porcentaje de humedad

a. Equipos utilizados en la prueba

- Horno eléctrico
- Recipientes para el secado
- Balanza electrónica de 500 gramos.
- Charolas de acero inoxidable, recipiente de aluminio.

b. Procedimientos

1. En la primera etapa se calculó el porcentaje de humedad de los agregados, se seleccionó una cantidad de agregado para luego ser pesado, en una charola, seguidamente pesar el material, enseguida se toman los datos para su debido cálculo.

Figura 50: Porcentaje de humedad.



Fuente: Elaboración propia.

2. Después de pesar la muestra húmeda más el recipiente se colocó la muestra en el horno, a una temperatura de 120 °C, a temperatura constante, durante 24 horas desde el colocado, luego del ese tiempo se procedió a sacar las muestras y a pesarlas.

Figura 51: Contenido de Humedad.



Fuente: Elaboración propia.

3. En la tercera etapa se calculó el porcentaje de absorción del agregado y para ello primeramente se seleccionó una muestra natural representativa de dicho material, y se procedió a pesar, primeramente el recipiente vacío y luego con el material, una vez realizado los pesajes se procedió a pesar la muestra húmeda en una balanza preparada especialmente para dicha prueba.

c. Toma de datos

En la toma de datos se presentan todos los valores que nos permitieron realizar los cálculos, que detallamos a continuación:

Tabla 22: Cuadro de toma de datos Contenido de humedad

AGREGADO FINO						
Símbolo	DESCRIPCIÓN	M-1	M-2	M-3	Promedio	Und.
W=	Peso de la Muestra en estado Natural.	500	500	500	500	g
D=	Peso de la Muestra Seca después del horneado.	484.55	483.32	484.67	484.18	g
AGREGADO GRUESO						
Símbolo	DESCRIPCIÓN	M-1	M-2	M-3	Promedio	Und.
W=	Peso de la Muestra en estado Natural.	1001.3	1000.7	998.4	1000.13	g
D=	Peso de la Muestra Seca después del horneado.	979.32	978.18	980.91	979.47	g

Fuente: Elaboración propia.

3.5.8. Peso específico de los agregados

a. Equipos utilizados en la prueba

- Fiola de 300 ml. transparente
- Balanza analítica de 5000 gramos de 5 dígitos
- Secadora con aire caliente
- Electrobomba de vacío

b. Procedimientos

1. Para determinar el peso específico del agregado fino primero se tara la balanza con el recipiente, luego se pesa el agregado más la muestra, en el cálculo del peso específico del agregado fino se tomó cuidado debido a que se calculó el peso específico de la cantera de Pisac, cada una en un porcentaje la muestra de agregado fino en una abalanza analítica, del mismo modo para el agregado grueso.

2. En la segunda etapa se procedió a pesar la fiola sin ningún tipo de contenido, y tomar nota, luego se procedió a colocar el agregado fino en la fiola mediante el apoyo de un cono de papel, y una vez llenada la fiola con el agregado fino se pesó la fiola + agregado + agua; se tomó en consideración que antes del pesaje se succiono el aire atrapado mediante una pequeña bomba de vacío tomando mucha precaución de su uso y luego se tomaron los datos.

3. En la tercera etapa se procedió al cálculo del peso específico del agregado grueso, y que según la norma ASTM C.127 que establece el procedimiento para el cálculo del peso específico del agregado grueso el cálculo se comienza con la determinación del peso de la muestra. Se procedió al pesado de la muestra representativa, luego se continuó con la determinación el peso de sus condiciones tanto en estado natural como peso saturado.

c. Toma de datos.

Tabla 23: Toma de datos, peso específico del agregado fino

TOMA DE DATOS, PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO			
Síbolo	DESCRIPCIÓN	M-1	Und.
500	Muestra Saturado con Superficie Seca.	500	gr
Wo =	Peso en el aire de la muestra secada en el horno.	495.34	gr
Vf =	Volumen de la Fiola	500	cm3
Va =	Volumen de Agua añadida a la Fiola con Probeta graduada.	287.92	cm4

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24: Toma de datos, peso específico del agregado grueso

SÍMBOLO	AGREGADO GRUESO - Cantera de Vicho	M -1	Und
	Peso de la muestra saturada dentro del agua + canastilla.	2315.5	gr
	Peso de la Canastilla Dentro del Agua.	18.6	gr
A =	Peso de la M uestra Seca	3853.6	gr
B =	Peso de la M uestra Saturada Superficialmente Seca	3902.9	gr
C =	Peso de la M uestra Saturada dentro del Agua	2267.1	gr

Fuente: Elaboración propia.

3.5.9. Ensayo de peso unitario de los agregados

Este método establece el procedimiento para determinar peso unitario suelto o compactado de las diferentes muestras de Agregado, ensayo resguardado según la (N.T.P. 400.017, 1999).

a. Equipos utilizados en la prueba:

- 01 Molde Metálico o Cilindro Próctor.
- 01 Barra compactadora Ø 5/8" x 0.50m (con extremos redondeados).
- 01 Horno eléctrico de materiales.
- 01 Balanza capacidad 30 Kg.
- 01 Brocha.
- Recipientes.
- 02 kit de EPP (Equipos de protección personal).

b. Procedimiento peso unitario suelto:

- Del muestreo se extraen muestras de Agregado y son llevados al horno a temperatura de 105 ± 5 °C durante 24 horas, los materiales para este ensayo deberán estar secos.
- Se determina y anota el peso y volumen del molde.
- Se vierte el material en el mismo, con ayuda de una cuchara o de otro implemento, cuidando que la altura de caída sea de 5cm aproximadamente sobre el borde superior del molde, se vierte el material al molde hasta el ras.
- Se enrasa el material al nivel del borde superior del molde, con la ayuda de la varilla.
- Enseguida se lleva a la balanza y se anota el peso del molde más el material.

Figura 52: *Peso unitario suelto.*



Fuente: Elaboración propia

c. Procedimiento peso unitario compactado

- Del muestreo se extraen muestras de agregado y son llevadas al horno a temperatura de 105 ± 5 °C durante 24 horas, los materiales para este ensayo deberán estar secos.
- Se determina y anota el peso y volumen del molde.
- Se vierte el material en el mismo, con ayuda de una cuchara o de otro implemento.
- El proceso de llenado se realiza entre 03 sesiones, el cual en cada sesión se dará 25 golpes con la varilla para compactar el material, sin que la varilla toque el fondo del recipiente, vibrando simultáneamente el molde en el suelo para que el material se acomode y/o compacte, por consiguiente su peso será el mayor posible.

Figura 53: Peso unitario Compacto.



Fuente: Elaboración propia

- Se repite esta operación completando las otras dos capas, cuidando que en cada capa la varilla al golpear no pase a la capa inferior.
- Se enrasa el material al nivel del borde superior del molde, con la ayuda de la varilla.
- Enseguida se lleva a la balanza y se anota el peso del molde más el material.

Figura 54: Ensayo del peso unitario.



Fuente: Elaboración propia

d. Toma de datos

Tabla 25: Toma de datos

DATOS :	AGREGADO GRUESO - CANTERA VICHO	M -1	M -2	M -3	PROMED.	Und.
T :	Peso del Envase	4,300	4,300	4,300	4,300.00	g
V :	Volumen del Envase	5,297.90	5,297.90	5,297.90	5,297.90	cm ³
Gsc :	Envase + Muestra (sin Compactar)	12,561	12,565	12,554	12,560.00	g
Gsc – T :	Muestra (sin Compactar)	8,261	8,265	8,254	8,260.00	g
Gco :	Envase + Muestra (compactada)	13,023	12,997	12,978	12,999.37	g
Gco - T :	Muestra (compactada)	8,723	8,697	8,678	8,699.37	g
DATOS :	AGREGADO FINO PISAC	M -1	M -2	M -3	PROMED.	Und.
T :	Peso del Envase	2,550	2,550	2,550	2,550.00	g
V :	Volumen del Envase	2,779.10	2,779.10	2,779.10	2,779.00	cm ³
Gsc :	Envase + Muestra (sin compactar)	7,623	7,625	7,633	7,626.00	g
Gsc – T :	Muestra (sin compactar)	5,073	5,075	5,083	5,076.00	g
Gco :	Envase + Muestra (compactada)	7,859	7,867	7,818	7,845.00	g
Gco - T :	Muestra (compactada)	5,309	5,317	5,268	5,295.00	g

Fuente: Elaboración propia

3.5.10. Propiedades físico químicas del agua

a. Material

- Recolección de datos de agua de SEDA CUSCO.

b) Procedimientos

- En el procedimiento se tomó una muestra representativa de agua de la zona y se procedió a la verificación de sus propiedades químicas y físicas en el laboratorio.

c) Toma de datos

- Según los análisis de laboratorio realizados al agua nos dio los siguientes datos (ver anexo)

3.5.11. Ficha técnica del cemento portland tipo IP

a. Recolección de datos

Cemento Portland Puzolánico Yura IP, es un cemento elaborado bajo los más estrictos estándares de la industria.

b. Pruebas del concreto en estado fresco (ver anexo)

3.5.12. Diseño de mezclas ACI

a. Equipos utilizados en la prueba y procedimiento

- Mezcladora de mortero; requerida para fabricar una mezcla de pasta con las proporciones de los materiales adecuadas.
- Regla de enrase; instrumento utilizado para quitar los excedentes de pasta en los moldes.
- Balanza de precisión; utilizada para pesar las cantidades de los materiales para la preparación de la mezcla.
- Placas de vidrio; sirven como superficie plana, limpia y lisa para colocar cada espécimen.
- Probeta; utilizada para los volúmenes de agua que se agregarán a la mezcla.
- Moldes; elaborados de tubos de PVC, con las medidas de dos por dos pulgadas; para así en ellas colocar la pasta de cemento elaborada.
- Cuchara; utilizada para agregar los materiales y poder empezar con la mezcla de los mismos.
- Ligas, cinta adhesiva o alambre; para mantener cerrados los cilindros cuando contengan la pasta.

b. Procedimiento de Mezclado.

- Se alistan todos los insumos o componentes a mezclar.

Figura 55: Orden para el inicio de fabricación de los testigos de concreto.



Fuente: Elaboración propia

- Se verificó que la mezcladora trompo este en óptimas condiciones mecánicas para que no falle durante la etapa de mezclado.
- Se dosificaron los materiales con volúmenes indicados.

Figura 56: Dosificación y preparado de la mezcla de concreto.



Fuente: Elaboración propia.

- Se introdujo los agregados y cemento a la mezcladora y se empezó con el mezclado.

c. Toma de datos

La toma de datos en el caso del diseño de mezclas fue del tipo cualitativo es decir mediante una recolección de todos los datos que se requieren para realizar el diseño de mezclas.

3.5.13. Prueba de revenimiento

a. Equipos utilizados

- Cono de Abrams.
- Cinta métrica de 5 mts.
- Espátula y barra de acero de 5/8”.

b. Procedimientos

1. Luego se procedió a realizar la prueba de asentamiento y cálculo del Slump, esta prueba se calculó con el cono de Abrams, la prueba de consistencia se realizó para las diferentes dosificaciones de diatomita que se planteó en la investigación, la prueba esta normada según la ASTM C-143.

Figura 57: Verificación de la prueba



Fuente: Elaboración propia.

c. Toma de datos

La toma de datos fue mediante la prueba del cono de Abrams, para determinar el grado de asentamiento del concreto, tal como se detalla en la siguiente tabla.

Lo valores establecidos en la tabla están, tanto para las 03 dosificaciones como para el diseño patrón y optimo del concreto.

Tabla 26: Toma de datos de cono de Abrams.

TIPO CONCRETO	SERIE DE VACIADOS	LECTURA 1	LECTURA 2	PROMEDIO
		cm		
CONCRETO PATRON F'C:210kg/cm ²	TANDA 1	3.78	3.9	3.84
	TANDA 2	3.6	3.82	3.71

Fuente: Elaboración propia.

3.5.14. Preparación de solución A y B (B_N =Nitrato de calcio y B_L =Lactato de calcio)

a) Equipos y materiales utilizados en la prueba

- Equipo de protección personal (mandil, gorra, gafas, barbijo, guantes)
- Mesa movable
- Destilador de agua
- 1 balanza analítica
- 2 espátulas.
- Matraces Erlenmeyer, de 100 mL, 250 mL, 500mL y 1000 mL
- Probetas graduadas, de 100 mL, 250 mL, 500mL y 1000 mL
- Botellas para preparación de medios de cultivo de 200, 400, 1000 mL
- Gradillas para tubos de ensayo
- Parafilm "M". (cinta adhesiva)
- Rollo de papel toalla
- Rollo de cinta de enmascarar
- Agua destilada
- Alcohol 70%
- Marcador vidriográfico.

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

El sistema de reparación en fisuras

Según (Wiktor & Jonkers, 2014)

Este sistema se compone de dos Soluciones:

Solución A.

- Silicato de sodio 4,8 g / L.
- Gluconato de sodio 125 g / L.
- Extracto de levadura 1g / L.
- Bacterias 1.6×10^8 esporas / L.

Solución B.

- Lactato de calcio o nitrato de calcio 500 g / L.
- Bacterias 1.6×10^8 esporas / L.

b) Procedimiento

1. Se realizaron los cálculos de los reactivos para la preparación de solución A y B. según la cantidad indicada por Wiktor *et al.* (2014), con referencia para 1000 mL. Así mismo la solución “B” en un frasco contiene nitrato de calcio (B_N) y en otro frasco contiene lactato de calcio (B_L), pero la solución “A” tiene los mismos componentes.

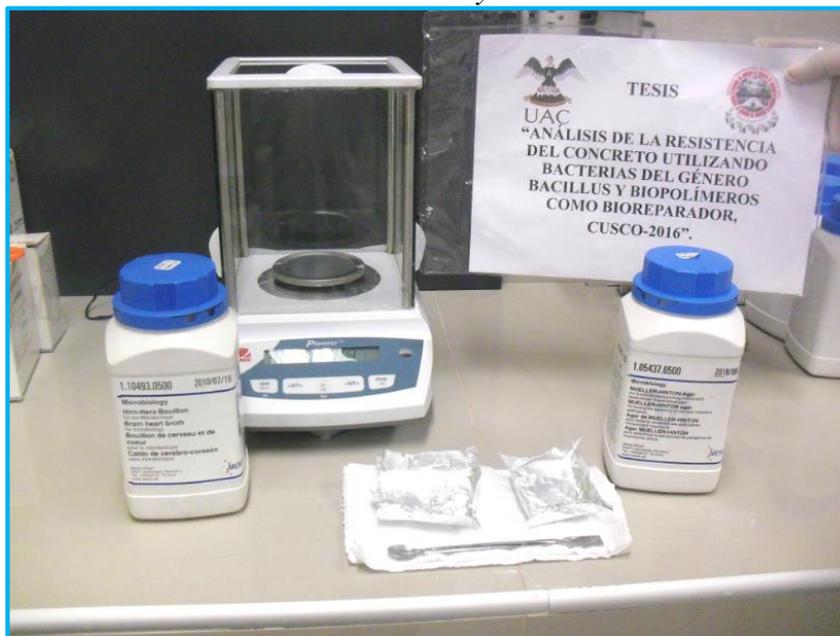
Figura 58: reactivos para preparación de solución A y B.



Fuente: Elaboración propia.

2. Se pesó en una balanza analítica, cada reactivo para un litro, según las indicaciones del producto (solución A y B).

Figura 59: *Peso de reactivos de solución A y B.*



Fuente: Elaboración propia.

3. Se midió agua destilada en una probeta graduada de 1000 mL y fueron diluidas las esporas, las mismas que se añadieron, tanto para la solución A y como para la solución B (B_N , B_L).
4. En otra probeta graduada de 500 mL se re suspendieron las esporas bacterianas obtenidas de 1000 mL de cultivo bacteriano, se homogeneizaron y se añadieron a las botellas graduadas de 400 mL.

Figura 60: *Re suspensión de esporas bacterianas en probeta de 1000 mL.*



Fuente: Elaboración propia.

5. Se agregó el líquido bacteriano (esporas bacterianas + agua destilada) a los reactivos de cada frasco. En este caso cabe señalar que tuvimos 4 botellas de 400 mL (2 botellas de 400 mL cada una para solución A, 1 botella graduada de 400 mL para lactato de calcio y 1 botella graduada de 400 mL para nitrato de calcio).

Figura 61: Vertido de líquido de esporas bacterianas a los envases con reactivos.



Fuente: Elaboración propia.

6. Las botellas graduadas de 400 mL de la solución B (una con nitrato de calcio y otra con lactato de calcio) se añadieron esporas bacterianas más agua destilada.

Figura 62: Probeta con contenido de esporas bacterianas para solución B.



Fuente: Elaboración propia.

7. Finalmente se homogeneizaron tanto la solución A como la solución B (B_N , B_L).

Figura 63: Solución final de bioreparador.



Fuente: Elaboración propia.

3.5.15. Método de aplicación

a) Equipos y materiales utilizados en la prueba

- Materiales de protección personal (barbijo, mandil, guantes, gafas).
- 2 Mesas movibles
- Briquetas fisuradas
- Soluciones A y B (lactato de calcio y nitrato de calcio)
- Jeringas
- Botella descartable de agua mineral con $\varnothing = 12$ cm; h = 22 cm (envase para curado)
- Rollo de papel toalla
- Rollo de cinta de enmascarar
- Alcohol 70%.
- Agua destilada
- Plumón indeleble (color azul y negro)
- Marcador vidriográfico.

b) Procedimiento

1. Se realizaron pruebas piloto con diferentes tipos de rocas y concreto convencional, con la finalidad de observar la evolución de la bioreparación, así mismo se realizaron cubos de concreto de 5 cm^3 y viguetas pequeñas de dimensiones $L = 20\text{ cm}$, $A = 3\text{ cm}$ y $H = 3\text{ cm}$. las cuales se aplicaron en las muestras pre-fisuradas.

Figura 64: Realización de pruebas piloto.



Fuente: Elaboración propia.

En los envases de botellas descartables, se hizo el curado de solución (A y B) en briquetas fisuradas, La solución B contenía nitrato de calcio y lactato de calcio, esto fue, como prueba piloto; sin embargo, la aplicación fue mediante la inyección.

Figura 65: Aplicación mediante el curado con 200 mL de solución A y $B_N + 200\text{mL}$ de agua destilada.



Fuente: Elaboración propia.

2. Se codificaron con plumón indeleble las fisuras de las briquetas en cuatro áreas.

Figura 66: Codificación de briquetas.



Fuente: Elaboración propia.

3. Mediante 2 jeringas se inyectó en paralelo la solución (A y B) a las fisuras de las briquetas hasta saturar, cabe mencionar que la aplicación se realizó a los 0 días, 7 días, 14 días y 21 días.

Figura 67: Proceso de inyección en la fisura del concreto.



Fuente: Elaboración propia.

4. Aplicación con solución A y Solución B (lactato de calcio y nitrato de calcio).

Figura 68: Aplicación de bioreparador en las briquetas.



Fuente: Elaboración propia.

c) Toma de datos

En la siguiente tabla se muestra el código de las briquetas, las cuales se aplicaron con solución A y B_N (solución B, con nitrato de calcio), así mismo se indica las veces aplicadas a las briquetas: a los 0 días, se aplicó a las briquetas A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6, A-7, A-8, A-9, A-10, A-11, A-12, A-13, A-14, A-15, A-16, A-17, A-18, A-19, A-20, A-21, A-22, A-23, A-24 ; a los 0 y 7 días, se aplicó a las briquetas A-7, A-8, A-9, A-10, A-11, A-12, A-13, A-14, A-15, A-16, A-17, A-18, A-19, A-20, A-21, A-22, A-23, A-24; a los 0, 7 y 14 días, se aplicó a las briquetas A-13, A-14, A-15, A-16, A-17, A-18, A-19, A-20, A-21, A-22, A-23, A-24; a los 0, 7, 14 y 21 días, se aplicó a las briquetas A-19, A-20, A-21, A-22, A-23, A-24.

Tabla 27: Soluciones A y B_N, inyectadas a las briquetas fisuradas (Solución “B” con nitrato de calcio).

0 DÍAS BRIQUETA	0 y 7 DÍAS BRIQUETA	0, 7 y 14 DÍAS BRIQUETA	0, 7, 14 y 21 DÍAS BRIQUETA
A-1	-	-	-
A-2	-	-	-
A-3	-	-	-
A-4	-	-	-
A-5	-	-	-
A-6	-	-	-
A-7	A-7	-	-
A-8	A-8	-	-
A-9	A-9	-	-
A-10	A-10	-	-
A-11	A-11	-	-
A-12	A-12	-	-
A-13	A-13	A-13	-
A-14	A-14	A-14	-
A-15	A-15	A-15	-
A-16	A-16	A-16	-
A-17	A-17	A-17	-
A-18	A-18	A-18	-
A-19	A-19	A-19	A-19
A-20	A-20	A-20	A-20
A-21	A-21	A-21	A-21
A-22	A-22	A-22	A-22
A-23	A-23	A-23	A-23
A-24	A-24	A-24	A-24

Fuente: Elaboración propia.

A las briquetas con código: A-25, A-26, A-27, A-28, A-29, A-30, A-31, A-32, A-33, A-34, A-35, A-36, A-37, A-38, A-39, A-40, A-41, A-42, A-43, A-44, A-45, A-46, A-47, A-48., se le aplicó la solución A y B_N., solo por una sola vez, es decir a los 0 días. A los 7, 14 y 21 días, se le aplicó solamente agua destilada. Se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 28: Solución A y B_N (Solución “B” con nitrato de calcio) inyectadas a los 0 días a las briquetas fisuradas y a los 7, 14 y 21 días aplicada con agua destilada.

SOLUCIONES A y B INYECTADA SOLO EL PRIMER DÍA	
BRIQUETA	BRIQUETA
A-25	A-37
A-26	A-38
A-27	A-39
A-28	A-40
A-29	A-41
A-30	A-42
A-31	A-43
A-32	A-44
A-33	A-45
A-34	A-46
A-35	A-47
A-36	A-48

Fuente: Elaboración propia.

A las briquetas se aplicaron con solución A y B_L (solución B, con lactato de calcio), así mismo se indica las veces aplicadas a las briquetas: a los 0 días, se aplicó a las briquetas B-1, B-2, B-3, B-4, B-5, B-6, B-7, B-8, B-9, B-10, B-11, B-12, B-13, B-14, B-15, B-16, B-17, B-18, B-19, B-20, B-21, B-22, B-23, B-24 ; a los 0 y 7 días, se aplicó a las briquetas B-7, B-8, B-9, B-10, B-11, B-12, B-13, B-14, B-15, B-16, B-17, B-18, B-19, B-20, B-21, B-22, B-23, B-24; a los 0, 7 y 14 días, se aplicó a las briquetas B-13, B-14, B-15, B-16, B-17, B-18, B-19, B-20, B-21, B-22, B-23, B-24; a los 0, 7, 14 y 21 días, se aplicó a las briquetas B-19, B-20, B-21, B-22, B-23, B-24., como muestra la siguiente tabla.

Tabla 29: Soluciones A y B_L (Solución “B” con lactato de calcio) inyectadas a los 0, 7, 14, 21 días a las briquetas fisuradas.

0 DÍAS BRIQUETA	0 y 7 DÍAS BRIQUETA	0, 7 y 14 DÍAS BRIQUETA	0, 7, 14 y 21 DÍAS BRIQUETA
B-1	-	-	-
B-2	-	-	-
B-3	-	-	-
B-4	-	-	-
B-5	-	-	-
B-6	-	-	-
B-7	B-7	-	-
B-8	B-8	-	-
B-9	B-9	-	-
B-10	B-10	-	-
B-11	B-11	-	-
B-12	B-12	-	-
B-13	B-13	B-13	-
B-14	B-14	B-14	-
B-15	B-15	B-15	-
B-16	B-16	B-16	-
B-17	B-17	B-17	-
B-18	B-18	B-18	-
B-19	B-19	B-19	B-19
B-20	B-20	B-20	B-20
B-21	B-21	B-21	B-21
B-22	B-22	B-22	B-22
B-23	B-23	B-23	B-23
B-24	B-24	B-24	B-24

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30: Soluciones A y B_L (Solución “B” con lactato de calcio) inyectados a los 0 días a las briquetas fisuradas, y a los 7, 14, 21 días inyectadas solamente con agua destilada.

SOLUCIÓN A y B INYECTADA SOLO EL PRIMER DÍA	
BRIQUETA	BRIQUETA
B-25	B-37
B-26	B-38
B-27	B-39
B-28	B-40
B-29	B-41
B-30	B-42
B-31	B-43
B-32	B-44
B-33	B-45
B-34	B-46
B-35	B-47
B-36	B-48

Fuente: Elaboración propia.

3.5.16. Pruebas del concreto en estado endurecido

a. Equipos utilizados en la prueba de compresión axial

- Almohadillas de neopreno (accesorio de equipo de compresión)
- Martillo de Goma, Cinta métrica
- Vernier, metro de 3 o 5 m.
- Alicates, llave loro y un juego de brochas.

b. Procedimiento

1. Las pruebas de compresión axial, desmoldada, es después de 24 horas de su vaciado, para lo cual se utilizó un inflador manual y se procedió a desmoldar por un orificio que tiene el molde de plástico.

Figura 69: Desmolde de los testigos de concreto.



Fuente: Elaboración propia.

2. Luego se procedió a la re etiquetado de los especímenes en estado seco para su mejor ubicación, y reconocimiento.

Figura 70: Etiquetado de los testigos de concreto.



Fuente: Elaboración propia.

3. Las normas que establecen los parámetros para determinar la resistencia a la compresión del concreto están establecidos en:
 - NTP 339.034 Método de Ensayo para el Esfuerzo a la compresión de muestras cilíndricas de concreto
 - NTP 339.037 Práctica Normalizada para el Refrendado de Testigos cilíndricos de hormigón.
 - ASTM C-39/C-39 M-01 Standard Test Method For Compressive Of Cilindrical, ASTM C-617-1998 Estándar Practice For Capping Cilindrical Concrete Specimens.

4. Luego se procedió a la colocación de las briquetas en cilindros, las briquetas fueron sumergidas en su totalidad para su curado.
5. Luego de realizarles el curado respectivo y especificado en los anteriores procedimientos y curados se transportó con cuidado en cajas para no lastimar los testigos de concreto.

Figura 71: Transporte de los testigos de concreto



Fuente: Elaboración propia.

6. Para la prueba de compresión se realizó mediciones de los especímenes, tanto de las alturas como de los diámetros con un vernier en milímetros, enseguida se procedió al refrentado de briquetas y la colocación de las almohadillas de neopreno.

Figura 72: Refrentado de testigos de concreto.



Fuente: Elaboración propia.

7. Luego de preparar los especímenes se procedió a realizar la prueba de compresión de todos los especímenes en el equipo de compresión.

Figura 73: Ensayo de compresión.



Fuente: Elaboración propia.

c. Toma de datos

Toma de datos de las pruebas de resistencia.- La toma de datos de las pruebas de compresión se tomaron a los 7, 14, 21 y 28 días.

Los testigos de concreto fueron de $f'c$: 210 kg/cm², que fueron evaluados testigos patrones, testigos patrones fisurados, concreto fisurado y reparado con Solución Nitrato, curado con agua y con solución de Nitrato y concreto fisurado y reparado con Solución lactato de Calcio, curado con agua y con solución Lactato de calcio, la toma de datos se encuentran en las siguientes tablas.

Tabla 31: Toma de datos para la resistencia a la compresión a los 7 días concreto $f'c$: 210 Kg/cm

CODIGO DE PROBETA	PROBETAS DE CONCRETO-TESTIGOS DE DIÁMETRO 10 cm y 20 cm de ALTURA.								DATOS DE ROTURA COMPRESIÓN AXIAL
	Diámetro Superior		Diámetro Inferior		Ø: Diámetro Promedio Dp (cm)	Alturas		Altura Promedio Lp (cm)	Fuerza Aplicada (Kg)
	Ø 1 (cm)	Ø 2 (cm)	Ø 3 (cm)	Ø 4 (cm)		h1 (cm)	h2 (cm)		
P-01	10.00	10.03	9.90	9.97	9.97	20.13	20.06	20.10	10818.54
P-02	9.80	9.97	9.97	9.90	9.91	20.06	20.13	20.10	9738.42
P-03	9.87	9.97	9.97	10.03	9.96	20.13	20.20	20.16	9911.43
P-04	9.80	9.97	9.90	9.97	9.91	20.00	20.06	20.03	9849.14
P-05	9.93	9.97	9.97	10.03	9.97	19.80	19.80	19.80	10053.70
P-06	10.00	10.03	10.03	9.97	10.01	19.93	19.93	19.93	10128.21

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32: Toma de datos para la resistencia a la compresión a los 14 días concreto $f'c$:
210 Kg/cm

CODIGO DE PROBETA	PROBETAS DE CONCRETO-TESTIGOS DE DIÁMETRO 10 cm y 20 cm de ALTURA.								DATOS DE ROTURA COMPRESIÓN AXIAL
	Diámetro Superior		Diámetro Inferior		Ø: Diámetro Promedio Dp (cm)	Alturas		Altura Promedio Lp (cm)	Fuerza Aplicada (Kg)
	Ø 1 (cm)	Ø 2 (cm)	Ø 3 (cm)	Ø 4 (cm)		h1 (cm)	h2 (cm)		
P-07	10.03	10.03	10.03	10.03	10.03	20.13	20.00	30.4	14,317.24
P-08	10.03	9.97	10.03	9.97	10.00	20.13	20.06	30.45	13,643.84
P-09	9.97	9.90	10.03	10.10	10.00	19.80	19.73	29.95	14,534.48
P-10	10.03	9.97	10.03	10.15	10.04	20.13	20.06	30.45	14,831.03
P-11	9.90	10.10	10.10	9.90	10.00	19.93	20.06	30.3	14,351.72
P-12	9.90	9.97	9.90	10.03	9.95	19.80	20.13	30.25	14,503.45

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33: Toma de datos para la resistencia a la compresión a los 21 días concreto $f'c$:
210 Kg/cm

CODIGO DE PROBETA	PROBETAS DE CONCRETO-TESTIGOS DE DIÁMETRO 10 cm y 20 cm de ALTURA.								DATOS DE ROTURA COMPRESIÓN AXIAL
	Diámetro Superior		Diámetro Inferior		Ø: Diámetro Promedio Dp (cm)	Alturas		Altura Promedio Lp (cm)	Fuerza Aplicada (Kg)
	Ø 1 (cm)	Ø 2 (cm)	Ø 3 (cm)	Ø 4 (cm)		h1 (cm)	h2 (cm)		
P-13	9.97	9.90	9.90	9.97	9.93	19.93	19.93	19.93	15,992.80
P-14	9.90	9.83	9.83	9.95	9.88	20.00	20.00	20.00	16,290.91
P-15	9.90	9.97	9.97	9.97	9.95	19.97	19.97	19.97	16,711.25
P-16	10.03	10.03	10.03	9.97	10.02	19.90	19.97	19.93	16,448.50
P-17	9.97	9.97	9.90	10.03	9.97	19.90	19.97	19.93	16,600.00
P-18	9.90	9.97	10.03	9.97	9.97	19.83	19.90	19.87	16,709.09

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34: Toma de datos para la resistencia a la compresión a los 28 días concreto $f'c$:
210 Kg/cm

CODIGO DE PROBETA	PROBETAS DE CONCRETO-TESTIGOS DE DIÁMETRO 10 cm y 20 cm de ALTURA.								DATOS DE ROTURA COMPRESIÓN AXIAL
	Diámetro Superior		Diámetro Inferior		Ø: Diámetro Promedio Dp (cm)	Alturas		Altura Promedio Lp (cm)	Fuerza Aplicada (Kg)
	Ø 1 (cm)	Ø 2 (cm)	Ø 3 (cm)	Ø 4 (cm)		h1 (cm)	h2 (cm)		
P-19	9.99	9.82	9.75	10.15	9.93	20.03	20.10	20.07	17,607.69
P-20	10.06	10.08	9.95	9.88	9.99	20.11	20.09	20.10	17,800.00
P-21	9.99	10.02	9.95	10.02	9.99	20.05	20.10	20.07	18,539.68
P-22	10.01	9.95	10.08	9.95	10.00	19.85	19.97	19.91	17,930.77
P-23	9.98	9.95	10.08	10.08	10.02	20.05	20.09	20.07	17,483.15
P-24	9.95	10.08	9.95	9.95	9.98	20.03	19.98	20.01	17,757.69

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 35: Toma de datos para la Resistencia a la compresión a los 7 días concreto fisurado patrón

CODIGO DE PROBETA	PROBETAS DE CONCRETO-TESTIGOS DE DIÁMETRO 10 cm y 20 cm de ALTURA.								DATOS DE ROTURA COMPRESIÓN AXIAL
	Diámetro Superior		Diámetro Inferior		Ø: Diámetro Promedio Dp (cm)	Alturas		Altura Promedio Lp (cm)	Fuerza Aplicada (Kg)
	Ø 1 (cm)	Ø 2 (cm)	Ø 3 (cm)	Ø 4 (cm)		h1 (cm)	h2 (cm)		
F-01	10.03	10.03	10.03	9.97	10.02	20.02	19.95	19.98	8069.05
F-02	9.97	10.10	10.03	10.10	10.05	20.08	20.15	20.12	4292.41
F-03	9.83	9.77	10.16	9.77	9.88	19.95	20.02	19.98	5555.93
F-04	9.97	9.83	9.90	9.97	9.92	20.02	19.95	19.98	3560.09
F-05	9.77	10.23	9.90	9.97	9.97	20.02	20.08	20.05	4428.75
F-06	9.90	9.83	9.97	9.90	9.90	20.02	19.95	19.98	2867.83

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 36: Toma de datos para la resistencia a la compresión a los 7 días. Probetas de Concreto fisuradas + solución A + solución B_N, Y curadas con solución A + Solución B_N

CODIGO DE PROBETA	PROBETAS DE CONCRETO-TESTIGOS DE DIÁMETRO 10 cm y 20 cm de ALTURA.								DATOS DE ROTURA COMPRESIÓN AXIAL
	Diámetro Superior		Diámetro Inferior		Ø: Diámetro Promedio Dp (cm)	Alturas		Altura Promedio Lp (cm)	Fuerza Aplicada (Kg)
	Ø 1 (cm)	Ø 2 (cm)	Ø 3 (cm)	Ø 4 (cm)		h1 (cm)	h2 (cm)		
A-01	10.03	10.10	9.97	9.97	10.02	19.80	19.80	19.80	6,705.25
A-02	9.93	9.87	10.03	9.90	9.93	19.73	19.80	19.77	2,756.31
A-03	9.93	9.93	9.90	10.03	9.95	20.06	20.06	20.06	4,879.25
A-04	10.10	9.83	9.97	10.10	10.00	20.06	20.06	20.06	5,707.00
A-05	10.03	10.03	9.83	9.97	9.97	20.06	20.00	20.03	8,789.40
A-06	9.97	9.90	9.90	9.97	9.93	19.87	19.80	19.83	3,233.02

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 37: Toma de datos para la resistencia a la compresión a los 7 días. Probetas de Concreto fisuradas + solución A + solución B_N, Curadas con Agua

CODIGO DE PROBETA	PROBETAS DE CONCRETO-TESTIGOS DE DIÁMETRO 10 cm y 20 cm de ALTURA.								DATOS DE ROTURA COMPRESIÓN AXIAL
	Diámetro Superior		Diámetro Inferior		Ø: Diámetro Promedio Dp (cm)	Alturas		Altura Promedio Lp (cm)	Fuerza Aplicada (Kg)
	Ø 1 (cm)	Ø 2 (cm)	Ø 3 (cm)	Ø 4 (cm)		h1 (cm)	h2 (cm)		
A-25	9.95	9.88	9.88	10.05	9.94	19.90	19.83	19.87	2,812.81
A-26	9.95	10.02	9.82	9.88	9.92	19.83	19.90	19.87	6,841.16
A-27	9.82	9.88	9.82	9.88	9.85	19.97	20.03	20.00	2,068.53
A-28	10.02	9.95	9.95	9.95	9.97	19.97	19.90	19.93	4,419.25
A-29	10.02	9.95	9.95	9.95	9.97	20.03	19.97	20.00	8,392.27
A-30	10.08	10.02	9.95	9.95	10.00	19.90	19.97	19.93	6,589.16

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 38: Toma de datos para la resistencia a la compresión a los 7 días. Probetas de Concreto fisuradas + solución A + solución B_L, Curadas con solución A + Solución B_L

CODIGO DE PROBETA	PROBETAS DE CONCRETO-TESTIGOS DE DIÁMETRO 10 cm y 20 cm de ALTURA.								DATOS DE ROTURA COMPRESIÓN AXIAL
	Diámetro Superior		Diámetro Inferior		Ø: Diámetro Promedio Dp (cm)	Alturas		Altura Promedio Lp (cm)	Fuerza Aplicada (Kg)
	Ø 1 (cm)	Ø 2 (cm)	Ø 3 (cm)	Ø 4 (cm)		h1 (cm)	h2 (cm)		
B-01	9.88	9.82	9.88	9.82	9.85	20.10	20.10	20.10	6,980.89
B-02	10.02	9.95	10.02	9.95	9.98	19.97	19.90	19.93	2,609.14
B-03	10.08	9.95	9.95	10.02	10.00	19.90	19.97	19.93	4,634.96
B-04	9.95	10.02	9.95	10.02	9.98	20.03	19.97	20.00	3,507.01
B-05	10.08	9.95	9.95	10.02	10.00	19.97	19.90	19.93	8,851.43
B-06	9.95	10.02	9.95	10.08	10.00	19.90	19.83	19.87	7,032.14

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 39: Toma de datos para la resistencia a la compresión a los 7 días. Probetas de Concreto fisuradas + solución A + solución B_L, Curadas con Agua.

CODIGO DE PROBETA	PROBETAS DE CONCRETO-TESTIGOS DE DIÁMETRO 10 cm y 20 cm de ALTURA.								DATOS DE ROTURA COMPRESIÓN AXIAL
	Diámetro Superior		Diámetro Inferior		Ø: Diámetro Promedio Dp (cm)	Alturas		Altura Promedio Lp (cm)	Fuerza Aplicada (Kg)
	Ø 1 (cm)	Ø 2 (cm)	Ø 3 (cm)	Ø 4 (cm)		h1 (cm)	h2 (cm)		
B-25	10.02	9.95	9.95	10.08	10.00	19.90	19.83	19.87	5,430.36
B-26	9.95	9.88	9.88	9.95	9.92	19.90	19.90	19.90	8,076.78
B-27	9.95	10.08	9.95	10.02	10.00	19.97	19.90	19.93	2,853.99
B-28	10.08	10.02	9.88	9.95	9.98	20.03	20.03	20.03	5,051.91
B-29	9.88	9.95	9.95	9.88	9.92	19.97	19.90	19.93	4,472.13
B-30	9.95	10.02	9.88	9.95	9.95	19.90	19.97	19.93	7,232.12

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40: Toma de datos para la Resistencia a la compresión a los 14 días concreto fisurado patrón

CODIGO DE PROBETA	PROBETAS DE CONCRETO-TESTIGOS DE DIÁMETRO 10 cm y 20 cm de ALTURA.								DATOS DE ROTURA COMPRESIÓN AXIAL
	Diámetro Superior		Diámetro Inferior		Ø: Diámetro Promedio Dp (cm)	Alturas		Altura Promedio Lp (cm)	Fuerza Aplicada (Kg)
	Ø 1 (cm)	Ø 2 (cm)	Ø 3 (cm)	Ø 4 (cm)		h1 (cm)	h2 (cm)		
F-07	9.97	10.03	9.97	10.03	10.00	20.00	19.93	30.25	2,686.31
F-08	9.97	10.10	10.03	10.10	10.05	20.03	20.10	30.25	6,680.36
F-09	9.93	9.77	10.16	9.90	9.94	19.90	19.97	30.05	7,579.70
F-10	9.97	9.83	9.90	10.02	9.93	19.97	19.90	30.05	5,809.56
F-11	9.77	9.90	9.90	9.97	9.88	20.03	20.10	30.25	2,982.13
F-12	9.90	9.97	9.88	10.03	9.95	19.90	20.03	30.1	7,971.23

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41: Toma de datos para la resistencia a la compresión a los 14 días. Probetas de Concreto fisuradas + solución A + solución B_N, Curadas con solución A + Solución B_N

CODIGO DE PROBETA	PROBETAS DE CONCRETO-TESTIGOS DE DIÁMETRO 10 cm y 20 cm de ALTURA.								DATOS DE ROTURA COMPRESIÓN AXIAL
	Diámetro Superior		Diámetro Inferior		Ø: Diámetro Promedio Dp (cm)	Alturas		Altura Promedio Lp (cm)	Fuerza Aplicada (Kg)
	Ø 1 (cm)	Ø 2 (cm)	Ø 3 (cm)	Ø 4 (cm)		h1 (cm)	h2 (cm)		
A-07	10.03	9.83	9.77	9.90	9.88	19.93	20.06	20.00	6,565.82
A-08	9.97	10.03	9.90	9.97	9.97	20.00	20.06	20.03	1,637.36
A-09	9.97	10.03	10.03	9.97	10.00	20.06	20.13	20.10	3,111.91
A-10	9.88	10.03	9.83	10.16	9.98	20.13	19.93	20.03	10,941.12
A-11	9.97	10.03	9.97	9.90	9.97	20.00	20.13	20.06	7,685.45
A-12	9.83	9.90	10.03	10.10	9.97	19.87	20.06	19.97	6,799.06

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 42: Toma de datos para la resistencia a la compresión a los 14 días. Probetas de Concreto fisuradas + solución A + solución B_N, Curadas con Agua

CODIGO DE PROBETA	PROBETAS DE CONCRETO-TESTIGOS DE DIÁMETRO 10 cm y 20 cm de ALTURA.								DATOS DE ROTURA COMPRESIÓN AXIAL
	Diámetro Superior		Diámetro Inferior		Ø: Diámetro Promedio Dp (cm)	Alturas		Altura Promedio Lp (cm)	Fuerza Aplicada (Kg)
	Ø 1 (cm)	Ø 2 (cm)	Ø 3 (cm)	Ø 4 (cm)		h1 (cm)	h2 (cm)		
A-31	9.97	9.90	9.83	9.90	9.90	19.73	19.80	19.77	7,325.89
A-32	9.77	9.97	9.97	9.83	9.88	19.80	19.87	19.83	3,111.78
A-33	9.90	9.83	9.90	9.83	9.87	19.80	19.80	19.80	6,315.21
A-34	9.83	9.97	9.90	9.90	9.90	20.06	19.87	19.97	7,484.46
A-35	9.90	10.03	9.83	9.90	9.92	19.87	19.87	19.87	10,170.13
A-36	9.90	9.97	9.90	9.90	9.92	19.80	19.80	19.80	4,372.02

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 43: Toma de datos para la resistencia a la compresión a los 14 días. Probetas de Concreto fisuradas + solución A + solución B_L, Curadas con solución A + Solución B_L

CODIGO DE PROBETA	PROBETAS DE CONCRETO-TESTIGOS DE DIÁMETRO 10 cm y 20 cm de ALTURA.								DATOS DE ROTURA COMPRESIÓN AXIAL
	Diámetro Superior		Diámetro Inferior		Ø: Diámetro Promedio Dp (cm)	Alturas		Altura Promedio Lp (cm)	Fuerza Aplicada (Kg)
	Ø 1 (cm)	Ø 2 (cm)	Ø 3 (cm)	Ø 4 (cm)		h1 (cm)	h2 (cm)		
B-07	9.90	10.03	9.77	9.83	9.88	19.87	19.93	19.90	3,757.12
B-08	9.93	9.90	9.77	9.77	9.84	19.93	19.87	19.90	5,130.56
B-09	9.90	9.97	9.90	9.83	9.90	19.80	19.80	19.80	7,272.92
B-10	9.90	10.03	9.88	9.90	9.93	19.87	19.87	19.87	9,085.22
B-11	9.97	9.90	9.90	9.97	9.93	19.73	19.73	19.73	7,178.33
B-12	9.90	9.83	9.90	10.03	9.92	19.80	19.87	19.83	6,810.20

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 44: Toma de datos para la resistencia a la compresión a los 14 días. Probetas de Concreto fisuradas + solución A + solución B_L, Curadas con Agua.

CODIGO DE PROBETA	PROBETAS DE CONCRETO-TESTIGOS DE DIÁMETRO 10 cm y 20 cm de ALTURA.								DATOS DE ROTURA COMPRESIÓN AXIAL
	Diámetro Superior		Diámetro Inferior		Ø: Diámetro Promedio Dp (cm)	Alturas		Altura Promedio Lp (cm)	Fuerza Aplicada (Kg)
	Ø 1 (cm)	Ø 2 (cm)	Ø 3 (cm)	Ø 4 (cm)		h1 (cm)	h2 (cm)		
B-31	9.95	9.88	9.95	9.95	9.93	19.90	19.97	19.93	4,496.55
B-32	9.88	9.95	9.95	9.95	9.93	19.97	19.90	19.93	5,688.25
B-33	9.88	9.95	9.88	9.95	9.92	19.83	19.90	19.87	9,704.59
B-34	9.88	9.95	9.95	10.02	9.95	19.90	19.83	19.87	5,145.67
B-35	10.02	9.95	9.88	9.88	9.93	19.97	20.03	20.00	3,630.15
B-36	9.95	9.88	9.95	9.95	9.93	19.97	19.90	19.93	7,494.37

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 45: Toma de datos para la Resistencia a la compresión a los 21 días concreto fisurado patrón

CODIGO DE PROBETA	PROBETAS DE CONCRETO-TESTIGOS DE DIÁMETRO 10 cm y 20 cm de ALTURA.								DATOS DE ROTURA COMPRESIÓN AXIAL
	Diámetro Superior		Diámetro Inferior		Ø: Diámetro Promedio Dp (cm)	Alturas		Altura Promedio Lp (cm)	Fuerza Aplicada (Kg)
	Ø 1 (cm)	Ø 2 (cm)	Ø 3 (cm)	Ø 4 (cm)		h1 (cm)	h2 (cm)		
F-13	9.88	9.95	9.95	9.95	9.93	19.77	19.83	19.80	3,198.47
F-14	9.95	10.15	8.76	10.02	9.72	19.90	19.83	19.87	7,742.52
F-15	9.95	10.08	10.15	9.95	10.03	19.97	19.90	19.93	4,040.66
F-16	10.08	10.08	10.02	9.95	10.03	19.90	19.83	19.87	6,633.85
F-17	10.02	9.95	10.08	10.15	10.05	20.03	19.90	19.97	4,843.87
F-18	9.95	9.95	9.95	10.02	9.97	19.90	20.03	19.97	2,211.88

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46: Toma de datos para la resistencia a la compresión a los 21 días. Probetas de Concreto fisuradas + solución A + solución B_N, Curadas Con solución A + Solución B_N

CODIGO DE PROBETA	PROBETAS DE CONCRETO-TESTIGOS DE DIÁMETRO 10 cm y 20 cm de ALTURA.								DATOS DE ROTURA COMPRESIÓN AXIAL
	Diámetro Superior		Diámetro Inferior		Ø: Diámetro Promedio Dp (cm)	Alturas		Altura Promedio Lp (cm)	Fuerza Aplicada (Kg)
	Ø 1 (cm)	Ø 2 (cm)	Ø 3 (cm)	Ø 4 (cm)		h1 (cm)	h2 (cm)		
A-13	10.03	10.03	9.97	9.97	10.00	20.06	20.13	20.10	4,680.33
A-14	10.03	10.10	9.90	9.97	10.00	20.00	20.06	20.03	5,877.53
A-15	9.97	9.97	9.83	9.90	9.92	20.01	20.06	20.04	7,630.91
A-16	9.90	9.97	9.90	9.90	9.92	19.80	19.80	19.80	9,851.37
A-17	9.97	9.90	9.90	10.03	9.95	19.93	19.87	19.90	7,643.72
A-18	9.97	9.90	9.90	10.03	9.95	19.80	19.80	19.80	11,645.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 47: Toma de datos para la resistencia a la compresión a los 21 días. Probetas de Concreto fisuradas + solución A + solución B_N, Curadas con Agua

CODIGO DE PROBETA	PROBETAS DE CONCRETO-TESTIGOS DE DIÁMETRO 10 cm y 20 cm de ALTURA.								DATOS DE ROTURA COMPRESIÓN AXIAL
	Diámetro Superior		Diámetro Inferior		Ø: Diámetro Promedio Dp (cm)	Alturas		Altura Promedio Lp (cm)	Fuerza Aplicada (Kg)
	Ø 1 (cm)	Ø 2 (cm)	Ø 3 (cm)	Ø 4 (cm)		h1 (cm)	h2 (cm)		
A-37	9.95	9.95	9.88	9.95	9.93	20.03	19.97	20.00	5,395.09
A-38	9.95	10.02	9.95	9.95	9.97	19.90	19.97	19.93	6,737.63
A-39	9.90	9.83	9.90	9.97	9.90	19.80	19.80	19.80	3,724.83
A-40	9.90	9.90	9.83	10.03	9.92	19.93	19.80	19.87	7,278.48
A-41	9.90	9.97	9.97	9.90	9.93	20.00	19.93	19.97	9,980.18
A-42	9.97	9.97	9.90	9.90	9.93	19.93	19.87	19.90	7,926.65

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 48: Toma de datos para la resistencia a la compresión a los 21 días. Probetas de Concreto fisuradas + solución A + solución B_L, Curadas con solución A + Solución B_L

CODIGO DE PROBETA	PROBETAS DE CONCRETO-TESTIGOS DE DIÁMETRO 10 cm y 20 cm de ALTURA.								DATOS DE ROTURA COMPRESIÓN AXIAL
	Diámetro Superior		Diámetro Inferior		Ø: Diámetro Promedio Dp (cm)	Alturas		Altura Promedio Lp (cm)	Fuerza Aplicada (Kg)
	Ø 1 (cm)	Ø 2 (cm)	Ø 3 (cm)	Ø 4 (cm)		h1 (cm)	h2 (cm)		
B-13	9.90	10.03	9.90	9.90	9.93	19.87	19.80	19.83	6,171.28
B-14	9.97	9.90	9.90	9.97	9.93	19.80	19.93	19.87	4,690.91
B-15	9.83	9.90	9.97	10.03	9.93	19.93	20.00	19.97	9,147.86
B-16	9.90	10.03	9.90	9.97	9.95	19.73	19.80	19.77	4,592.25
B-17	9.83	9.90	9.90	9.83	9.87	19.87	19.80	19.83	7,190.04
B-18	9.90	9.83	9.90	10.03	9.92	19.80	20.00	19.90	9,644.32

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 49: Toma de datos para la resistencia a la compresión a los 21 días. Probetas de Concreto fisuradas + solución A + solución B_L, Curadas con Agua.

CODIGO DE PROBETA	PROBETAS DE CONCRETO-TESTIGOS DE DIÁMETRO 10 cm y 20 cm de ALTURA.								DATOS DE ROTURA COMPRESIÓN AXIAL
	Diámetro Superior		Diámetro Inferior		Ø: Diámetro Promedio Dp (cm)	Alturas		Altura Promedio Lp (cm)	Fuerza Aplicada (Kg)
	Ø 1 (cm)	Ø 2 (cm)	Ø 3 (cm)	Ø 4 (cm)		h1 (cm)	h2 (cm)		
B-37	9.97	9.77	10.03	9.90	9.92	20.00	19.80	19.90	6,908.66
B-38	9.97	10.03	9.97	9.97	9.98	19.80	19.80	19.80	8,301.59
B-39	9.88	9.95	10.08	10.02	9.98	19.90	20.03	19.97	7,675.71
B-40	9.95	10.02	10.08	9.95	10.00	19.90	19.97	19.93	4,846.67
B-41	9.88	9.95	10.15	9.95	9.98	19.90	20.03	19.97	10,511.50
B-42	9.95	10.02	9.95	9.95	9.97	20.03	19.97	20.00	5,298.47

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 50: Toma de datos para la Resistencia a la compresión a los 28 días concreto fisurado patrón

CODIGO DE PROBETA	PROBETAS DE CONCRETO-TESTIGOS DE DIÁMETRO 10 cm y 20 cm de ALTURA.								DATOS DE ROTURA COMPRESIÓN AXIAL
	Diámetro Superior		Diámetro Inferior		Ø: Diámetro Promedio Dp (cm)	Alturas		Altura Promedio Lp (cm)	Fuerza Aplicada (Kg)
	Ø 1 (cm)	Ø 2 (cm)	Ø 3 (cm)	Ø 4 (cm)		h1 (cm)	h2 (cm)		
F-19	9.95	10.02	9.95	10.02	9.98	19.97	19.90	19.93	6,036.06
F-20	10.03	10.03	10.10	10.03	10.05	20.13	20.06	20.10	3,811.47
F-21	10.05	9.83	9.83	9.90	9.90	20.00	20.06	20.03	4,567.19
F-22	10.07	10.03	10.03	9.97	10.03	20.06	20.00	20.03	2,488.70
F-23	10.05	10.03	10.10	10.03	10.05	19.93	20.06	20.00	6,857.28
F-24	9.95	10.02	10.08	9.95	10.00	19.87	19.93	19.90	8,105.37

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 51: Toma de datos para la resistencia a la compresión a los 28 días. Probetas de Concreto fisuradas + solución A + solución B_N, Curadas solución A + Solución B_N

CODIGO DE PROBETA	PROBETAS DE CONCRETO-TESTIGOS DE DIÁMETRO 10 cm y 20 cm de ALTURA.								DATOS DE ROTURA COMPRESIÓN AXIAL
	Diámetro Superior		Diámetro Inferior		Ø: Diámetro Promedio Dp (cm)	Alturas		Altura Promedio Lp (cm)	Fuerza Aplicada (Kg)
	Ø 1 (cm)	Ø 2 (cm)	Ø 3 (cm)	Ø 4 (cm)		h1 (cm)	h2 (cm)		
A-19	10.03	10.03	10.03	9.88	9.99	19.97	19.97	19.97	12,242.29
A-20	9.97	10.03	10.10	10.02	10.03	20.17	20.10	20.13	9,386.68
A-21	9.97	9.77	10.03	9.82	9.90	20.17	20.10	20.13	7,500.12
A-22	10.05	9.92	9.98	9.92	9.96	19.97	20.03	20.00	14,357.19
A-23	10.08	10.08	9.95	10.01	10.03	19.90	19.90	19.90	10,245.96
A-24	9.90	9.97	9.83	10.15	9.96	20.03	19.90	19.97	6,873.12

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 52: Toma de datos para la resistencia a la compresión a los 28 días. Probetas de Concreto fisuradas + solución A + solución B_N, Curadas con Agua

CODIGO DE PROBETA	PROBETAS DE CONCRETO-TESTIGOS DE DIÁMETRO 10 cm y 20 cm de ALTURA.								DATOS DE ROTURA COMPRESIÓN AXIAL
	Diámetro Superior		Diámetro Inferior		Ø: Diámetro Promedio Dp (cm)	Alturas		Altura Promedio Lp (cm)	Fuerza Aplicada (Kg)
	Ø 1 (cm)	Ø 2 (cm)	Ø 3 (cm)	Ø 4 (cm)		h1 (cm)	h2 (cm)		
A-43	9.97	10.02	9.97	9.98	9.98	19.97	19.90	19.93	9,111.94
A-44	10.02	9.95	9.95	9.96	9.97	19.90	19.90	19.90	5,852.87
A-45	9.95	9.95	9.95	9.95	9.95	19.97	19.97	19.97	9,988.46
A-46	9.88	9.95	9.95	9.82	9.90	19.97	19.90	19.93	4,987.88
A-47	10.02	9.95	10.02	9.88	9.97	20.03	20.10	20.07	7,679.91
A-48	9.95	9.88	10.02	10.08	9.98	19.90	19.97	19.93	12,814.75

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 53: Toma de datos para la resistencia a la compresión a los 28 días. Probetas de Concreto fisuradas + solución A + solución B_L, Curadas con solución A + Solución B_L

CODIGO DE PROBETA	PROBETAS DE CONCRETO-TESTIGOS DE DIÁMETRO 10 cm y 20 cm de ALTURA.								DATOS DE ROTURA COMPRESIÓN AXIAL
	Diámetro Superior		Diámetro Inferior		Ø: Diámetro Promedio Dp (cm)	Alturas		Altura Promedio Lp (cm)	Fuerza Aplicada (Kg)
	Ø 1 (cm)	Ø 2 (cm)	Ø 3 (cm)	Ø 4 (cm)		h1 (cm)	h2 (cm)		
B-19	10.03	9.90	9.77	9.90	9.90	20.00	19.93	19.97	14,087.68
B-20	10.03	9.90	9.83	9.90	9.92	19.87	19.80	19.83	12,068.20
B-21	10.03	9.90	9.83	9.77	9.88	19.93	19.87	19.90	7,423.58
B-22	10.03	9.90	9.83	9.90	9.92	19.80	19.80	19.80	8,320.98
B-23	9.90	9.90	9.77	9.90	9.87	19.80	19.87	19.83	9,566.04
B-24	9.90	9.83	9.90	9.90	9.88	19.80	19.80	19.80	12,940.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 54: Toma de datos para la resistencia a la compresión a los 28 días. Probetas de Concreto fisuradas + solución A + solución B_L, Curadas con Agua.

CODIGO DE PROBETA	PROBETAS DE CONCRETO-TESTIGOS DE DIÁMETRO 10 cm y 20 cm de ALTURA.								DATOS DE ROTURA COMPRESIÓN AXIAL
	Diámetro Superior		Diámetro Inferior		Ø: Diámetro Promedio Dp (cm)	Alturas		Altura Promedio Lp (cm)	Fuerza Aplicada (Kg)
	Ø 1 (cm)	Ø 2 (cm)	Ø 3 (cm)	Ø 4 (cm)		h1 (cm)	h2 (cm)		
B-43	10.03	10.10	9.90	9.90	9.98	20.06	20.13	20.10	7,594.48
B-44	9.90	9.90	9.83	9.90	9.88	19.80	19.80	19.80	8,416.48
B-45	10.03	10.03	9.97	9.90	9.98	19.87	19.93	19.90	8,894.09
B-46	10.03	9.90	9.83	9.90	9.92	19.87	19.80	19.83	11,412.44
B-47	10.03	9.90	9.83	9.90	9.92	19.80	19.87	19.83	5,579.13
B-48	9.90	9.97	9.97	10.03	9.97	19.93	19.80	19.87	4,553.77

Fuente: Elaboración propia.

3.5.17. Vista a Microscopio - Estereoscopio

a. Equipos y materiales utilizados en la prueba

- Materiales de protección personal (barbijo, mandil, guantes, gafas).
- Microscopios
- Estereoscopio
- Porta y cubre objetos.
- Cortes finos de 2 cm² de las briquetas fisuradas bioreparadas
- Alcohol 70%.
- Agua destilada
- Rollo de papel toalla
- Marcador vidriográfico

b. Procedimiento

1. Se realizó cortes de láminas de las briquetas fisuradas bioreparadas con área de 2 cm².
2. Se llevó a observación mediante un microscopio y estereoscopio.

Figura 74: Observación mediante un estereoscopio, la formación de cristales de carbonato de calcio.



Fuente: Elaboración propia.

3. Se observó a 0.6X, 2X y 7X de aumento.

Figura 75: Eflorescencia del concreto (vista macroscópica).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 76: Equipo para observar la formación de carbonato de calcio.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 77: Observación a 2x. de la formación de carbonato de calcio mediante un estereoscopio.



Fuente: Elaboración propia.

3.6. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE DATOS

3.6.1. Análisis del tiempo de crecimiento y esporulación de *Bacillus subtilis*.

a) Procesamiento o cálculo de la prueba.

Tabla 55: Datos del tiempo y la concentración de curva de crecimiento bacteriana.

Tiempo	Lectura Espectrofotómetro	Tiempo	Lectura Espectrofotómetro
Hora	Densidad Óptica	Hora	Densidad Óptica
00:00	0.000	16:00	0.154
01:00	0.001	17:00	0.191
02:00	0.004	18:00	0.234
03:00	0.001	19:00	0.275
04:00	0.004	20:00	0.334
05:00	0.009	21:00	0.391
06:00	0.012	22:00	0.451
07:00	0.015	23:00	0.518
08:00	0.021	00:00	0.500
09:00	0.027	01:00	0.498
10:00	0.038	02:00	0.480
11:00	0.050	03:00	0.462
12:00	0.065	04:00	0.439
13:00	0.078	05:00	0.417
14:00	0.098	06:00	0.397
15:00	0.121	07:00	0.375

Fuente: Elaboración propia.

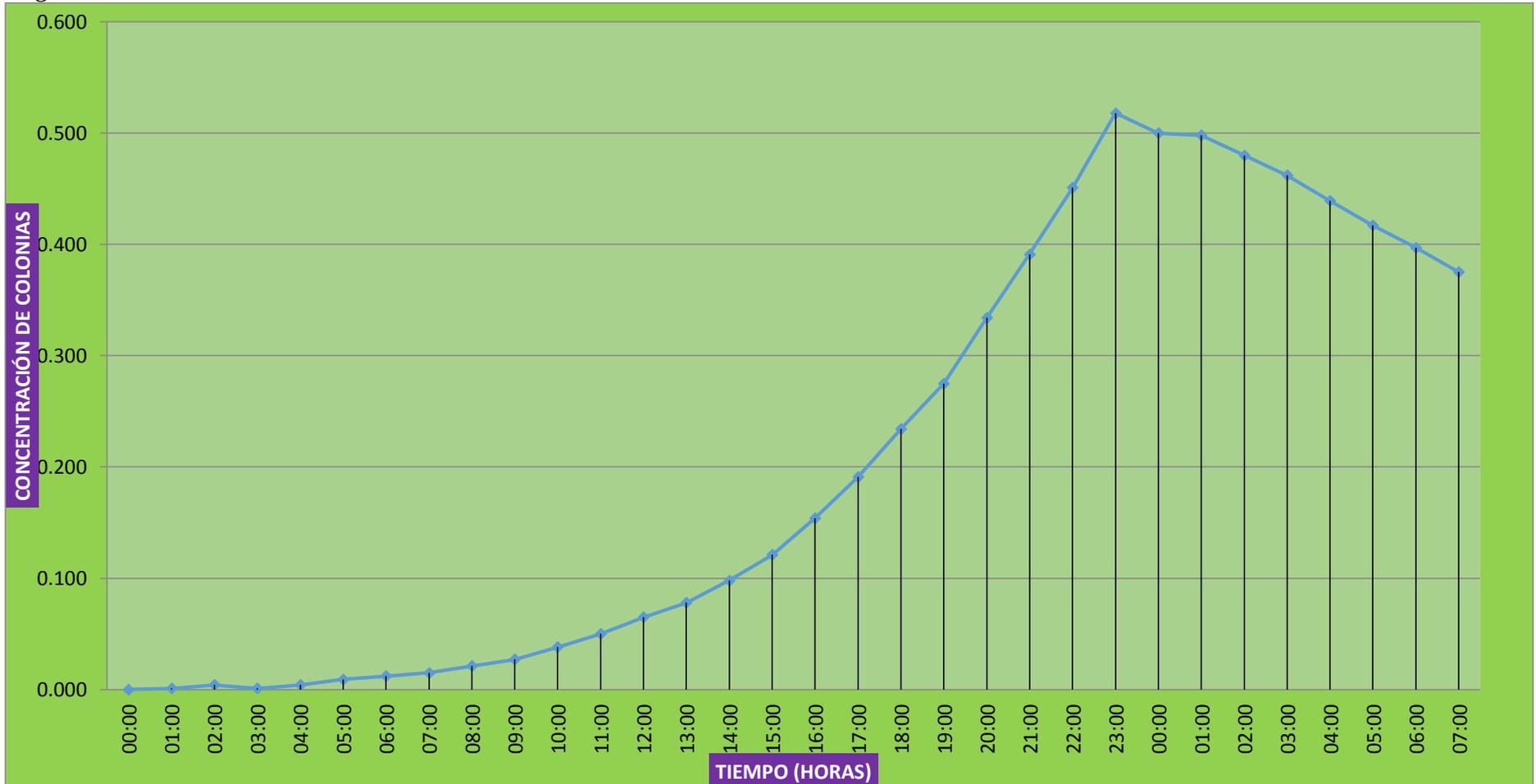
Tabla 56: Cantidad (mL) de obtención de esporas bacteriana.

MEDIO DE CULTIVO + BACTERIAS (mL)	OBTENCIÓN DE ESPORAS (mL)
200	1.50
400	3.0
1000	7.50

Fuente: Elaboración propia.

b) Gráfico de la curva de crecimiento de *Bacillus subtilis*.

Figura 78: Curva de crecimiento de colonias.



Fuente: Elaboración propia.

c) Análisis de la curva de crecimiento

El gráfico anterior nos indica, la curva de crecimiento que se realizó para ver la máxima concentración de colonias de bacterias presentes en el medio de cultivo e incubado a 35 °C.

Según este gráfico, observamos indica que a las 23 horas hubo la máxima concentración de colonias de bacterias, esto mediante la realización de lectura por espectrofotómetro, el cual indicó 0.518 de concentración.

Así mismo, al sembrar la colonia de bacterias, en el medio de cultivo con bacterias para 200 mL., se obtuvo 1.50 mL., de esporas bacterianas, después de haber realizado la centrifugación. En el medio de cultivo con bacterias para 400 mL., se obtuvo 3.0 mL., de esporas bacterianas. En el medio de cultivo con bacterias para 1000 mL., se obtuvo 7.50 mL., de esporas bacterianas.

3.6.2. Análisis de la aplicación del bioreparador.

a) Procesamiento o cálculo de la prueba.

Los datos se tomaron de acuerdo a la cantidad de aplicación que se hizo a cada briqueta fisurada, siendo estas a los 0, 7, 14 y 21 días.

b) Tablas.

Aplicación a los 0 días (una sola vez, porque a los 7 días se llevó a ensayo a compresión).

Tabla 57: Cantidad en mililitros, inyectadas a las briquetas a los 0 días, con nitrato de calcio en solución B_N .

SOLUCIÓN A + B_N en (mL) - APLICACIÓN → 0 DÍAS			
CODIGO BRIQUETA	SOLUC. A	SOLUC. B_N	SOL A+ B_N
A-01	6.20	6.20	12.40
A-02	14.70	14.70	29.40
A-03	8.30	8.30	16.60
A-04	7.20	7.20	14.40
A-05	4.60	4.60	9.20
A-06	12.50	12.50	25.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 58: Cantidad de solución A y B (con nitrato de calcio) inyectadas a las briquetas a los 0 días.

SOLUCIÓN A + B _N en (mL) - APLICACIÓN → 0 DÍAS			
CODIGO BRIQUETA	SOLUC. A	SOLUC. B _N	SOL A+ B _N
A-25	13.10	13.10	26.2
A-26	5.60	5.60	11.2
A-27	18.20	18.20	36.4
A-28	8.10	8.10	16.2
A-29	4.70	4.70	9.4
A-30	5.90	5.90	11.8

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 59: Cantidad de solución A y B_L (con lactato de calcio) inyectadas a las briquetas a los 0 días.

SOLUCIÓN A + B _L en (mL) - APLICACIÓN → 0 DÍAS			
CODIGO BRIQUETA	SOLUC. A	SOLUC. B _L	SOL A+ B _L
B-01	6.00	6.00	12.00
B-02	16.50	16.50	33.00
B-03	9.30	9.30	18.60
B-04	12.30	12.30	24.60
B-05	4.90	4.90	9.80
B-06	6.10	6.10	12.20

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 60: Cantidad de solución A y B_L (con lactato de calcio) inyectadas a las briquetas a los 0 días.

SOLUCIÓN A + B _L en (mL) - APLICACIÓN → 0 DÍAS			
CODIGO BRIQUETA	SOLUC. A	SOLUC. B _L	SOL A+ B _L
B-25	8.30	8.30	16.60
B-26	5.50	5.50	11.00
B-27	15.20	15.20	30.40
B-28	8.40	8.40	16.80
B-29	9.20	9.20	18.40
B-30	6.00	6.00	12.00

Fuente: Elaboración propia.

Aplicación a los 0 y 7 días (a los 14 días se llevó a ensayo de compresión).

Tabla 61: Cantidad total de solución A y B_N, aplicadas a los 0 y 7 días.

SOLUCIÓN A + B _N en (mL) - APLICACIÓN → 0 Y 7 DÍAS			
CODIGO BRIQUETA	SOLUC. A	SOLUC. B _N	SOL A+ B _N
A-07	10.60	10.60	21.20
A-08	43.20	43.20	86.40
A-09	22.90	22.90	45.80
A-10	6.40	6.40	12.80
A-11	9.20	9.20	18.40
A-12	10.40	10.40	20.80

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 62: Cantidad (mL) de agua destilada, utilizadas en las briquetas fisuradas a los 0 y 7 días.

CODIGO BRIQUETA	Agua destilada	Agua destilada	Total Ad. (mL)
A-31	9.20	9.20	18.40
A-32	22.00	22.00	44.00
A-33	10.50	10.50	21.00
A-34	8.20	8.20	16.40
A-35	6.70	6.70	13.40
A-36	15.10	15.10	30.20

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 63: Cantidad de solución A y B_L (lactato de calcio), aplicadas a las briquetas fisuradas a los 0 y 7 días.

SOLUCIÓN A Y B _L EN (mL) - APLICACIÓN -> 0 y 7 DÍAS			
CODIGO BRIQUETA	SOLUC. A	SOLUC. B	SOL A+B _L
B-07	20.40	20.40	40.80
B-08	14.10	14.10	28.20
B-09	10.60	10.60	21.20
B-10	8.20	8.20	16.40
B-11	10.40	10.40	20.80
B-12	11.70	11.70	23.40

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 64: Cantidad de solución, aplicadas a las briquetas fisuradas a los 0 y 7 días, con agua destilada.

CODIGO BRIQUETA	Agua destilada	Agua destilada	Total Ad. (mL)
B-31	18.10	18.10	36.20
B-32	14.30	14.30	28.60
B-33	8.30	8.30	16.60
B-34	15.20	15.20	30.40
B-35	22.10	22.10	44.20
B-36	10.40	10.40	20.80

Fuente: Elaboración propia.

Aplicación a los 0, 7, 14 días (a los 21 días se llevó a ensayo de compresión).

Tabla 65: Cantidad total de solución A y B_N aplicadas a los 0, 7 y 14 días, a las briquetas fisuradas, con solución B_N (nitrato de calcio).

SOLUCIÓN A + B _N en (mL) - APLICACIÓN → 0, 7, 14 DÍAS			
CODIGO BRIQUETA	SOLUC. A	SOLUC. B _N	SOL A+ B _N
A-13	19.60	19.60	39.20
A-14	15.30	15.30	30.60
A-15	11.80	11.80	23.60
A-16	9.10	9.10	18.20
A-17	11.90	11.90	23.80
A-18	7.30	7.30	14.60

Tabla 66: Cantidad total de agua destilada, utilizadas en las briquetas fisuradas a los 0,7 y 14 días.

CODIGO BRIQUETA	Agua destilada	Agua destilada	Total Ad. (mL)
A-37	17.10	17.10	34.20
A-38	13.50	13.50	27.00
A-39	24.60	24.60	49.20
A-40	12.20	12.20	24.40
A-41	9.00	9.00	18.00
A-42	11.60	11.60	23.20

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 67: Cantidad total de solución A y B_L, aplicada a las briquetas fisuras a los 0, 7 y 14 días, con solución B_L (lactato de calcio).

SOLUCIÓN A Y B _L EN (mL) - APLICACIÓN -> 0, 7 y 14 DÍAS			
CODIGO BRIQUETA	SOLUC. A	SOLUC. B	SOL A+B _L
B-13	16.50	16.50	33.00
B-14	21.70	21.70	43.40
B-15	11.10	11.10	22.20
B-16	22.40	22.40	44.80
B-17	14.00	14.00	28.00
B-18	10.50	10.50	21.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 68: Cantidad total de agua destilada, aplicadas a las briquetas fisuras a los 0, 7 y 14 días.

CODIGO BRIQUETA	Agua destilada	Agua destilada	Total Ad. (mL)
B-37	15.50	15.50	31.00
B-38	13.10	13.10	26.20
B-39	14.20	14.20	28.40
B-40	22.40	22.40	44.80
B-41	10.30	10.30	20.60
B-42	20.50	20.50	41.00

Fuente: Elaboración propia.

Aplicación a los 0, 7, 14 y 21 días (a los 28 días se llevó a ensayo de compresión).

Tabla 69: Cantidad total de solución A y B_N, aplicadas a los 0, 7, 14 y 21 días, a las briquetas fisuradas, con solución B_N (nitrato de calcio).

SOLUCIÓN A + B _N en (mL) - APLICACIÓN → 0, 7, 14 y 21 DÍAS			
CODIGO BRIQUETA	SOLUC. A	SOLUC. B _N	SOL A+ B _N
A-19	8.20	8.20	16.40
A-20	11.40	11.40	22.80
A-21	13.80	13.80	27.60
A-22	7.10	7.10	14.20
A-23	10.30	10.30	20.60
A-24	15.00	15.00	30.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 70: Cantidad total de agua destilada, aplicadas en las briquetas fisuradas, a los 0, 7,14 y 21 días.

CODIGO BRIQUETA	Agua destilada	Agua destilada	Total Ad. (mL)
A-43	12.00	12.00	24.00
A-44	18.20	18.20	36.40
A-45	10.80	10.80	21.60
A-46	21.50	21.50	43.00
A-47	14.10	14.10	28.20
A-48	8.30	8.30	16.60

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 71: Cantidad total de solución A y B_L, aplicadas a las briquetas fisuras a los 0, 7, 14 y 21 días, con solución B_L (lactato de calcio).

SOLUCIÓN A Y B _L EN (mL) - APLICACIÓN -> 0, 7, 14 y 21 DÍAS			
CODIGO BRIQUETA	SOLUC. A	SOLUC. B _L	SOL A+B _L
B-19	8.30	8.30	16.60
B-20	9.10	9.10	18.20
B-21	15.40	15.40	30.80
B-22	14.10	14.10	28.20
B-23	12.10	12.10	24.20
B-24	9.00	9.00	18.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 72: Cantidad total de agua destilada aplicadas en las briquetas fisuradas, a los 0, 7,14 y 21 días

CODIGO BRIQUETA	Agua destilada	Agua destilada	Total Ad. (mL)
B-43	16.30	16.30	32.60
B-44	14.20	14.20	28.40
B-45	14.10	14.10	28.20
B-46	11.00	11.00	22.00
B-47	22.30	22.30	44.60
B-48	27.60	27.60	55.20

Fuente: Elaboración propia.

c) **Análisis de la aplicación de la solución A y B.**

Las soluciones A y B como líquido bioreparador, se inyectaron mediante dos jeringas en paralelo, la misma cantidad en ambas jeringas. La solución “B” contenía en diferentes frascos, B_N solución con nitrato de calcio o B_L solución con lactato de calcio.

En el primer día (día “0”) se aplicó mediante inyección a las 24 briquetas (A – 01 hasta A – 24) la solución A y B_N, cabe mencionar que la solución “B” contenía nitrato de calcio, asimismo se aplicó del mismo modo a los 7 días (A – 07 hasta la briqueta A – 24), a los 14 días a las briquetas (A – 13 hasta A – 24) y los 21 días se le aplicó a las briquetas (A – 19 hasta A – 24).

A las 24 briquetas (A – 25 hasta A – 48) se aplicó la misma solución anterior (Solución A y B_N, con nitrato de calcio) pero solo el primer día (a los 0 días), a los 7 días, 14 días y 21 días, se le aplicó agua destilada.

La solución A y B_L (lactato de calcio) se aplicó en el día cero “0” a las 24 briquetas (B – 01 hasta B – 24) y así sucesivamente, a los 7 días (B – 07 hasta B – 24), a los 14 días (B – 13 hasta B – 24) y a los 21 días (B – 18 hasta B – 24) con la misma solución A y B_L (lactato de calcio).

Para otro grupo de 24 briquetas (B – 25 hasta B – 48) se aplicó la solución A y B_L (con lactato de calcio), en este caso sólo el primer día, se aplicaron la solución A y B_L; pero a los 7 días, 14 días y 21 días, se aplicaron solamente con agua destilada.

3.6.3. Análisis del desarrollo de la bioreparación en briquetas fisuradas.

a. **Procesamiento de la prueba.**

El análisis se desarrolló tanto mediante la rotura de briquetas a los 7, 14, 21 y 28 días y mediante la observación del precipitado de carbonato de calcio a nivel microscópico y estereoscópico, así mismo, el análisis se detalla en los resultados.

b. Tablas de control del desarrollo del esfuerzo a compresión.

Tabla 73: Control de la resistencia de esfuerzo a compresión, utilizando la solución A+ B, y agua destilada a los 7 días.

CODIGO BRIQUETA	$F'c$ (Kg/cm ²) 7 DÍAS	CODIGO BRIQUETA	$F'c$ (Kg/cm ²) 7 DÍAS	CODIGO BRIQUETA	$F'c$ (Kg/cm ²) 7 DÍAS	CODIGO BRIQUETA	$F'c$ (Kg/cm ²) 7 DÍAS
A-01	85.11	A-25	36.24	B-01	91.60	B-25	69.15
A-02	35.57	A-26	88.57	B-02	33.33	B-26	104.57
A-03	62.75	A-27	27.14	B-03	59.02	B-27	36.34
A-04	72.68	A-28	56.65	B-04	44.80	B-28	64.54
A-05	112.68	A-29	107.57	B-05	112.71	B-29	57.90
A-06	41.72	A-30	83.90	B-06	89.54	B-30	93.01

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 74: Control de la resistencia de esfuerzo a compresión, utilizando la solución A+ B, y agua destilada a los 14 días.

CODIGO BRIQUETA	$F'c$ (Kg/cm ²) 14 DÍAS	CODIGO BRIQUETA	$F'c$ (Kg/cm ²) 14 DÍAS	CODIGO BRIQUETA	$F'c$ (Kg/cm ²) 14 DÍAS	CODIGO BRIQUETA	$F'c$ (Kg/cm ²) 14 DÍAS
A-07	85.58	A-31	95.17	B-07	48.97	B-31	58.02
A-08	20.99	A-32	40.56	B-08	67.43	B-32	73.40
A-09	39.63	A-33	82.59	B-09	94.48	B-33	125.64
A-10	139.91	A-34	97.23	B-10	117.34	B-34	66.18
A-11	98.52	A-35	131.68	B-11	92.63	B-35	46.84
A-12	87.16	A-36	56.61	B-12	88.18	B-36	96.70

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 75: Control de la resistencia de esfuerzo a compresión utilizando la solución A+B, y agua destilada a los 21 días.

CODIGO BRIQUETA	$F'c$ (Kg/cm ²) 21 DÍAS	CODIGO BRIQUETA	$F'c$ (Kg/cm ²) 21 DÍAS	CODIGO BRIQUETA	$F'c$ (Kg/cm ²) 21 DÍAS	CODIGO BRIQUETA	$F'c$ (Kg/cm ²) 21 DÍAS
A-13	59.60	A-37	69.62	B-13	79.64	B-37	89.45
A-14	74.85	A-38	86.36	B-14	60.53	B-38	106.07
A-15	98.80	A-39	48.39	B-15	118.05	B-39	98.06
A-16	127.55	A-40	94.24	B-16	59.07	B-40	61.71
A-17	98.31	A-41	128.79	B-17	94.03	B-41	134.29
A-18	149.78	A-42	102.29	B-18	124.87	B-42	67.92

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 76: Control de la resistencia de esfuerzo a compresión, utilizando la solución A+B, y agua destilada a los 28 días.

CODIGO BRIQUETA	$F'c$ (Kg/cm ²) 28 DÍAS	CODIGO BRIQUETA	$F'c$ (Kg/cm ²) 28 DÍAS	CODIGO BRIQUETA	$F'c$ (Kg/cm ²) 28 DÍAS	CODIGO BRIQUETA	$F'c$ (Kg/cm ²) 28 DÍAS
A-19	156.03	A-43	116.42	B-19	183.01	B-43	97.04
A-20	118.85	A-44	74.99	B-20	156.26	B-44	109.70
A-21	97.52	A-45	128.46	B-21	96.76	B-45	113.64
A-22	184.09	A-46	64.79	B-22	107.74	B-46	147.77
A-23	129.72	A-47	98.44	B-23	125.10	B-47	72.24
A-24	88.18	A-48	163.71	B-24	168.66	B-48	58.38

Fuente: Elaboración propia.

c. **Análisis de la aplicación de la solución A y B.**

Se observaron las láminas cortadas de concreto de 2 cm² y un espesor de 1 cm, las cuales mostraron un progreso en la formación de cristales a los 21 y 28 días.

El desarrollo de la bioreparación, se controló cada 7 días a nivel microscópico y estereoscópico, las cuales mostraron formaciones de cristales de carbonato de calcio, a partir de los 21 días, en los que se inyectaron solución A y B. La solución “B” contenía nitrato de calcio y otra solución “B” contenía lactato de calcio, en ambos casos se observaron la formación de carbonato de calcio.

En las briquetas que se inyectaron por una sola vez, la solución A y B, con nitrato de calcio y lactato de calcio, la formación de cristales, no fue notoria a nivel estereoscópico, en comparación con las muestras de concreto (briquetas) que se inyectaron a los 0, 7, 14 y 21 días con la solución A y B. Estas últimas, tuvieron formación de cristales de carbonato.

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

El análisis con respecto a este tema se realizó en función de las siguientes tablas estipuladas en la Norma Técnica Peruana.

Tabla 77: Selección de gradación de las muestras de ensayo a realizar en la máquina de abrasión los Ángeles.

MÉTODO GRADACIÓN		A	B	C	D
DIÁMETRO TAMICES		CANTIDAD DE MATERIAL A USAR (gr)			
QUE PASA	RETENIDO				
1 1/2" (38.1mm)	1" (25.0mm)	1250 ± 25			
1" (25.0mm)	3/4" (19.0mm)	1250 ± 25			
3/4" (19.0mm)	1/2" (12.5mm)	1250 ± 10	2500 ± 10		
1/2" (12.5mm)	3/8" (9.5mm)	1250 ± 10	2500 ± 10		
3/8" (9.5mm)	1/4" (6.3mm)			2500 ± 10	
1/4" (6.3mm)	Nº4 (4.75mm)			2500 ± 10	
Nº4 (4.75mm)	Nº8 (2.36mm)				5000 ± 10
PESO TOTAL		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10
Nº de Esferas		12	11	8	6
Nº de Revoluciones		500	500	500	500
Tiempo de Rotación (Minutos)		15	15	15	15

Fuente: Norma Técnica Peruana (N.T.P. 400.019, 2002).

Tabla 78: Verificación de resistencia mecánica de los agregados.

M ETODO ALTERNATIVOS	NO MAYOR QUE %
Abrasión Método de los Ángeles	50
Valor de Impacto del Agregado	30

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

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

Donde:

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

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

A.- Procesamiento y cálculos de Datos:

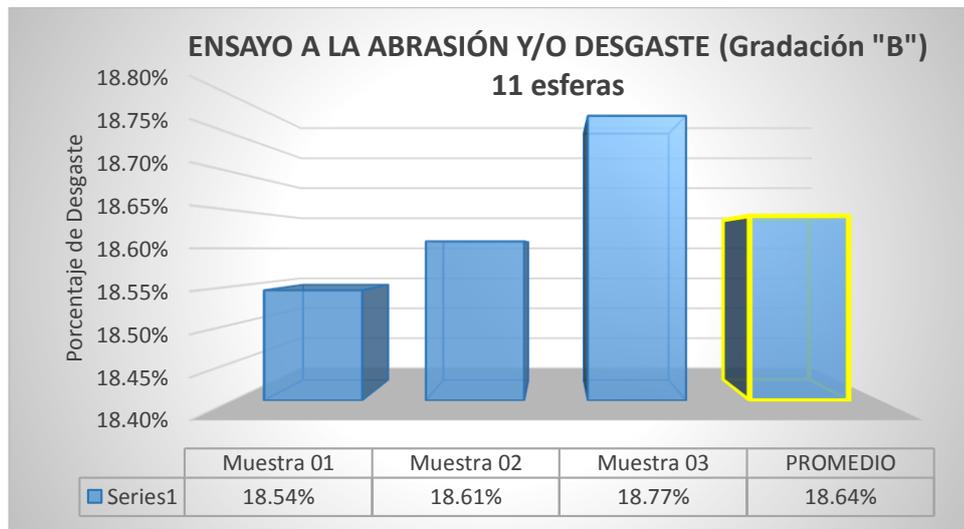
Tabla 79: Desgaste a la abrasión de muestras de agregado.

ENSAYO A LA ABRASIÓN Y/O DESGASTE (Gradación "B") 11 Esferas		MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	PROMEDIO
DESCRIPCION	Símbolo	(g)	(g)	(g)	
Peso original de muestra :	P1	5000	5000	5000	5000.00
Peso de la muestra (500 Rev) :	P2	4072.76	4069.54	4061.32	4067.87
Diferencia de Pesos :	(P1-P2)	927.24	930.46	938.68	932.13
% Desgaste :	De	18.54%	18.61%	18.77%	18.64%

Fuente: Elaboración propia.

B.- Diagrama de Interpretación:

Figura 79: Desgaste a la abrasión de muestras del agregado.



Fuente: Elaboración propia.

C.- Análisis de Prueba.

- El ensayo, se realizó según la Norma Técnica Peruana (N.T.P. 400.019, 2002), que establece para ensayar agregados gruesos de tamaños menores 37.5mm (1 ½”), se utilizó la dicha tabla para la gradación “B”, en la máquina de los Ángeles, y de esta forma se determinan la resistencia a la Abrasión y/o desgaste.
- Del ensayo de la muestra tiene resistencia mecánica óptima al impacto, según lo estipula la norma (N.T.P. 400.037, 2014), los cuales cumplirían con las condiciones de agregado con respecto a esta norma.

3.6.5. Análisis de granulometría y módulo de finura para el agregado fino de la cantera de Pisac.

El respectivo análisis de este ensayo fue bajo las consideraciones de la (N.T.P. 400.037, 2014), donde establece los requisitos de gradación (granulometría) de los agregados fino, para la elaboración de un concreto de peso normal.

Tabla 80: Límites granulométricos del agregado fino.

Tamiz	Porcentaje que Pasa
9.5mm (3/8")	100%
4.75mm (#4)	95% - 100%
2.36mm (#8)	80% - 100%
1.18mm (#16)	50% - 85%
600um (#30)	25% - 60%
300um (#50)	05% - 30%
150um (#100)	0% - 10%

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

Para la granulometría del agregado fino se utilizara las siguientes fórmulas:

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

$$\%Retenido Acumulado = \%Retenido + \%Retenido acumulado anterior$$

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

“...El Módulo de fineza recomendable estará entre 2.3 y 3.1” (N.T.P. 400.037, 2014)

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

“...Es aconsejable utilizar arena de depósito (arena para hacer concreto), de forma que no más del 10% del material pase por tamiz #200. (Bowles, 1980, pág. 36).

a) Procesamiento y cálculos de Datos:

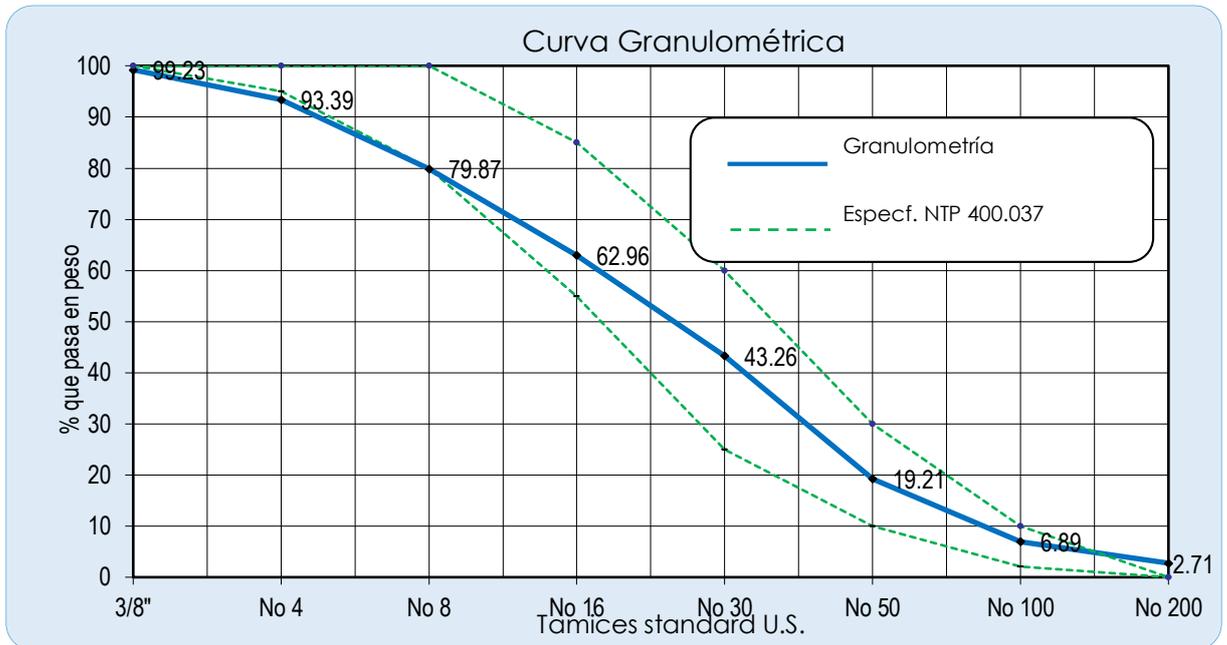
Tabla 81: Análisis granulométrico de agregado fino.

Tamaño de mallas		Peso retenido g	Retenido en %	Retenido acumulado %	% que pasa
(Pulg.)	(mm)				
3/8"	9.52	12.1	0.77	0.77	99.23
No 4	4.76	92.3	5.84	6.61	93.39
No 8	2.36	213.7	13.52	20.13	79.87
No 16	1.18	267.2	16.91	37.04	62.96
No 30	0.59	311.3	19.70	56.74	43.26
No 50	0.30	380.2	24.06	80.79	19.21
No 100	0.15	194.6	12.31	93.11	6.89
No 200	0.07	66.0	4.18	97.29	2.71
Cazoleta	0.1	42.9	2.71	100.00	0.00
Total :		1,580.3	100.00	Módulo de Fineza= 2.95	

Fuente: Elaboración propia.

b) Diagrama de Interpretación:

Figura 80: Curva granulométrica del agregado fino



Fuente: Elaboración propia.

c) Análisis de Prueba:

El ensayo se le realizó con los requisitos de los Límites granulométricos para el Agregado Fino, según la tabla de la norma técnica peruana (N.T.P. 400.037, 2014).

Obtuvimos un módulo de fineza de 2.95, el cual está dentro de los parámetros establecidos según las consideraciones de la Norma, donde cumple con las recomendaciones de rango entre 2.3 y 3.1.

También se verifica que el porcentaje de material pasante por la malla #200, es 2.71% el cual es inferior al 10% con respecto del peso total la muestra, análisis según lo estipula el Manual (Bowles, 1980).

3.6.6. Análisis de granulometría para el agregado grueso

Dicho análisis se realizará al Agregado Grueso de la cantera de Vicho.

El respectivo análisis de este ensayo fue bajo las consideraciones de la (N.T.P. 400.037, 2014), donde establece los requisitos de gradación (granulometría) de los agregados gruesos, para la elaboración de un concreto.

Tabla 82: Límites granulométricos agregado grueso.

Tamaño de mallas		Especificación	
		NTP 400.037	
(Pulg.)	(mm)	% que pasan	
1"	25	100	100
3/4"	19	90	100
3/8"	9.52	20	55
Nº 4	4.76	0	10
Nº 8	2.38	0	5

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

En el proceso de los análisis de granulometría con respecto al agregado grueso se utilizó las siguientes expresiones matemáticas.

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

$$\%Retenido Acumulado = \%Retenido + \%Retenido acumulado anterior$$

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

a) Procesamiento y cálculos de Datos:

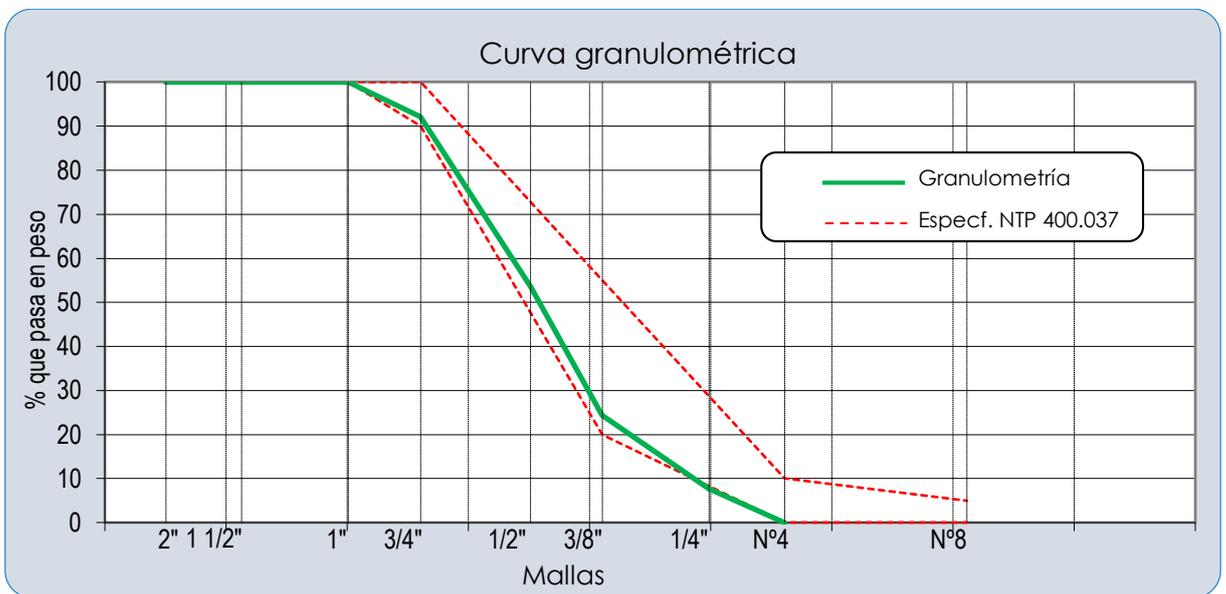
Tabla 83: Granulometría del agregado grueso de la cantera de vicho.

Tamaño de mallas		Peso retenido g	Retenido en %	Retenido acumulado %	% que pasa
(Pulg.)	(mm)				
2"	50.00	0.0	0.00	0.0	100.0
1 1/2"	37.50	0.0	0.00	0.0	100.0
1"	25.00	0.0	0.00	0.0	100.0
3/4"	19.00	126.5	7.81	7.8	92.2
1/2"	12.50	626.7	38.71	46.5	53.5
3/8"	9.52	471.2	29.11	75.6	24.4
1/4"	6.35	268.9	16.61	92.2	7.8
Base	4.76	125.6	7.76	100.0	0.0
TOTAL		1,618.9	100.00		

Fuente: Elaboración propia.

b) Diagrama de Interpretación:

Figura 81: Curva de granulometría del agregado grueso de la cantera de vicho.



Fuente: Elaboración propia.

c) Análisis de Prueba:

El ensayo se le realizó con los requisitos del análisis granulométrico para el Agregado Grueso de acuerdo a la (N.T.P. 400.037, 2014), con un Tamaño Máximo Nominal de 3/4".

Según las condiciones de los límites granulométricos que estipula esta norma, los porcentajes acumulados que pasa en función de los tamices retenidos de este agregado, están dentro de los límites establecidos, interpretándose que la muestra de este agregado es ideal, por ende cumple con los requisitos granulométricos establecidos según (N.T.P. 400.037, 2014).

3.6.7. Análisis del contenido de humedad para los agregados.

En el proceso de los análisis del contenido de humedad con respecto a los agregados se usaron las siguientes consideraciones de (N.T.P. 339.185, 2002).

$$\text{Contenido de Humedad (\% P)} = \frac{W - D}{D}$$

Donde:

W : Peso del agregado en estado Natural (g).

D : Peso del Agregado secado al horno (g).

3.6.7.1 Análisis del contenido de humedad para el agregado fino y grueso

a) Procesamiento y cálculos de Datos:

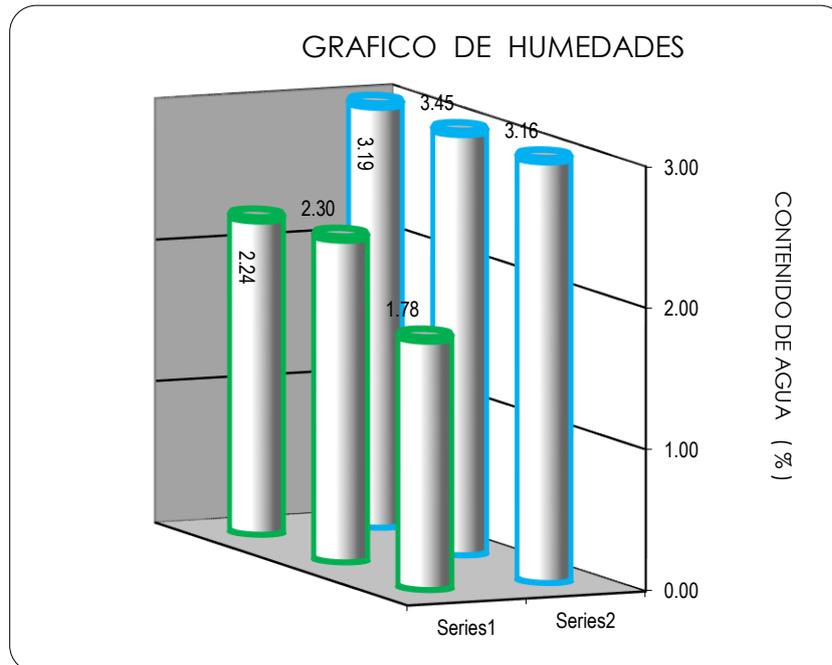
Tabla 84: Contenido de humedad del agregado fino y grueso

Agregado	Agregado Fino			Agregado Grueso		
	Muestra	1	2	3	1	2
Peso agregado Humedo (g)	500.00	500.00	500.00	1001.30	1000.70	998.40
Peso del agregado Seco (g)	484.55	483.32	484.67	979.32	978.18	980.91
Peso del Agua (g)	15.45	16.68	15.33	21.98	22.52	17.49
Contenido de Humedad (w)	3.19	3.45	3.16	2.24	2.30	1.78
Promedio Contenido de Humedad %	3.27			2.11		

Fuente: Elaboración propia.

b) Diagrama de Interpretación:

Figura 82: Contenido de humedad del agregado fino



Fuente: Elaboración propia.

c) Análisis de Prueba:

Según la interpretación del gráfico el porcentaje de humedad promedio del agregados finos de la cantera de Pisac es de (3.27%) y el contenido de humedad del agregado grueso cantera de Vicho (2.11%), el agregado fino está ligeramente húmedo.

El contenido de humedad se evaluó en condiciones ambientales de su almacenamiento, el cual este dato nos sirve para realizar los ajustes correspondientes de agua para la dosificación del concreto.

3.6.8. Análisis del peso específico y absorción para el agregado fino.

En el proceso de los análisis del Peso Específico y Porcentaje de Absorción del Agregado Fino se usaron las siguientes consideraciones de (N.T.P. 400.022, 2013)

Peso Específico de Masa:

$$(P_{em}) = \frac{W_o}{(V_f - V_a)}$$

Peso Específico de Masa Saturado con Superficie Seca:

$$(P_{eSSS}) = \frac{500}{(V_f - V_a)}$$

$$\text{Absorción: } \boxed{(\text{Abs}) = \frac{500 - W_o}{W_o} \times 100}$$

Donde:

- Pem : Peso Específico de Masa (g/cm³).
- PeSSS : Peso específico de Masa Saturado con Superficie Seca (g/cm³).
- Abs : Porcentaje de Absorción (%).
- W_o : Peso del Agregado Fino secado al horno, en (g).
- V_f : Volumen de la Fiola, en (cm³).
- V_a : Volumen de agua añadido a la Fiola, cuando el agregado está dentro de la fiola (cm³)
- 500 : Cantidad de Agregado Fino Saturado Superficialmente Seco (g).

a) Procesamiento y cálculos de Datos:

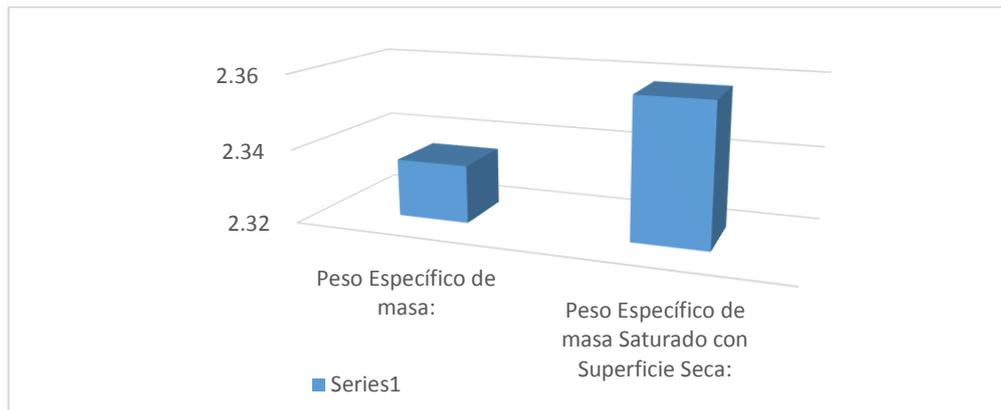
Tabla 85: Peso específico y absorción del agregado fino.

TOMA DE DATOS, PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO			
Síbolo	DESCRIPCIÓN	M-1	Und.
500	Muestra Saturado con Superficie Seca.	500	gr
W _o =	Peso en el aire de la muestra secada en el horno.	495.34	gr
V _f =	Volumen de la Fiola	500	cm ³
V _a =	Volumen de Agua añadida a la Fiola con Probeta graduada.	287.92	cm ³
Pem =	Peso Específico de masa:	2.34	g/cm ²
PeSSS =	Peso Específico de masa Saturado con Superficie Seca:	2.36	g/cm ³
Abs =	Absorción expresado en porcentaje:	0.94	%

Fuente: Elaboración propia.

b) Diagrama de Interpretación:

Figura 83: *Peso específico de masa y peso específico saturado*



Fuente: Elaboración propia.

c) Análisis de Prueba:

Según la interpretación del diagrama, el Peso Específico de Masa, Peso Específico Saturado Superficialmente Seco y Absorción del Agregado Fino de la cantera de Mina Roja, es $Pem = 2.34 \text{ g/cm}^3$, $PeSSS = 2.36 \text{ g/cm}^3$ y $Abs = 0.94\%$.

3.6.9. Análisis del peso específico y porcentaje de absorción para el agregado grueso.

En el proceso de los análisis del Peso Específico y Porcentaje de Absorción del Agregado Grueso de la cantera de Vicho, se usaron las siguientes consideraciones de (N.T.P. 400.021, 2013).

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

Peso Específico de Masa:

Peso Específico de Masa Saturado con Superficie Seca:

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

Absorción:

$$(Abs) = \frac{B-C}{A} \times 100$$

Donde:

Pem : Peso Específico de Masa (g/cm^3).

$PeSSS$: Peso específico de Masa Saturado con Superficie Seca (g/cm^3).

- Abs : Absorción en Porcentaje (%).
- A : Peso del Agregado Grueso secado al horno, en (g).
- B : Peso del Agregado Grueso Saturado Superficialmente Seco (g).
- C : Peso Del Agregado Grueso Saturado dentro del Agua (g).

a) Procesamiento y cálculos de Datos:

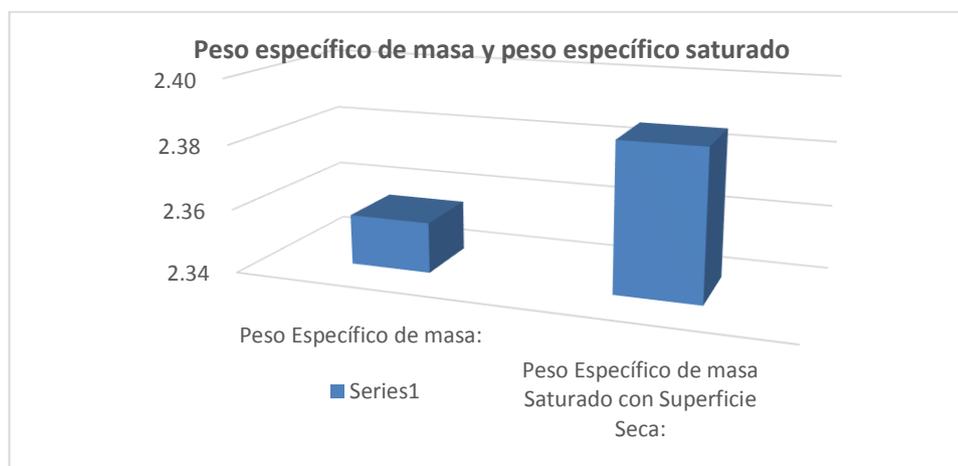
Tabla 86: Peso específico y absorción del agregado grueso.

SIMBOLO	AGREGADO GRUESO - Cantera de Vicho	M -1	Und
	Peso de la Muestra Saturada dentro del Agua + Canastilla.	2315.5	gr
	Peso de la Canastilla Dentro del Agua.	18.6	gr
A =	Peso de la Muestra Seca	3853.6	gr
B =	Peso de la Muestras Saturada Superficialmente Seca	3902.9	gr
C =	Peso de la Muestra Saturada dentro del Agua	2267.1	gr
Pem =	Peso Específico de masa:	2.36	g/cm3
PeSSS =	Peso Específico de masa Saturado con Superficie Seca:	2.39	g/cm3
Abs =	Absorción expresado en porcentaje:	1.28	%

Fuente: Elaboración propia.

b) Diagrama de Interpretación:

Figura 84: Peso específico de masa y peso específico saturado



Fuente: Elaboración propia.

c) Análisis de Prueba:

Según la interpretación del diagrama, el Peso Específico de masa y Peso Específico Saturado Superficialmente Seco son de 2.39 g/cm³ y 2.36 g/cm³. Para el diseño de mezclas usaremos el Peso Específico de Masa. La absorción promedio en función al porcentaje es de 1.28%.

3.6.10. Análisis del peso unitario para los agregados.

En el proceso de los análisis del Peso Unitario Seco Suelto y Peso Unitario Seco Compactado de los Agregados se usaron las siguientes consideraciones de (400.017, 1999).

PESO UNITARIO SUELTO

$$PUs = \frac{Gsc - T}{Ve}$$

PESO UNITARIO COMPACTADO

$$PUc = \frac{Gco - T}{Ve}$$

Donde:

PUs : Peso Unitario Seco Suelto (g/cm³)

PUc : Peso Unitario Seco Compactado (g/cm³)

Gsc : Peso del envase más la muestra seca, sin compactar (g).

Gco : Peso del envase más la muestra seca, compactado (g).

T : Peso del envase (g).

Gsc - T : Muestra (SIN Compactar) (g).

Gco - T : Muestra (Compactado) (g).

Ve : Volumen del envase (cm³).

3.6.10.1. Análisis del peso unitario del agregado fino.

Para la determinación del análisis de este ensayo se utilizó la combinación de Agregado Fino de la cantera Pisac.

a) Procesamiento y cálculos de Datos:

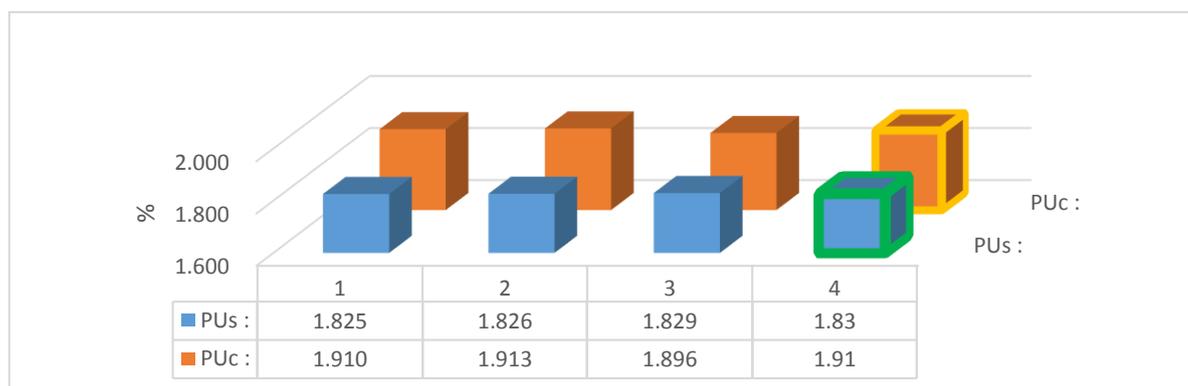
Tabla 87: *Peso unitario seco suelto y peso unitario seco compactado de agregado fino.*

DATOS :	AGREGADO FINO PISAC	M -1	M -2	M -3	PROM ED.	Und.
T :	Peso del Envase	2,550	2,550	2,550	2,550.00	g
V :	Volumen del Envase	2,779.10	2,779.10	2,779.10	2,779.00	cm ³
Gsc :	Envase + Muestra (sin compactar)	7,623	7,625	7,633	7,626.00	g
Gsc - T :	Muestra (sin compactar)	5,073	5,075	5,083	5,076.00	g
Gco :	Envase + Muestra (compactada)	7,859	7,867	7,818	7,845.00	g
Gco - T :	Muestra (compactada)	5,309	5,317	5,268	5,295.00	g
PUs :	PESO UNITARIO SUELTO :	1.825	1.826	1.829	1.83	g/cm ³
PUc :	PESO UNITARIO COMPACTADO :	1.910	1.913	1.896	1.91	g/cm ³

Fuente: Elaboración propia.

b) Diagrama de Interpretación:

Figura 85: *Peso unitario seco suelto y peso unitario seco compactado de agregado fino.*



Fuente: Elaboración propia.

c) Análisis de Prueba:

Según la interpretación del diagrama, el promedio del Peso Unitario Seco Suelto y Peso Unitario Seco Compactado del Agregado Fino son de 1.83 g/cm³ y 1.91 g/cm³.

3.6.10.2. Análisis del peso unitario del agregado grueso.

Para la determinación del análisis de este ensayo se utilizó Agregado Grueso de la cantera de Vicho.

a) Procesamiento y cálculos de Datos:

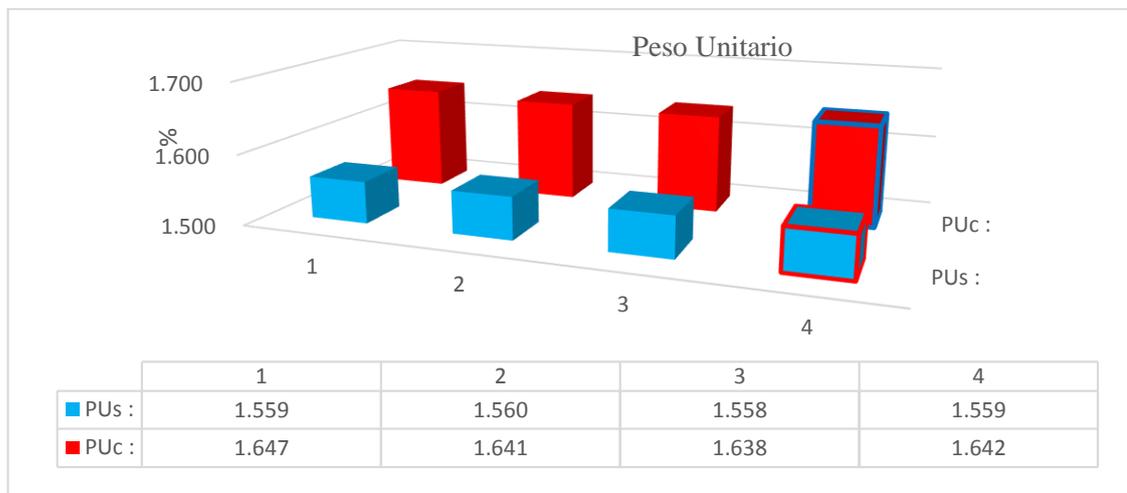
Tabla 88: *Peso unitario seco suelto y peso unitario seco compactado del agregado grueso.*

DATOS :	AGREGADO GRUESO - CANTERA VICHO	M -1	M -2	M -3	PROM ED.	Und.
T :	Peso del Envase	4,300	4,300	4,300	4,300.00	g
V :	Volumen del Envase	5,297.90	5,297.90	5,297.90	5,297.90	cm ³
Gsc :	Envase + Muestra (sin compactar)	12,561	12,565	12,554	12,560.00	g
Gsc - T :	Muestra (sin compactar)	8,261	8,265	8,254	8,260.00	g
Gco :	Envase + Muestra (compactada)	13,023	12,997	12,978	12,999.37	g
Gco - T :	Muestra (compactada)	8,723	8,697	8,678	8,699.37	g
PUs :	PESO UNITARIO SUELTO :	1.559	1.560	1.558	1.559	g/cm ³
PUc :	PESO UNITARIO COMPACTADO :	1.647	1.641	1.638	1.642	g/cm ³

Fuente: Elaboración propia.

b) Diagrama de Interpretación:

Figura 86: *Peso unitario seco suelto y peso unitario seco compactado de agregado grueso.*



Fuente: Elaboración propia.

c) Análisis de Prueba:

Según la interpretación del diagrama, el promedio del Peso Unitario Seco Suelto y Peso Unitario Seco Compactado del Agregado Grueso son de 1.56 g/cm³ y 1.64 g/cm³.

Para el diseño de mezclas usamos el Peso Unitario Seco Compactado, por ser un dato necesario para el diseño de mezclas por el método del comité 211 del ACI.

3.6.11. Análisis del diseño de mezclas para el concreto F'c: 210Kg/cm².

Una vez realizados los diferentes ensayos a los agregados, se obtuvieron valores que son muy necesarios para diseñar una mezcla de concreto, cuya resistencia a la compresión es de f'c: 210 kg/cm² a los 28 días.

El diseño de Mezclas (ACI 211) que se adoptó en esta investigación es la dosificación típica realizada por el método de Volúmenes absolutos, del "MANUAL DE LA CONSTRUCCIÓN" de la Agenda Técnica - (I.C.G., 2016), donde en nuestro concreto, no se utilizara aditivos y el cual esta solo a condiciones ambientales normales de nuestra ciudad.

3.6.11.1. Características físicas y mecánicas de los componentes del concreto.

a) Características de los materiales

Tabla 89: Características del cemento agregado grueso y agregado fino.

CEMENTO			
PORTLAND TIPO IP			
PESO ESPECIFICO	=	2.85	
AGREGADO FINO			
PESO ESPECIFICO	=	2.34	
ABSORCION %	=	0.94	%
CONTENIDO DE HUMEDAD %	=	3.27	%
MODULO DE FINEZA	=	2.95	
PESO SECO UNITARIO COMPACTO	=	1,905	Kg/m³
AGREGADO GRUESO			
PESO ESPECIFICO	=	2.36	
ABSORCION %	=	1.28	%
CONTENIDO DE HUMEDAD %	=	2.11	%
PESO SECO UNITARIO COMPACTO	=	1,642	Kg/m³
PARTICULAS (¿ANGULAR O REDONDEADO?)	=	ANGULAR	
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO	=	3/4	"

Fuente: Elaboración propia.

b) Características del Agua.

Agua Potable, cumple con el Reglamento Nacional de Edificaciones (E-060 R.N.E., 2009) o la Norma Técnica Peruana (N.T.P. 339.088. , 2014).

c) Resistencia a la Compresión

$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 días.

3.6.11.2. Cálculo de resistencia de diseño.

Cuando no se conoce propiedades estadísticas (Factor de seguridad) de la resistencia del Concreto, se pueden tomar los siguientes valores. (E-060 R.N.E., 2009).

En este caso nosotros no conocemos nuestro factor de seguridad o cuanto sería nuestra experiencia, por lo tanto usaremos la Segunda Opción.

Si: $f'c < 210 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow F'cr = (f'c + 70) \text{ Kg/cm}^2$.

Si: $210 \text{ Kg/cm}^2 \leq f'c \leq 350 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow F'cr = (f'c + 85) \text{ Kg/cm}^2$.

Si: $350 \text{ Kg/cm}^2 < F'c$ --> $F'cr = (1.1F'c + 50) \text{ Kg/cm}^2$.

Por consiguiente la Resistencia promedio requerida en obra y esta investigación:

$$F'cr = 210 + 85 \rightarrow F'cr = 295 \text{ kg/cm}^2$$

3.6.11.3. Pasos para el diseño de mezclas $F'c$: 210 Kg/cm² ACI - 211.

PASO 1: “Selección del Asentamiento”.

Tabla 90: Selección del tipo de asentamiento ($F'cr$).

TIPO DE ESTRUCTURA	SLUMP MÁXIMO	SLUMP MÍNIMO
REFORZADOS	3"	1"
CIMENTACIONES SIM PLES Y CALZADURAS	3"	1"
VIGAS Y M UROS ARM ADOS	4"	1"
COLUM NAS	4"	1"
LOSAS Y PAVIM ENTOS	3"	1"
CONCRETO CICLÓPEO	2"	1"

Fuente: Manual de la Construcción - Agenda Técnica (I.C.G., 2016).

Slump elegido entre (4" - 1"), para columnas, por lo tanto para esta investigación, por lo cual considerara obtener una mezcla plástica, cuyo asentamiento está entre 3 y 4 pulgadas (75mm a 100 mm)

PASO 2: “Selección del Tamaño Máximo Nominal (TMN) del Agregado Grueso”.

El Agregado grueso está conformado por partículas limpias, de perfil preferente angular o semi angular, duras, compactas, resistentes y de textura rugosa, para lo cual se eligió el Tamaño Máximo Nominal (TMN), de la cantera de Vicho. $TMN = 3/4''$

PASO 3: “Selección del Contenido de Agua y selección del Aire atrapado”.

Se refiere a la determinación de la cantidad de agua que se debe incorporar a la mezcladora por unidad cúbica de concreto, para una consistencia determinada, cuando el agregado está al estado seco según la tabla.

Tabla 91: Selección del volumen de agua por m³, agua en litros/m³ para (TMN) de agregados y consistencia indicada

Asentamiento SLUMP (1"=25mm)	TAM AÑO M AXIM O DE AGREGADO							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	4"
CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	---

Fuente: Manual de la Construcción - Agenda Técnica (I.C.G., 2016).

$$\text{Peso Agua} = 205 \text{ lts} = 205 \text{ Kg}$$

Tabla 92: Selección, contenido de aire atrapado.

TMN Agregado Grueso	Aire Atrapado %	
3/8"	9.5 m m	3
1/2"	12.5 m m	2.5
3/4"	19.0 m m	2
1"	25.0 m m	1.5
1 1/2"	37.5 m m	1
2"	50.0 m m	0.5
3"	75.0 m m	0.3
6"	150.0 m m	0.2

Fuente: Manual de la Construcción - Agenda Técnica (I.C.G., 2016).

En nuestro caso el TMN es de 3/4", el Slump varía de 3" a 4", y sin aire incorporado

$$\text{Peso Agua} = 205 \text{ L} = 205 \text{ Kg}$$

El aire atrapado es de 2% equivalente 0.020 m³, según (Tabla N° 123).

$$\text{Aire Atrapado} = 2\% = 0.020 \text{ m}^3$$

PASO 4: "Selección de la relación Agua/Cemento (A/C), sea a la resistencia a Compresión".

Tabla 93: Selección, relación agua/cemento por resistencia, para F'cr.

F'cr (Kg/cm ²)	Relación Agua/Cemento en Peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
140	0.82	0.74
150	0.8	0.71
200	0.7	0.61
210	0.68	0.59
250	0.62	0.53
280	0.57	0.48
300	0.55	0.46
350	0.48	0.4
400	0.43	----

Fuente: Manual de la Construcción - Agenda Técnica (I.C.G., 2016).

Para este paso se utilizó el F'cr: 295 Kg/cm², por consiguiente la relación Agua/Cemento se interpola:

F'cr (Kg/cm ²)	Agua/Cemento
280	0.57
295	X
300	0.55

$$\frac{2.80 - 300}{295 - 300} = \frac{0.57 - 0.55}{X - 0.55}$$

Relación A/C = **0.555**

PASO 5: "Cálculo del contenido de Cemento".

Para el cálculo del contenido de Cemento se dividió: **Paso 3/Paso 4** dividido entre 42.5 Kg (Peso por Bolsa), se obtiene el número de bolsas de cemento en 01 m³ de concreto.

$$\frac{\text{Paso 3} = 205 \text{ Kg} = (C)}{\text{Paso 4} \quad 0.555}$$

Cemento = 369.369 kg

$$\text{Volumen Cemento} = \frac{\text{Peso Cemento (kg)}}{\text{Peso Específico Cemento (Kg/m}^3\text{)}}$$

$$C = (369.369 / 2850) = \mathbf{0.129 \text{ m}^3}$$

PASO 6: "Cálculo del Contenido del Agregado Grueso".

Tabla 94: Selección, peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto.

RELACIÓN ENTRE PESO UNITARIO SECO CON Y SIN COMPACTAR DEL AGREGADO GRUESO, POR UNIDAD DE VOLUMEN DEL CONCRETO.						
TMN Tamaño Máximo Nominal, Agregado Grueso.		Módulo de Fineza AGREGADO FINO				
		2.4	2.6	2.8	3	
3/8"	9.5 mm	0.5	0.48	0.46	0.44	m ³
1/2"	12.5 mm	0.59	0.57	0.55	0.53	m ³
3/4"	19.0 mm	0.66	0.64	0.62	0.6	m ³
1"	25.0 mm	0.71	0.69	0.67	0.65	m ³
1 1/2"	37.5 mm	0.76	0.74	0.72	0.7	m ³
2"	50.0 mm	0.78	0.76	0.74	0.72	m ³
3"	75.0 mm	0.81	0.79	0.77	0.75	m ³
6"	150.0 mm	0.87	0.85	0.83	0.81	m ³

Fuente: Manual de la Construcción - Agenda Técnica (I.C.G., 2016).

Módulo de Fineza 2.95, se realiza la interpolación para encontrar el volumen:

Módulo de Fineza)	Volumen en función al TMN
2.80	0.62
2.95	X
3.00	0.60

$$\frac{2.8 - 3.0}{2.58 - 2.4} = \frac{0.62 - 0.60}{X - 0.60}$$

$$X = 0.582 \text{ m}^3$$

El Peso seco del agregado grueso es:

$$\text{Agreg. Grueso (kg)} = \frac{b}{bo} (\text{m}^3) \times \text{Peso Unitario Compactado Piedra (kg/m}^3)$$

$$\text{Peso Seco Agregado Grueso} = 955.644 \text{ kg}$$

PASO 7: “Cálculo del Contenido Agregado Fino. (Método del Volumen Absoluto”.

Se reporta los pesos de todos los materiales sin considerar el Agregado Fino:

- Cemento : (de Paso 5) ⇒= 369.369 kg.
- Agua : (de Paso 3) ⇒= 205.000 kg.
- Agregado Grueso : (de Paso 6) ⇒= 955.644 kg.
- Aire (Volumen Absoluto) : (de paso 3) ⇒= 0.020 m³.

Para la determinación de la cantidad del agregado fino se utilizó el método del Volumen Absoluto, donde se halla en función al volumen de materiales que forman el metro cubico de concreto.

Tabla 95: Valores de diseño para 01 metro cúbico en estado seco.

MATERIALES	PESO SECO (kg)	PESO ESPECÍFICO (Kg/m ³)	VOLUMEN ABSOLUTO (m ³)
CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO TIPO IP (YURA)	369.369	2850	0.130
AGUA (Red Pública)	205	1000	0.205
AIRE	0	0	0.020
PIEDRA SECA Agregado Grueso - (Cantera de Vicho)	955.644	2356	0.406
\sum [Vol. (Cemento + Agua + Aire + Agregado Grueso)] =			0.760
ARENA SECA Agregado Fino - (Cantera de Pisac)	564.911	2356	0.240
		\sum Total:	1 m³

Fuente: Elaboración propia.

$$\text{Volumen absoluto de agregado fino} = 1 - \sum \text{Vol. Absolutos}$$

$$\text{Volumen absoluto de agregado fino} = 1 \text{ m}^3 - 0.760 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen absoluto de Agregado Fino} = \mathbf{0.240 \text{ m}^3}$$

PASO 8: "Ajuste por humedad del Agregado".

Corrección del Peso por humedad de los agregados en 01 m³ de material:

$$\text{Peso Corregido} = (1 + \text{ContenidoHumedad}) \times \text{PesoSeco}$$

$$\text{Peso corregido, Agregado Grueso} = (1+0.0211) \times 955.644 = \mathbf{975.808 \text{ Kg/m}^3}$$

$$\text{Peso corregido, Agregado Fino} = (1+0.0327) \times 564.911 = \mathbf{583.384 \text{ Kg/m}^3}$$

Ahora calculamos el Balance de Agua:

$$\text{Balance de H}_2\text{O} = \% \text{Humedad} - \% \text{Absorción}$$

$$\text{Balance de Agua, Agregado Grueso} = 2.11\% - 1.28\% = \mathbf{0.83\%} = \mathbf{+0.0083}$$

$$\text{Balance de Agua, Agregado Fino} = 3.27\% - 0.94\% = \mathbf{2.33\%} = \mathbf{+0.0233}$$

Luego se calculamos la contribución del Agua (aporte de agua):

$$\text{Contribución H}_2\text{O} = \text{Peso Corregido} \times \text{Balance de H}_2\text{O}$$

$$\text{Contribución de agua, Agregado Grueso} = 955.644 \text{ Kg/m}^3 \times \mathbf{0.0083} = \mathbf{+7.937 \text{ Kg/m}^3}$$

$$\text{Contribución de agua, Agregado Fino} = 564.911 \text{ Kg/m}^3 \times \mathbf{0.0233} = \mathbf{+13.144 \text{ Kg/m}^3}$$

Enseguida se determinó el Agua final de mezcla".

$$\text{Agua Final} = \text{Peso Abs. (H}_2\text{O)} - (\text{Contribución H}_2\text{O}_{\text{Agreg. Grueso}} + \text{Contribución H}_2\text{O}_{\text{Agreg. Fino}})$$

$$\text{Agua Final} = 205 \text{ Kg} - 7.937 \text{ Kg} - 13.144 \text{ Kg} = \mathbf{183.919 \text{ Kg}}$$

PASO 9: “Dosificación Final por 1m³ de Concreto”.

Tabla 96: Dosificación final por 01 m³ de concreto.

MATERIALES		PESO (Kg)	PESO ESPECÍFICO (Kg/M ³)	VOLUMEN (M3)	PROPORCIÓN	
AGUA		183.919	1000	0.184	1.42	K
AIRE		0	----	0.020	0.00	K
CEMENTO		369.369	2850	0.130	1.00	K
AGREGADO GRUESO	Cantera Vicho	975.808	2356	3.20	3.20	K
AGREGADO FINO	Cantera de Pisac	583.384	2336	1.93	1.93	K
TOTAL:		2112.48	8542	1.00		

Fuente: Elaboración propia.

3.6.11.4. Dosificación de concreto F’c: 210 Kg/cm².

a) Procesamiento y cálculos de Datos:

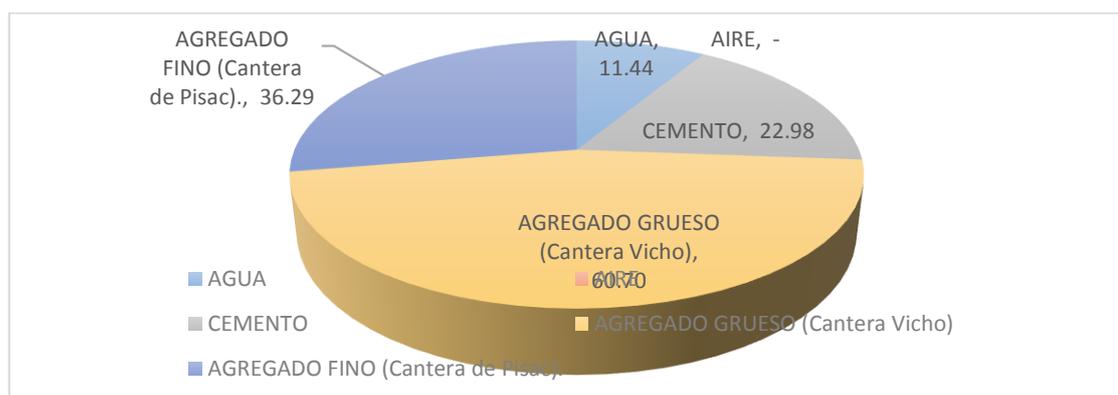
Tabla 97: Dosificación de concreto F’c: 210 Kg/cm²

MATERIALES	PESO (Kg)	PESO ESPECÍFICO (Kg/M3)	Porcentaje Peso %	PESO 01 Probeta (Kg)	PESO 36 Probeta (Kg)	PESO 36 Prob+10% (Kg)
AGUA	183.919	1000	8.71%	0.289	10.40	11.44
AIRE	0	----	0.00%		-	-
CEMENTO	369.369	2850	17.49%	0.580	20.89	22.98
AGREGADO GRUESO (Cantera Vicho)	975.808	2356	46.19%	1.533	55.18	60.70
AGREGADO FINO (Cantera de Pisac).	583.384	2336	27.62%	0.916	32.99	36.29
TOTAL:	2112.48	8542	100.00%	3.318	119.46	131.40

Fuente: Elaboración propia.

b) Diagrama de Interpretación:

Figura 87: Diagrama de dosificación del, concreto F’c: 210 Kg/cm²



Fuente: Elaboración propia.

c) Análisis de Prueba:

- En nuestra dosificación Utilizamos 01 Probeta-Testigo, de 10 cm de Diámetro y 20 cm de altura, que tiene un volumen de 0.00157 m^3 y un peso según diseño de 3.318 Kg.
- La dosificación se realizó para 4 tandas y en función del peso de los materiales. También se consideró un 10% más de la cantidad de concreto para realizar los ensayos de Cono de Abrams.

3.6.11.5. Análisis del revenimiento – Slump del concreto.

Durante el ensayo de revenimiento, de cada tanda se consideró 01 lecturas realizada en el molde Cónico (Cono de Abrams), de esa manera se verifico los asentamientos con la misma cantidad de agua en función del diseño.

a) Procesamiento y cálculos de Datos:

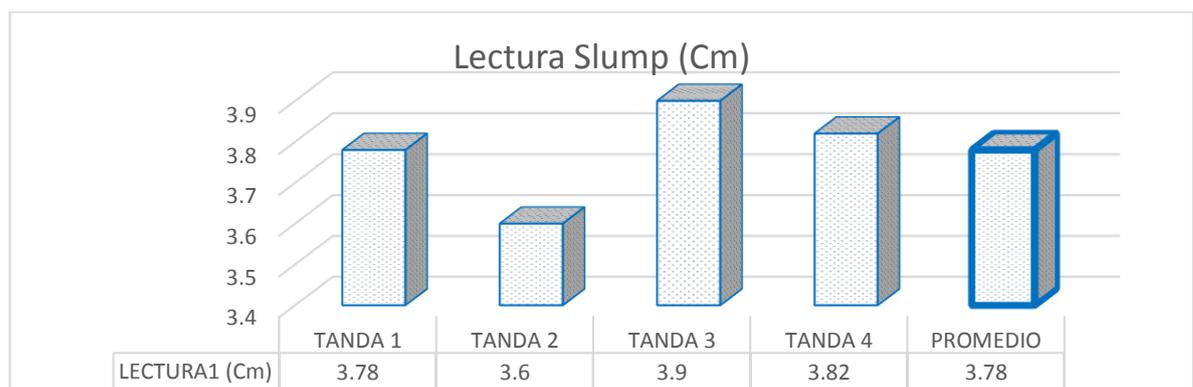
Tabla 98: Revenimiento del concreto

TIPO CONCRETO	SERIE DE VACIADOS	LECTURA1 (Cm)
CONCRETO PATRON F'C:210kg/cm ²	TANDA 1	3.78
	TANDA 2	3.60
	TANDA 3	3.90
	TANDA 4	3.82
PROMEDIO		3.78

Fuente: Elaboración propia.

b) Diagrama de Interpretación:

Figura 88: Diagrama de lecturas de revenimiento del concreto.



Fuente: Elaboración propia.

c) Análisis de Prueba:

Se obtuvo un slump promedio de 3.78" el cual es una mezcla de consistencia plástica y trabajable.

3.6.12. Análisis, resistencia a la compresión axial del concreto.

Para el cálculo de la resistencia a la compresión se utilizó la siguiente expresión:

$$R = \frac{P}{A}$$

Donde:

R= Esfuerzo a la compresión del espécimen (Kg/cm²).

P= Máxima carga aplicada en Peso (kg).

A= Área axial de la cara circular del espécimen (cm²).

A) Procesamiento y cálculos de Datos:

Tabla 99: Cálculo de resistencia a la compresión del concreto patrón

TIEMPO DE CURADO	CÓDIGO PROBETA	MEDIDAS DE LOS TESTIGOS			DATOS DE ROTURA COMPRESIÓN	RESISTENCIA COMPRESIÓN AXIAL	
		Ø-Diámetro Promedio (cm)	H-Altura promedio (cm)	A-ÁREA axial Circular Promedio (cm ²)	Fuerza Aplicada (Kg)	F'c: (Kg/cm ²)	F'c: (Kg/cm ²)
7 días	P-01	9.97	20.1	78.07	10,818.54	138.58	129.54
	P-02	9.91	20.1	77.13	9,738.42	126.26	
	P-03	9.96	20.16	77.91	9,911.43	127.21	
	P-04	9.91	20.03	77.13	9,849.14	127.69	
	P-05	9.97	19.8	78.07	10,053.70	128.78	
	P-06	10.01	19.93	78.70	10,128.21	128.70	
14 días	P-07	10.03	30.4	79.01	14,317.24	181.20	182.76
	P-08	10	30.45	78.54	13,643.84	173.72	
	P-09	10	29.95	78.54	14,534.48	185.06	
	P-10	10.04	30.45	79.17	14,831.03	187.33	
	P-11	10	30.3	78.54	14,351.72	182.73	
	P-12	9.95	30.25	77.76	14,503.45	186.52	
21 días	P-13	9.93	19.93	77.44	15,992.80	206.51	211.53
	P-14	9.88	20	76.67	16,290.91	212.49	
	P-15	9.95	19.97	77.76	16,711.25	214.92	
	P-16	10.02	19.93	78.85	16,448.50	208.59	
	P-17	9.97	19.93	78.07	16,600.00	212.63	
	P-18	9.97	19.87	78.07	16,709.09	214.03	
28 días	P-19	9.93	20.07	77.44	17,607.69	227.36	228.00
	P-20	9.99	20.1	78.38	17,800.00	227.09	
	P-21	9.99	20.07	78.38	18,539.68	236.53	
	P-22	10	19.91	78.54	17,930.77	228.30	
	P-23	10.02	20.07	78.85	17,483.15	221.71	
	P-24	9.98	20.01	78.23	17,757.69	227.01	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 100: Cálculo de resistencia a la compresión del concreto fisurado patrón

TIEMPO DE CURADO	CÓDIGO PROBETA	MEDIDAS DE LOS TESTIGOS			DATOS DE ROTURA COMPRESIÓN	RESISTENCIA COMPRESIÓN AXIAL	
		Ø- Diámetro Promedio (cm)	H-Altura promedio (cm)	A-Área axial Circular Promedio (cm ²)	Fuerza Aplicada (Kg)	F'c: (Kg/cm ²)	F'c: (Kg/cm ²)
7 días	F-01	10.02	19.98	78.85	8,069.05	102.33	61.49
	F-02	10.05	20.12	79.33	4,292.41	54.11	
	F-03	9.88	19.98	76.67	5,555.93	72.47	
	F-04	9.92	19.98	77.29	3,560.09	46.06	
	F-05	9.97	20.05	78.07	4,428.75	56.73	
	F-06	9.9	19.98	76.98	2,867.83	37.26	
14 días	F-07	10	30.25	78.54	2,686.31	34.20	69.83
	F-08	10.05	30.25	79.33	6,680.36	84.21	
	F-09	9.94	30.05	77.60	7,579.70	97.68	
	F-10	9.93	30.05	77.44	5,536.46	71.49	
	F-11	9.88	30.25	76.67	2,214.92	28.89	
	F-12	9.95	30.1	77.76	7,971.23	102.52	
21 días	F-13	9.93	19.8	77.44	3,198.47	41.30	61.69
	F-14	9.72	19.87	74.20	7,742.52	104.34	
	F-15	10.03	19.93	79.01	4,040.66	51.14	
	F-16	10.03	19.87	79.01	6,633.85	83.96	
	F-17	10.05	19.97	79.33	4,843.87	61.06	
	F-18	9.97	19.97	78.07	2,211.88	28.33	
28 días	F-19	9.98	19.93	78.23	6,036.06	77.16	67.61
	F-20	10.05	20.1	79.33	3,811.47	48.05	
	F-21	9.9	20.03	76.98	4,567.19	59.33	
	F-22	10.03	20.03	79.01	2,488.70	31.50	
	F-23	10.05	20	79.33	6,857.28	86.44	
	F-24	10	19.9	78.54	8,105.37	103.20	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 101: cálculo de resistencia a la compresión del concreto fisurado + solución A + Solución B_N, Curadas con solución A + Solución B_N

TIEMPO DE CURADO	CÓDIGO PROBETA	MEDIDAS DE LOS TESTIGOS			DATOS DE ROTURA COMPRESIÓN	RESISTENCIA COMPRESIÓN AXIAL	
		Ø-Diámetro Promedio (cm)	H-Altura promedio (cm)	A-Área axial Circular Promedio (cm ²)	Fuerza Aplicada (Kg)	F'c: (Kg/cm ²)	F'c: (Kg/cm ²)
7 días	A-01	10.02	19.8	78.85	6,705.25	85.03	68.39
	A-02	9.93	19.77	77.44	2,756.31	35.59	
	A-03	9.95	20.06	77.76	4,879.25	62.75	
	A-04	10	20.06	78.54	5,707.00	72.66	
	A-05	9.97	20.03	78.07	8,789.40	112.58	
	A-06	9.93	19.83	77.44	3,233.02	41.75	
14 días	A-07	9.88	20	76.67	6,565.82	85.64	78.61
	A-08	9.97	20.03	78.07	1,637.36	20.97	
	A-09	10	20.1	78.54	3,111.91	39.62	
	A-10	9.98	20.03	78.23	10,941.12	139.87	
	A-11	9.97	20.06	78.07	7,685.45	98.44	
	A-12	9.97	19.97	78.07	6,799.06	87.09	
21 días	A-13	10	20.1	78.54	4,680.33	59.59	101.45
	A-14	10	20.03	78.54	5,877.53	74.84	
	A-15	9.92	20.04	77.29	7,630.91	98.73	
	A-16	9.92	19.8	77.29	9,851.37	127.46	
	A-17	9.95	19.9	77.76	7,643.72	98.30	
	A-18	9.95	19.8	77.76	11,645.00	149.76	
28 días	A-19	9.98	19.93	78.23	12242.29	156.50	129.80
	A-20	9.97	19.9	78.07	9386.68	120.24	
	A-21	9.95	19.97	77.76	7500.12	96.46	
	A-22	9.9	19.93	76.98	14357.19	186.51	
	A-23	9.97	20.07	78.07	10245.96	131.24	
	A-24	9.98	19.93	78.23	6873.12	87.86	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 102: cálculo de resistencia a la compresión del concreto fisurado + solución A + Solución B_N, Curadas con Agua

TIEMPO DE CURADO	CÓDIGO PROBETA	MEDIDAS DE LOS TESTIGOS			DATOS DE ROTURA COMPRESIÓN	RESISTENCIA COMPRESIÓN AXIAL	
		∅- Diámetro Promedio (cm)	H-Altura promedio (cm)	A-ÁREA axial Circular Promedio (cm ²)	Fuerza Aplicada (Kg)	F'c: (Kg/cm ²)	F'c: (Kg/cm ²)
7 días	A-25	9.94	19.87	77.60	2,812.81	36.25	66.65
	A-26	9.92	19.87	77.29	6,841.16	88.51	
	A-27	9.85	20	76.20	2,068.53	27.15	
	A-28	9.97	19.93	78.07	4,419.25	56.61	
	A-29	9.97	20	78.07	8,392.27	107.50	
	A-30	10	19.93	78.54	6,589.16	83.90	
14 días	A-31	9.9	19.77	76.98	7,325.89	95.17	83.95
	A-32	9.88	19.83	76.67	3,111.78	40.59	
	A-33	9.87	19.8	76.51	6,315.21	82.54	
	A-34	9.9	19.97	76.98	7,484.46	97.23	
	A-35	9.92	19.87	77.29	10,170.13	131.59	
	A-36	9.92	19.8	77.29	4,372.02	56.57	
21 días	A-37	9.93	20	77.44	5,395.09	69.66	88.29
	A-38	9.97	19.93	78.07	6,737.63	86.30	
	A-39	9.9	19.8	76.98	3,724.83	48.39	
	A-40	9.92	19.87	77.29	7,278.48	94.17	
	A-41	9.93	19.97	77.44	9,980.18	128.87	
	A-42	9.93	19.9	77.44	7,926.65	102.35	
28 días	A-43	9.98	19.93	78.23	9,111.94	116.48	107.82
	A-44	9.97	19.9	78.07	5,852.87	74.97	
	A-45	9.95	19.97	77.76	9,988.46	128.46	
	A-46	9.9	19.93	76.98	4,987.88	64.80	
	A-47	9.97	20.07	78.07	7,679.91	98.37	
	A-48	9.98	19.93	78.23	12,814.75	163.82	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 103: Cálculo de resistencia a la compresión del concreto fisurado + solución A + Solución B_L, Curadas con solución A + Solución B_L

TIEMPO DE CURADO	CÓDIGO PROBETA	MEDIDAS DE LOS TESTIGOS			DATOS DE ROTURA COMPRESIÓN	RESISTENCIA COMPRESIÓN AXIAL	
		Ø-Diámetro Promedio (cm)	H-Altura promedio (cm)	A-ÁREA axial Circular Promedio (cm ²)	Fuerza Aplicada (Kg)	F'c: (Kg/cm ²)	F'c: (Kg/cm ²)
7 días	B-01	9.85	20.1	76.20	6,980.89	91.61	71.84
	B-02	9.98	19.93	78.23	2,609.14	33.35	
	B-03	10	19.93	78.54	4,634.96	59.01	
	B-04	9.98	20	78.23	3,507.01	44.83	
	B-05	10	19.93	78.54	8,851.43	112.70	
	B-06	10	19.87	78.54	7,032.14	89.54	
14 días	B-07	9.88	19.9	76.67	3,757.12	49.01	84.85
	B-08	9.84	19.9	76.05	5,130.56	67.47	
	B-09	9.9	19.8	76.98	7,272.92	94.48	
	B-10	9.93	19.87	77.44	9,085.22	117.31	
	B-11	9.93	19.73	77.44	7,178.33	92.69	
	B-12	9.92	19.83	77.29	6,810.20	88.11	
21 días	B-13	9.93	19.83	77.44	6,171.28	79.69	89.37
	B-14	9.93	19.87	77.44	4,690.91	60.57	
	B-15	9.93	19.97	77.44	9,147.86	118.12	
	B-16	9.95	19.77	77.76	4,592.25	59.06	
	B-17	9.87	19.83	76.51	7,190.04	93.97	
	B-18	9.92	19.9	77.29	9,644.32	124.78	
28 días	B-19	9.9	19.97	76.98	14,087.68	183.01	139.58
	B-20	9.92	19.83	77.29	12,068.20	156.15	
	B-21	9.88	19.9	76.67	7,423.58	96.83	
	B-22	9.92	19.8	77.29	8,320.98	107.66	
	B-23	9.87	19.83	76.51	9,566.04	125.03	
	B-24	9.88	19.8	76.67	12,940.00	168.78	

Fuente: Elaboración propia.

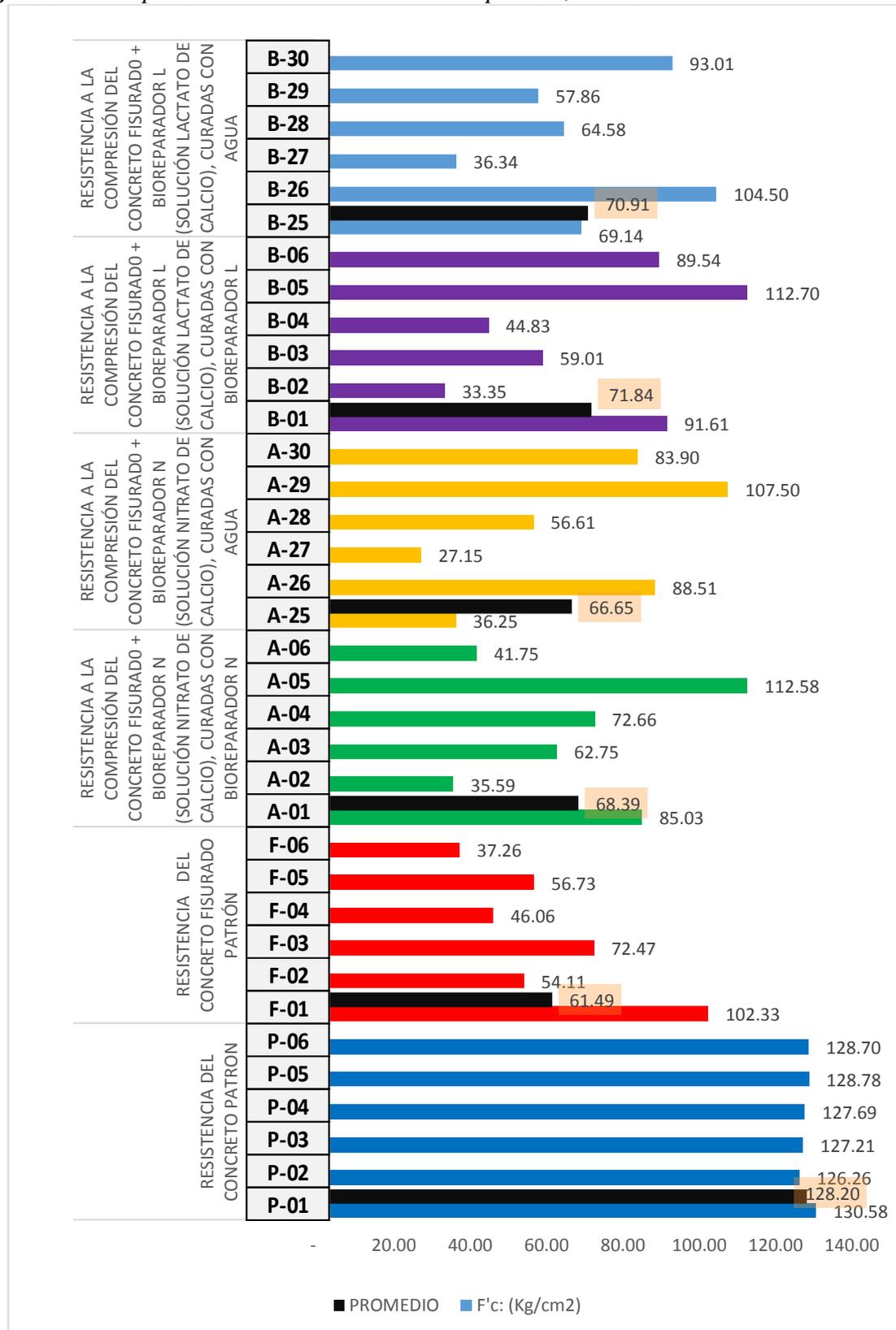
Tabla 104: Cálculo de resistencia a la compresión del concreto fisurado + solución A + Solución B_L, Curadas con Agua.

TIEMPO DE CURADO	CÓDIGO PROBETA	MEDIDAS DE LOS TESTIGOS			DATOS DE ROTURA COMPRESIÓN	RESISTENCIA COMPRESIÓN AXIAL	
		Ø-Diámetro Promedio (cm)	H-Altura promedio (cm)	A-ÁREA axial Circular Promedio (cm ²)	Fuerza Aplicada (Kg)	F'c: (Kg/cm ²)	F'c: (Kg/cm ²)
7 días	B-25	10	19.87	78.54	5,430.36	69.14	70.91
	B-26	9.92	19.9	77.29	8,076.78	104.50	
	B-27	10	19.93	78.54	2,853.99	36.34	
	B-28	9.98	20.03	78.23	5,051.91	64.58	
	B-29	9.92	19.93	77.29	4,472.13	57.86	
	B-30	9.95	19.93	77.76	7,232.12	93.01	
14 días	B-31	9.93	19.93	77.44	4,496.55	58.06	77.82
	B-32	9.93	19.93	77.44	5,688.25	73.45	
	B-33	9.92	19.87	77.29	9,704.59	125.56	
	B-34	9.95	19.87	77.76	5,145.67	66.18	
	B-35	9.93	20	77.44	3,630.15	46.87	
	B-36	9.93	19.93	77.44	7,494.37	96.77	
21 días	B-37	9.92	19.9	77.29	6,908.66	89.39	92.93
	B-38	9.98	19.8	78.23	8,301.59	106.12	
	B-39	9.98	19.97	78.23	7,675.71	98.12	
	B-40	10	19.93	78.54	4,846.67	61.71	
	B-41	9.98	19.97	78.23	10,511.50	134.37	
	B-42	9.97	20	78.07	5,298.47	67.87	
28 días	B-43	9.98	20.1	78.23	7,594.48	97.08	99.79
	B-44	9.88	19.8	76.67	8,416.48	109.78	
	B-45	9.98	19.9	78.23	8,894.09	113.70	
	B-46	9.92	19.83	77.29	11,412.44	147.66	
	B-47	9.92	19.83	77.29	5,579.13	72.19	
	B-48	9.97	19.87	78.07	4,553.77	58.33	

Fuente: Elaboración propia.

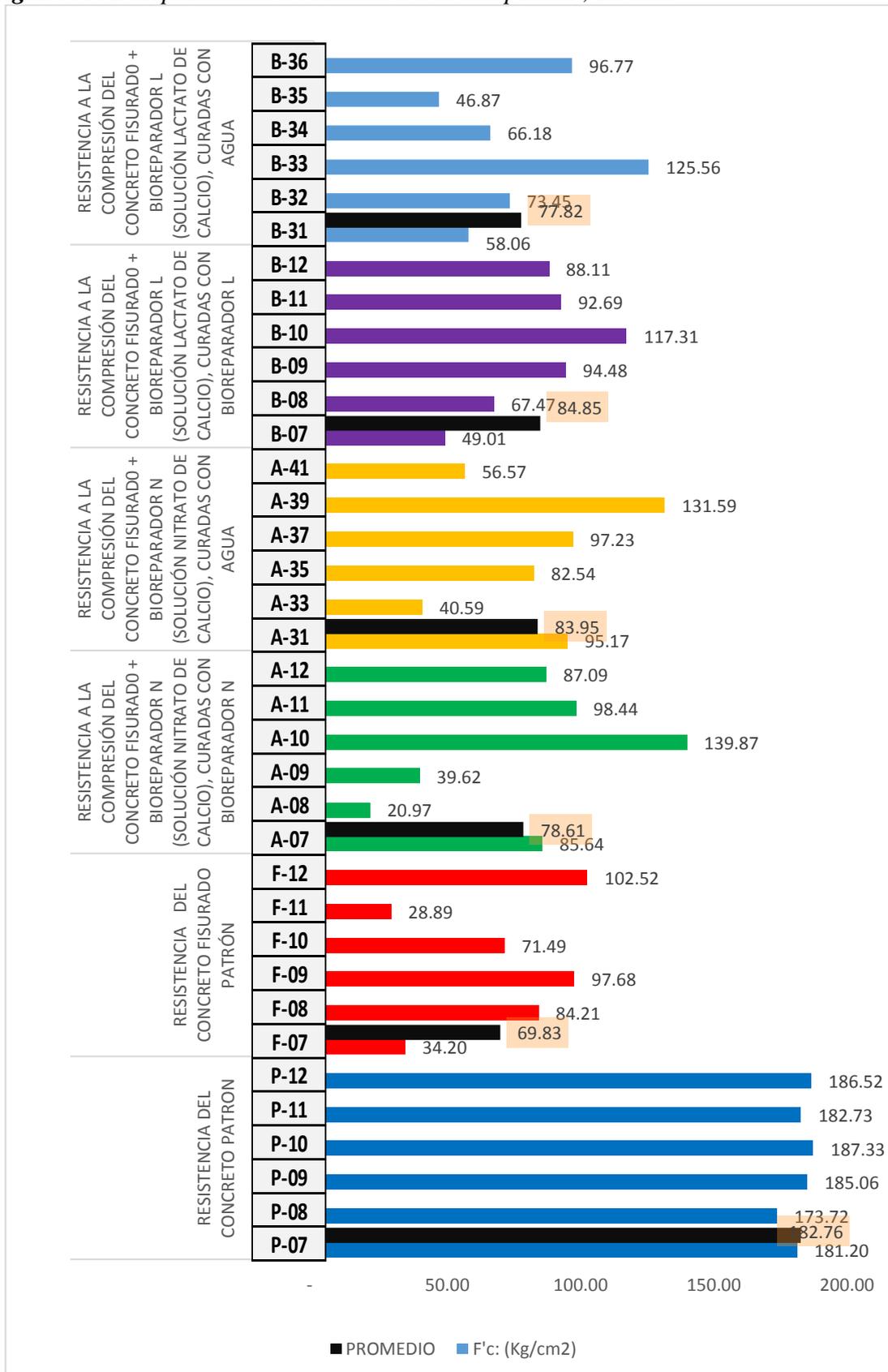
b) Diagrama de Interpretación:

Figura 89: Interpretación de resultados a la compresión, 7 días.



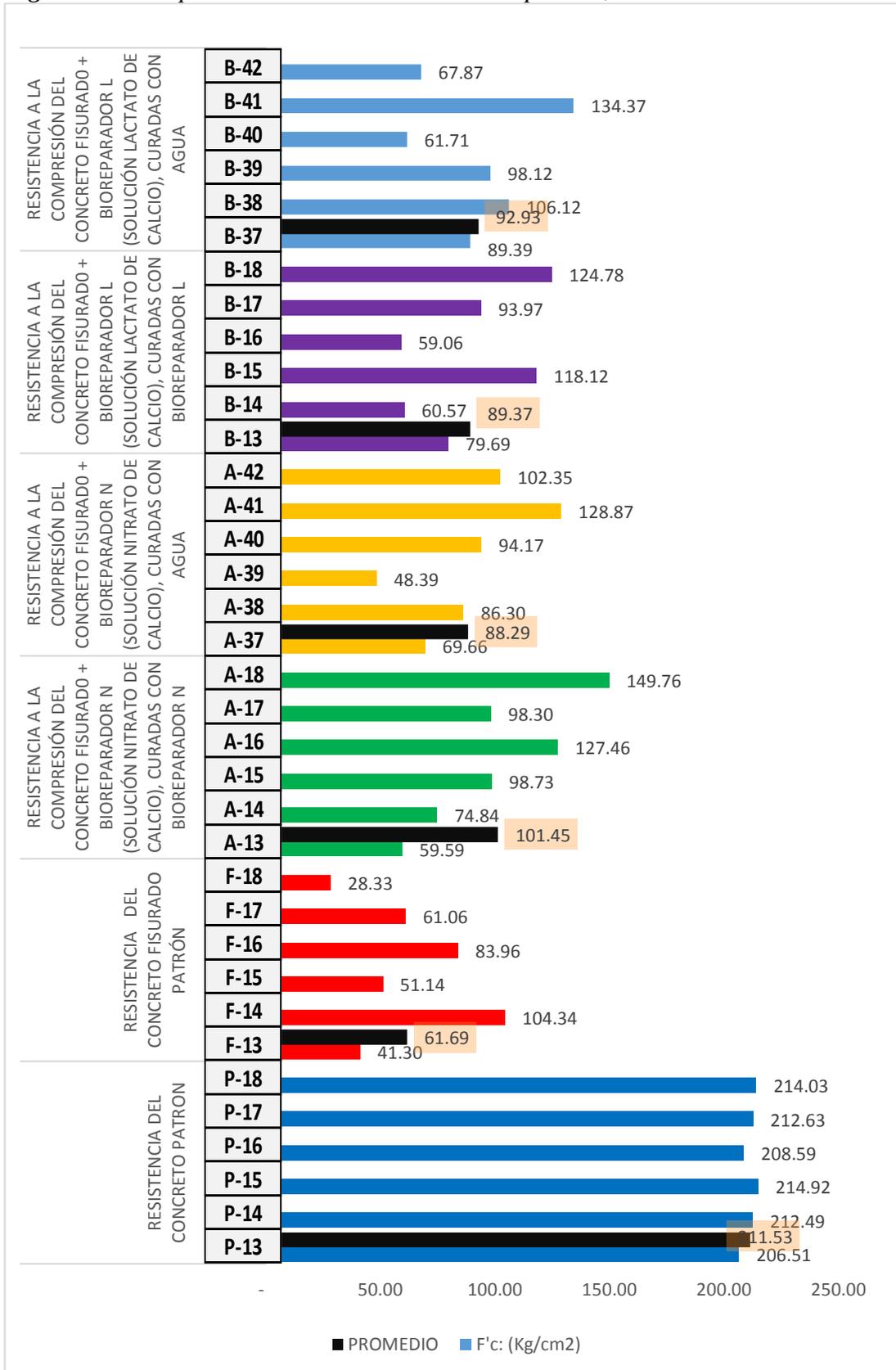
Fuente: Elaboración propia.

Figura 90: Interpretación de resultados a la compresión, 14 días.



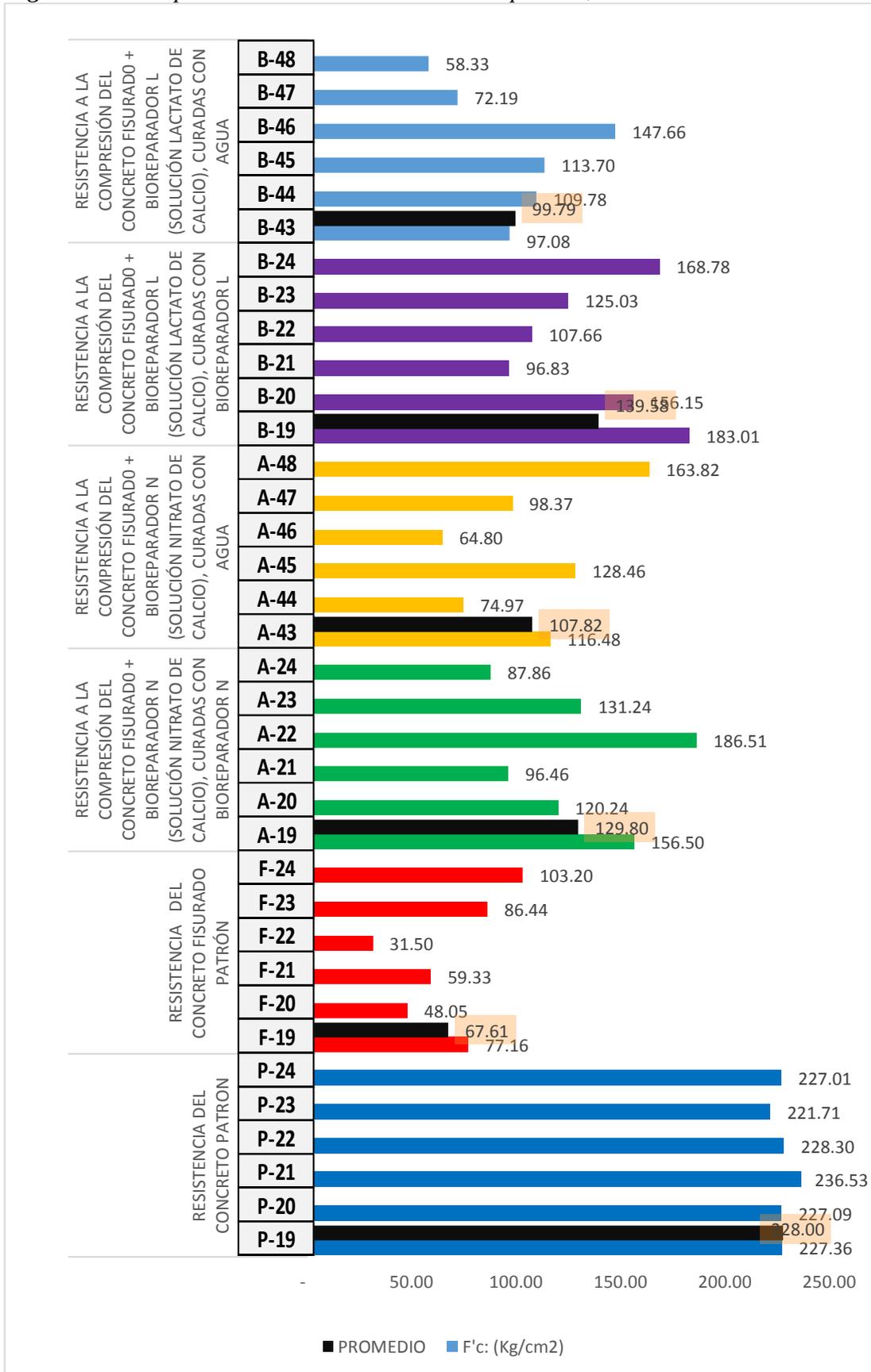
Fuente: Elaboración propia.

Figura 91: Interpretación de resultados a la compresión, 21 días.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 92: Interpretación de resultados a la compresión, 28 días.



Fuente: Elaboración propia.

c) Análisis de Prueba.

- Se puede observar que la resistencia del concreto fisurado patrón, no muestra algún cambio de resistencia con respecto al concreto fisurado que si se le aplico solución bioreparadora el cual pudo mejorar la resistencia del concreto significativamente.
- Primeramente la resistencia del concreto patrón a los 7, 14, 21 y 28 días, solo se utilizó con fines con fines de tener un concreto que se asemeja a la mayor cantidad de estructuras de concreto en nuestra ciudad.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. RESULTADO DEL TIEMPO DE CRECIMIENTO Y ESPORULACIÓN DE *Bacillus subtilis*.

El crecimiento de las bacterias dentro de un medio de cultivo (BHI), incubado a 35 °C, en condiciones asépticas y esterilización, controladas cada hora fue de 23 horas como muestra la tabla siguiente.

Tabla 105: *Tiempo de obtención de la mayor concentración de bacterias*

Tiempo	Lectura Espectrofotómetro	Tiempo	Lectura Espectrofotómetro
Hora	Densidad Óptica	Hora	Densidad Óptica
00:00	0.000	16:00	0.154
01:00	0.001	17:00	0.191
02:00	0.004	18:00	0.234
03:00	0.001	19:00	0.275
04:00	0.004	20:00	0.334
05:00	0.009	21:00	0.391
06:00	0.012	22:00	0.451
07:00	0.015	23:00	0.518
08:00	0.021	00:00	0.500
09:00	0.027	01:00	0.498
10:00	0.038	02:00	0.480
11:00	0.050	03:00	0.462
12:00	0.065	04:00	0.439
13:00	0.078	05:00	0.417
14:00	0.098	06:00	0.397
15:00	0.121	07:00	0.375

Fuente: Elaboración propia.

La cantidad de esporas obtenida de un medio de cultivo con bacterias, después de la centrifugación fue para 200 mL. de solución 1.50 mL. de spora bacteriana; para una solución de 400 mL. fue 3.00 mL. de spora bacteriana y finalmente para una solución de 1000 mL. de medio de cultivo con bacterias fue 7.50 mL. de esporas bacterianas.

Tabla 106: Equivalencia de solución de un medio de cultivo con bacterias para la obtención de esporas bacterianas en mililitros (mL).

MEDIO DE CULTIVO + BACTERIAS (mL)	OBTENCIÓN DE ESPORAS (mL)
200	1.50
400	3.00
1000	7.50

Fuente: Elaboración propia.

4.2. RESULTADO DE LA APLICACIÓN DEL BIOREPARADOR.

La cantidad inyectada en las briquetas fisuradas es distinta para cada una, puesto que las fisuras no tienen el mismo tipo de rotura y la forma de aplicación fueron mediante inyección de solución A y B, aspersión con solución A y B, curado con agua destilada y solución A y B en una proporción de 1:1.

El ancho de las fisuras en las briquetas varía desde 0.3mm hasta 1.50 mm. Por esta razón la cantidad de solución A y B inyectada dentro de las fisuras, contenían diferentes volúmenes en mililitros.

Figura 93: Briqueta fisura aplicada con solución bioreparador.



Fuente: Elaboración propia.

El método más adecuado para bioreparar la fisura, fue mediante inyección y aspersión. Por inyección, es fácil la manipulación y medible. La solución A y B se inyectaron la misma cantidad (mL) en la fisura.

Por aspersión fue mezclando tanto la solución A y B, las mismas que por presión ingresaban a la fisura.

Figura 94: Fisuras bioreparadas



Fuente: Elaboración propia.

4.3.RESULTADO DEL DESARROLLO DEL BIOREPARADOR EN BRIQUETAS FISURADAS.

Se pudo observar a nivel estereoscópico, con un aumento de 2X, 4X y 7X que hay precipitación de carbonato de calcio, el cual nos indica que este proceso de formación tiene 28 días y según las muestras llevadas a ensayos de compresión mantuvieron la resistencia; asimismo nos indica que la precipitación de carbonato de calcio podría aumentar la resistencia.

Figura 95: Vista a estereoscopio 2x.



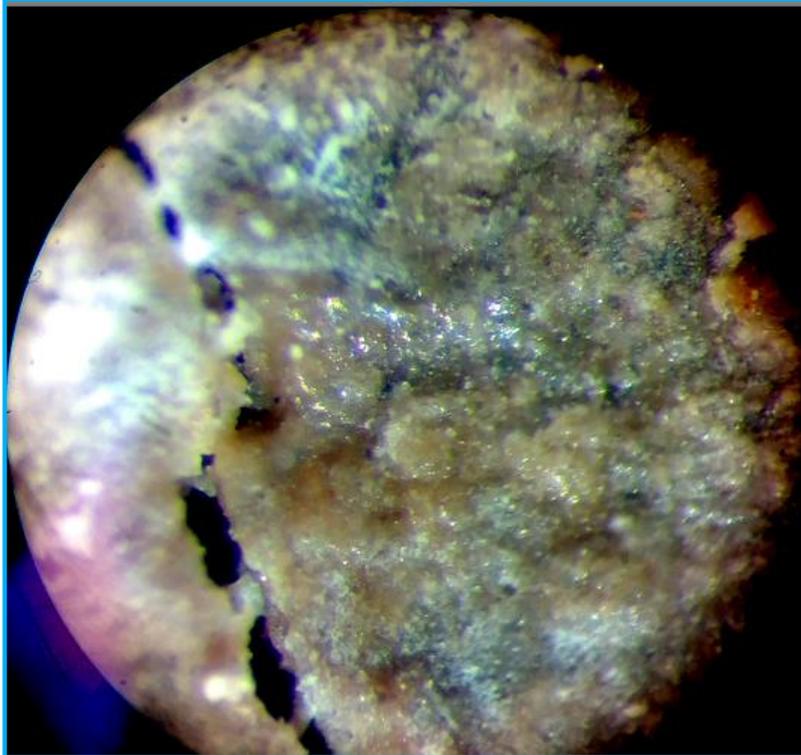
Fuente: Elaboración propia.

Figura 96: Observación de la precipitación de carbonato de calcio mediante la observación en estereoscopio.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 97: *Formación del carbonato de calcio.*



Fuente: Elaboración propia.

Figura 98: *Cristales de carbonato de calcio.*



Fuente: Elaboración propia.

4.4. RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO.

Los valores de f_c obtenidos del ensayo a la compresión con los dos tipos de bioreparador fueron evaluadas a los 7, 14, 21 y 28 días. Los resultados se evidencian en las siguientes figuras y tablas.

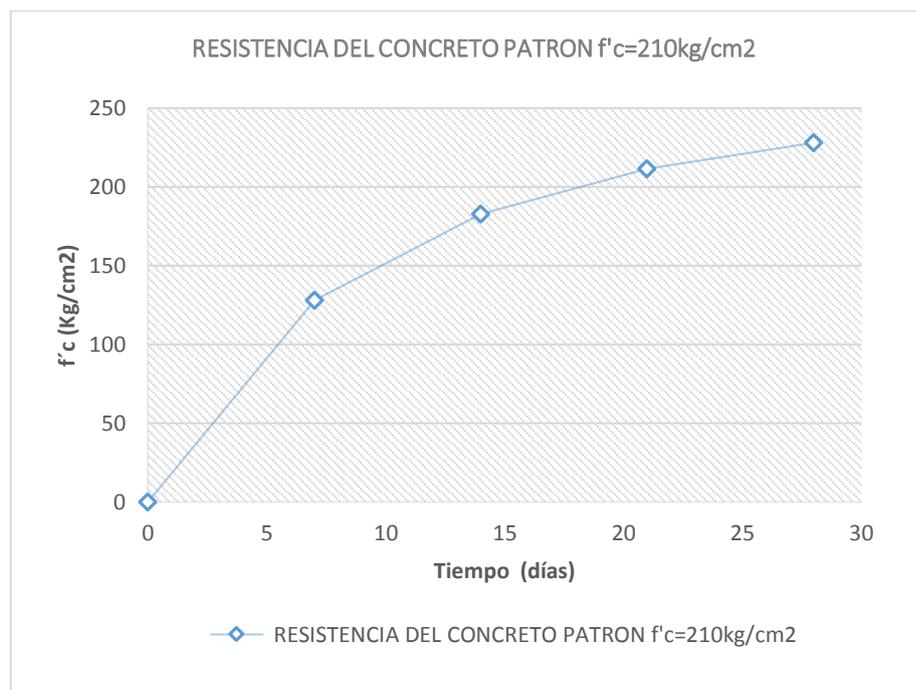
4.4.1 Resistencia concreto f'_c : 210 kg/cm² - Patrón.

Tabla 107: Resistencia a la compresión del concreto patrón

RESISTENCIA DEL CONCRETO PATRON		
EDAD (días)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN $f'_c=210\text{kg/cm}^2$	RESISTENCIA (%)
7	128.20	61.05%
14	182.76	87.03%
21	211.53	100.73%
28	228.00	108.57%

Fuente: Elaboración propia

Figura 99: Representación gráfica de la resistencia a la compresión del concreto patrón



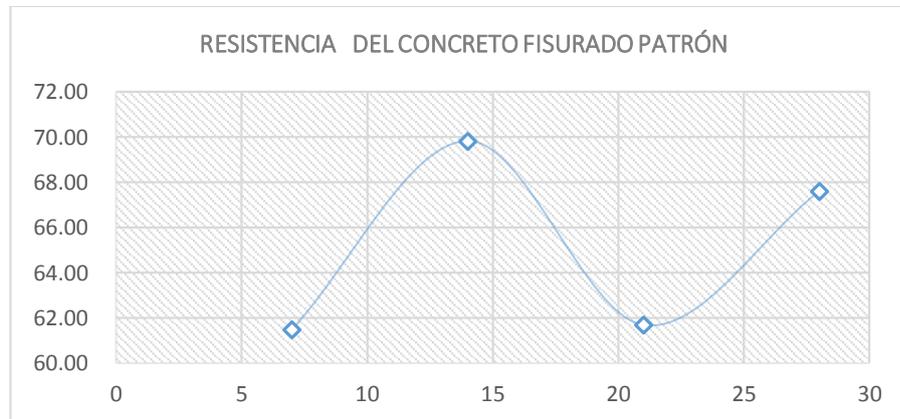
Fuente: Elaboración propia

Tabla 108: Resistencia a la compresión del concreto fisurado patrón

RESISTENCIA DEL CONCRETO FISURADO PATRÓN		
EDAD (días)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN $f_c=210\text{kg/cm}^2$	RESISTENCIA (%)
7	61.49	29.28%
14	69.83	33.25%
21	61.69	29.38%
28	67.61	32.20%

Fuente: Elaboración propia

Figura 100: Representación gráfica de la resistencia la compresión del concreto fisurado patrón



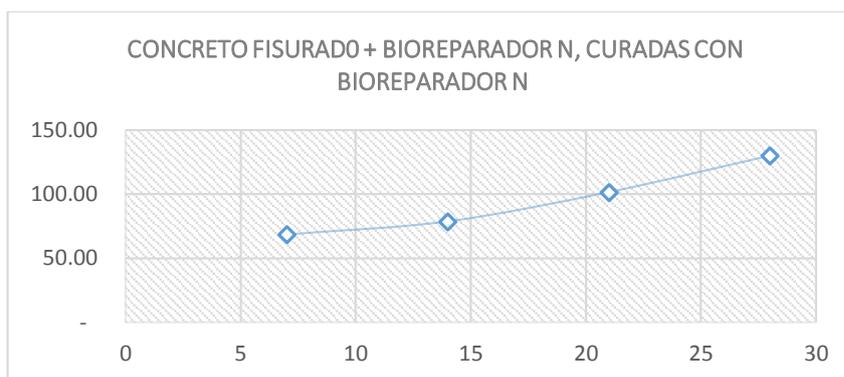
Fuente: Elaboración propia

Tabla 109: Resistencia a la compresión del concreto fisurado + Bioreparador N (Solución Nitrato de Calcio), Curadas Con Bioreparador N

CONCRETO FISURADO + BIOREPARADOR N, CURADAS CON BIOREPARADOR N		
EDAD (días)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN $f_c=210\text{kg/cm}^2$	RESISTENCIA (%)
7	68.39	32.57%
14	78.61	37.43%
21	101.45	48.31%
28	129.80	61.81%

Fuente: Elaboración propia

Figura 101: Representación gráfica de la resistencia la compresión del concreto fisurado + Bioreparador N (Solución Nitrato de Calcio), Curadas Con Bioreparador N



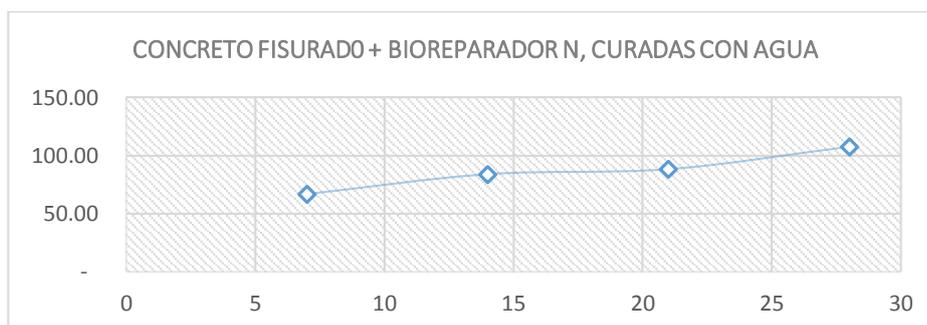
Fuente: Elaboración propia

Tabla 110: Resistencia a la compresión del concreto fisurado + Bioreparador N (Solución Nitrato de Calcio), Curadas con Agua.

CONCRETO FISURADO + BIOREPARADOR N, CURADAS CON AGUA		
EDAD (días)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN $f_c=210\text{kg/cm}^2$	RESISTENCIA (%)
7	66.65	31.74%
14	83.95	39.97%
21	88.29	42.04%
28	107.82	51.34%

Fuente: Elaboración propia

Figura 102: Representación gráfica de la resistencia la compresión del concreto fisurado + Bioreparador N (Solución Nitrato de Calcio), Curadas con Agua.



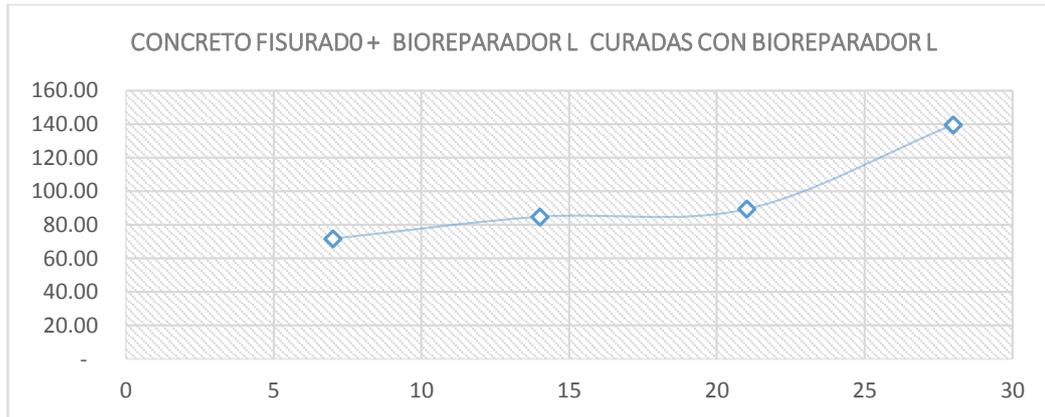
Fuente: Elaboración propia

Tabla 111: Resistencia a la compresión del concreto fisurado + Bioreparador L (Solución Lactato de Calcio), Curadas con Bioreparador L.

CONCRETO FISURADO + BIOREPARADOR L CURADAS CON BIOREPARADOR L		
EDAD (días)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN $f_c=210\text{kg/cm}^2$	RESISTENCIA (%)
7	71.84	34.21%
14	84.85	40.40%
21	89.37	42.56%
28	139.58	66.47%

Fuente: Elaboración propia

Figura 103: Representación gráfica de la resistencia la compresión del concreto fisurado + Bioreparador L (Solución Lactato de Calcio), Curadas con Bioreparador L.



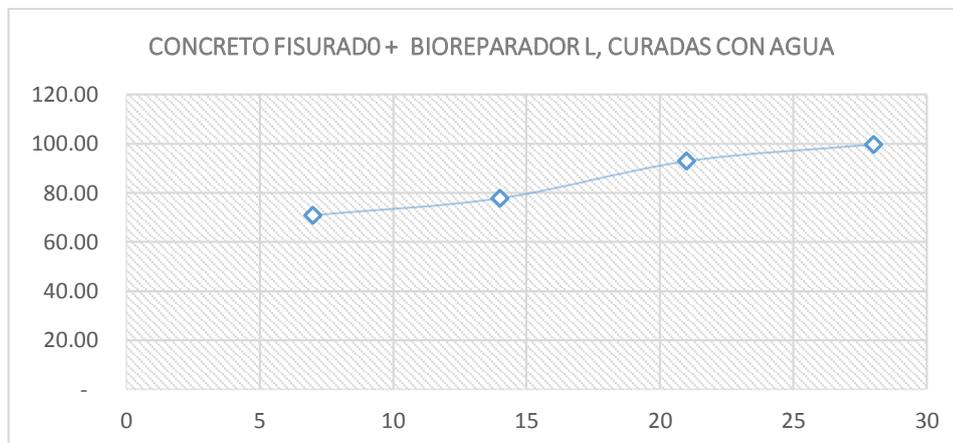
Fuente: Elaboración propia

Tabla 112: Resistencia a la compresión del concreto fisurado + Bioreparador L (Solución Lactato de Calcio), Curadas con Agua.

CONCRETO FISURADO+ BIOREPARADOR L, CURADAS CON AGUA		
EDAD (días)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN $f_c=210\text{kg/cm}^2$	RESISTENCIA (%)
7	70.91	33.76%
14	77.82	37.06%
21	92.93	44.25%
28	99.79	47.52%

Fuente: Elaboración propia

Figura 104: Representación gráfica de la resistencia la compresión del concreto fisurado + Bioreparador L (Solución Lactato de Calcio), Curadas con Agua.



Fuente: Elaboración propia.

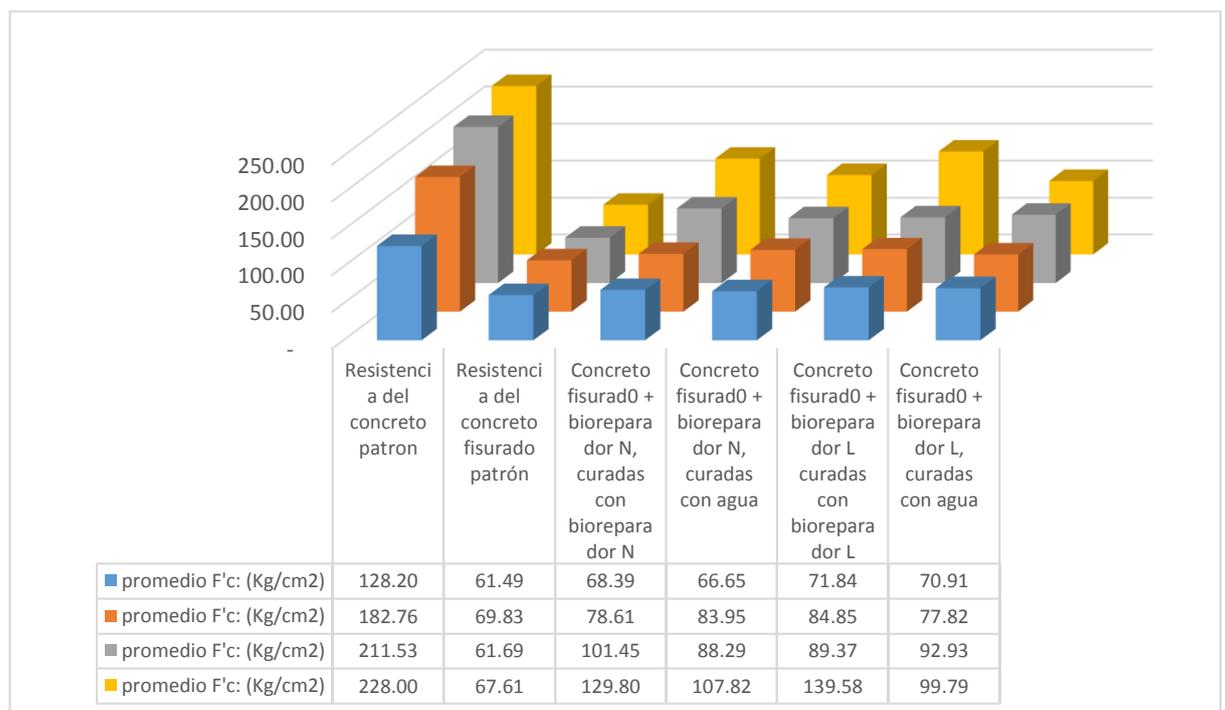
4.4.2 Resultados de la resistencia a la compresión

Tabla 113: Resultados de la resistencia de los diferentes ensayos

TIPO DE TESTIGO	Promedio F'c: Kg/cm ² (7 días)	Promedio F'c: Kg/cm ² (14 días)	Promedio F'c: Kg/cm ² (21 días)	Promedio F'c: Kg/cm ² (28 días)
Resistencia del concreto patrón	128.20	182.76	211.53	228.00
Resistencia del Concreto fisurado patrón	61.49	69.83	61.69	67.61
Concreto fisurado + bioreparador N, curadas con bioreparador N	68.39	78.61	101.45	129.80
Concreto fisurado + bioreparador N, curadas con agua	66.65	83.95	88.29	107.82
Concreto fisurado + bioreparador L curadas con bioreparador L	71.84	84.85	89.37	139.58
Concreto fisurado + bioreparador L, curadas con agua	70.91	77.82	92.93	99.79

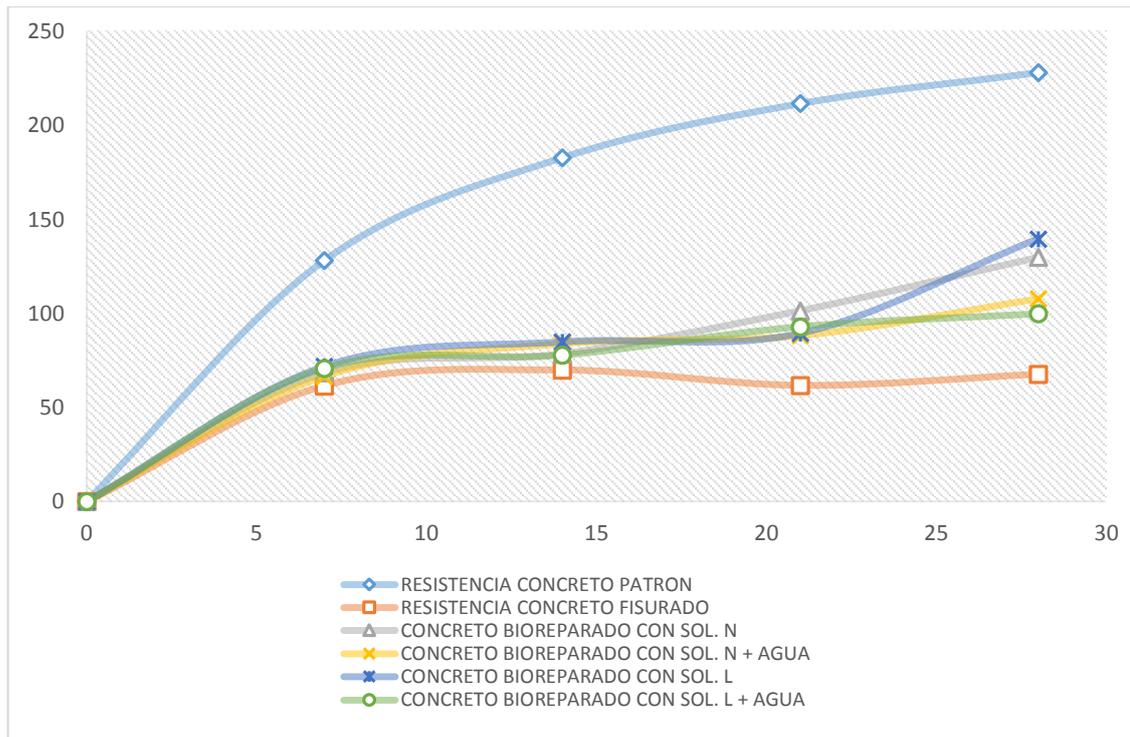
Fuente: Elaboración propia

Figura 105: Análisis gráfico de las resistencia promedio de las diferentes pruebas de resistencia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 106: Representación gráfica de la resistencia promedio de la compresión de las diferentes pruebas de resistencia



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

¿Por qué se eligió el tipo de bacteria?

Se eligió por características fisiológicas que poseen este tipo de bacterias del género *Bacillus*, puesto que su aplicación dentro del concreto le da mayor resistencia en comparación con otro tipo de bacterias de otros géneros; en el trabajo de investigación se realizó con la especie *Bacillus subtilis*, la cual cumple con especificaciones para este tipo de estudio.

¿Cómo es la curva de crecimiento de las bacterias en frascos de 200 mL, 400 mL y 1000 mL?

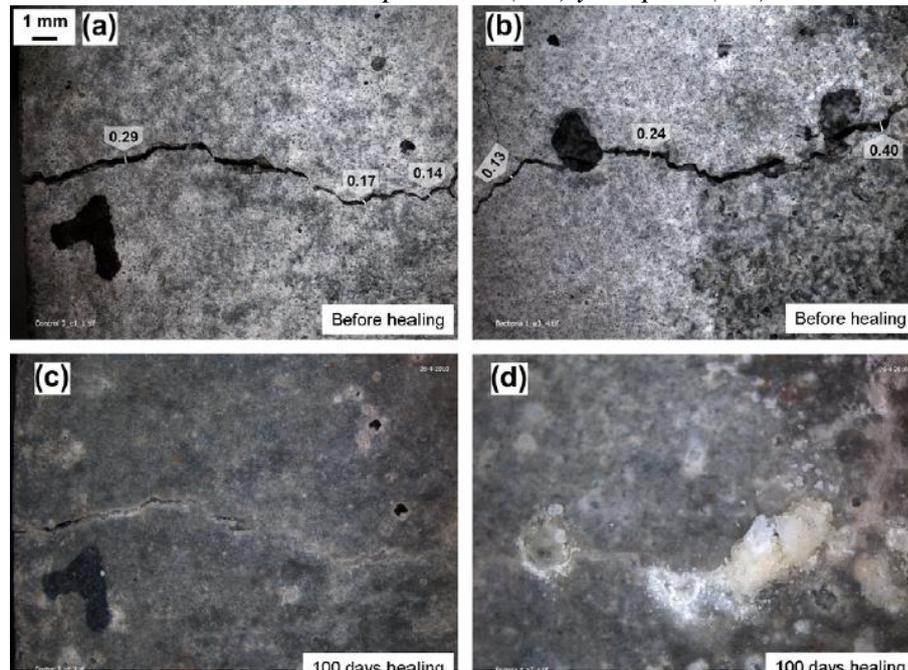
El medio de cultivo con bacterias alcalínicas varía según el volumen del frasco respecto a la curva de crecimiento; esto se debe a que las bacterias en frascos de 200 mL tuvieron una fase de latencia de hasta 9 horas, en cambio los frascos con los medios de cultivo y bacterias de 400 mL tuvo una fase de latencia de 12 horas, y finalmente los frascos con medios de cultivo de 1000 mL tuvieron una fase de latencia de 16 horas.

¿Por qué la aplicación de la solución de bioreparador en las muestras de concreto fisurado no fue por inmersión?

Los componentes de las soluciones tanto la solución A y B tuvieron que simularse de manera más real, puesto que al emplear en una infraestructura en la vida real, estas soluciones se deben inyectar para que la solución de bioreparador pueda remediar al concreto o lo mismo cuando se hizo por aspersión con agua destilada en las muestras de concreto fisurado, se simuló las precipitaciones pluviales en las infraestructuras.

La publicación de Wiktor *et al.* (2011), demostró que en las bacterias basadas en auto-reparación de las fisuras del concreto con una anchura de hasta 0.5 mm podría ser reparado, mientras que la reparación en las muestras de control se limita a sólo 0.2 mm de ancho de fisura.

Figura 107: Vista a estereoscopio antes (a,b) y después (c,d).



Fuente: Quantification of crack-healing in novel bacteria-based self-healing concrete.

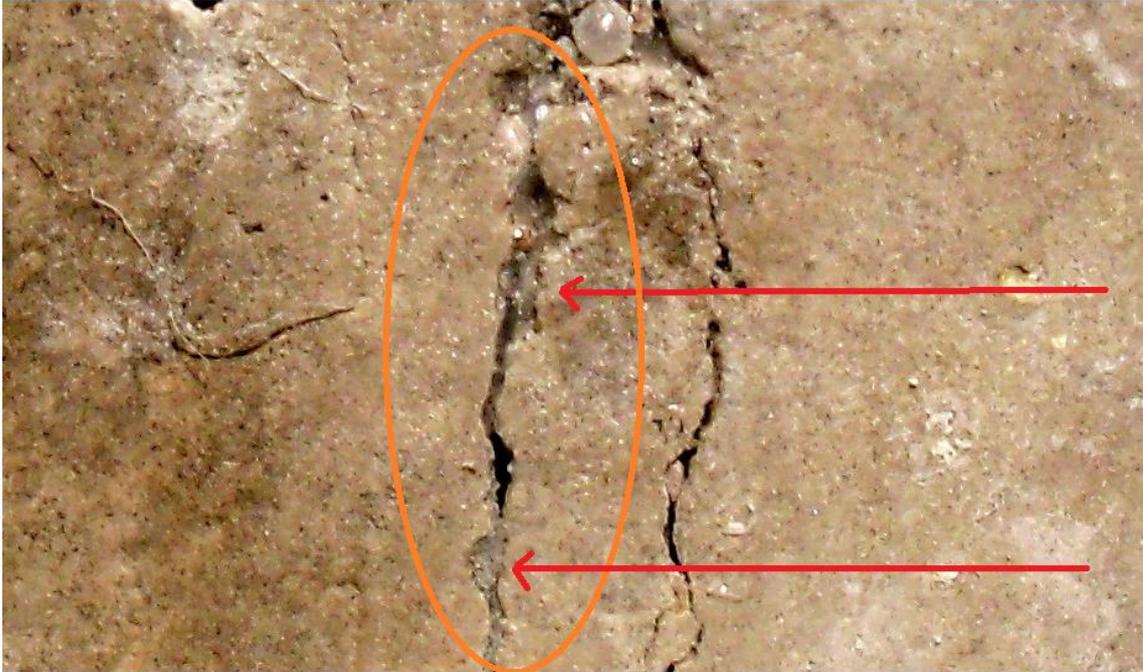
En nuestro estudio a nivel macroscópico y estereoscopio se pudo observar la formación de una mancha blanquecina, que indica el proceso de precipitado de carbonato de calcio en un ancho de fisura menor a 0.50 mm.

Figura 108: Comparación del proceso de reparación.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 109: *Reparación de fisuras*



Fuente: Elaboración propia.

Figura 110: *Reparación de fisuras menores a 0.5 mm de ancho.*



Fuente: Elaboración propia.

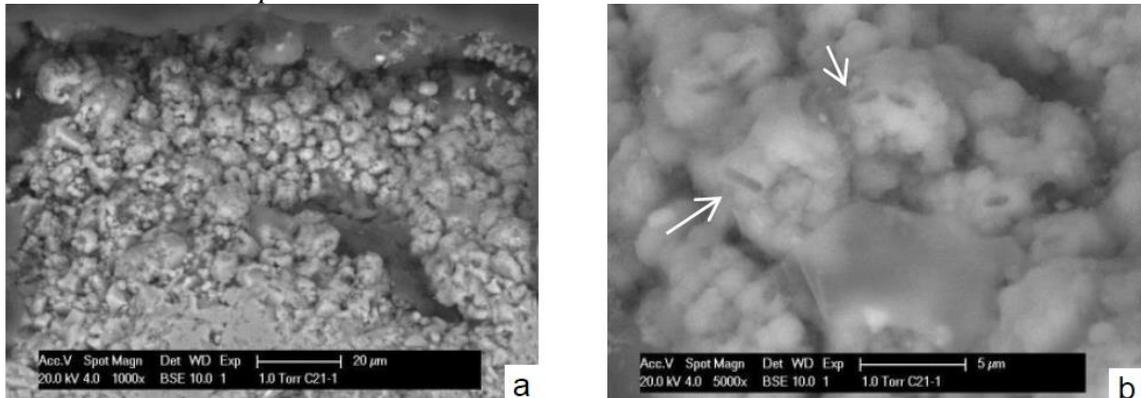
Figura 111: *Formación de cristales*



Fuente: Elaboración propia.

Sangadji *et al.* (2013). Determinó que el cierre de la fisura en el haz de inyección de la solución basada en bacterias puede ser inducido por bacterias. Además afirma que la recuperación mecánica en términos de resistencia y rigidez de la viga de post-cicatrización basada en bacterias es bastante limitada, el sellado de la grieta funciona de manera efectiva y la estanqueidad a los líquidos puede estar asegurada.

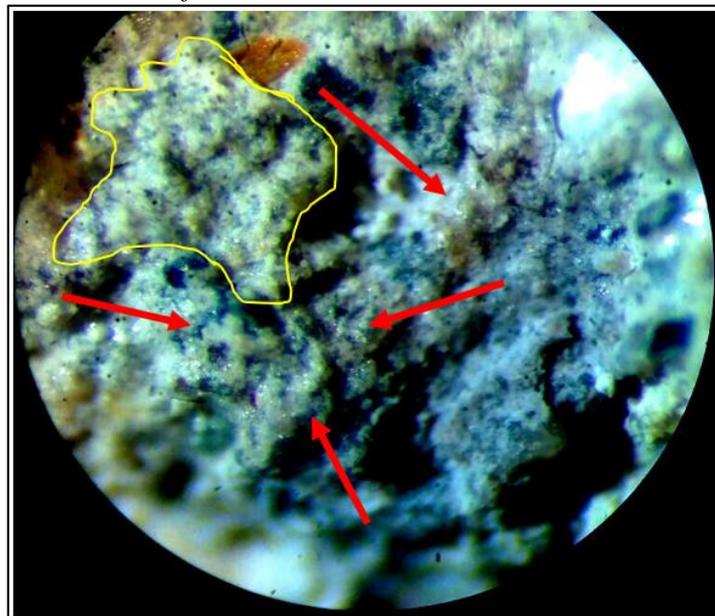
Figura 112: Formación de mineral calcio, basado en una serie de 21 días, (b) a una vista de 500x se muestra presencia de bacterias.



Fuente: Injecting a liquid bacteria-based repair system to make porous network concrete healed.

En la presente investigación se observó mediante un estereoscopio, la formación de cristales de carbonato de calcio. Esta formación se pudo verificar sólo en aquellas muestras de concreto pre-fisuradas, aplicada con solución bioreparador; sin embargo en las muestras de concreto patrón no se evidenciaron estas formaciones de carbonato de calcio.

Figura 113: Vista a estereoscopio del precipitado de carbonato de calcio como precursor de la calcita, con un aumento focal de 2x.



Fuente: Elaboración propia.

Por su parte Qian *et al.* (2015) en su estudio Self-healing of early age cracks in cement-based materials by mineralization of carbonic anhydrase microorganism. Afirmó que cuando el ancho de fisura fue 0.2 mm, la profundidad de cicatrización en la grieta fue, respectivamente, 0.5, 0.64 y 1.09 mm después de 3, 7 y 14 días. La profundidad del ancho de la fisura disminuyó con el aumento del precipitado de carbonato de calcio (CaCO_3). Cuando el ancho de fisura fue de 1.0 mm, la profundidad máxima después de 14 días de precipitado de carbonato de calcio (CaCO_3) fue de sólo 0.10 mm.

En nuestro estudio la disminución del ancho de la fisura casi no es notorio a nivel macroscópico, porque cada fisura de las briquetas era distinta y en su mayoría supera a 1.00 mm de ancho, lo cual dificulta la visualización a nivel macroscópico, sin embargo a nivel estereoscópico - microscópico si se puede afirmar que hay formación del precipitado de carbonato de calcio, reparando el concreto fisurado.

Figura 114: sellado de fisuras menores a 0.3 mm



Fuente: Elaboración propia.

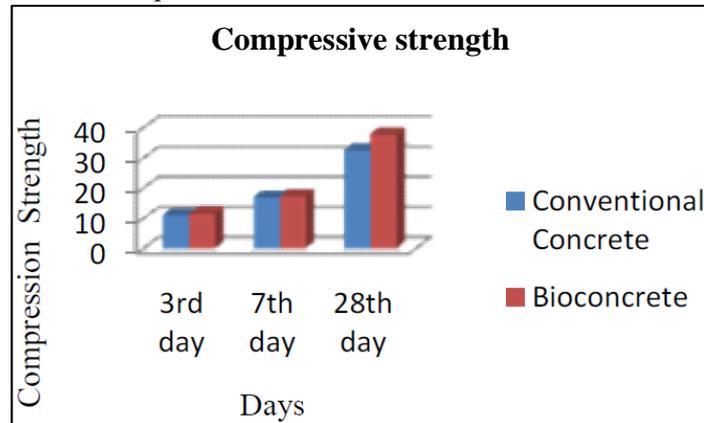
Figura 115: Formación de cristales en las fisuras.



Fuente: Elaboración propia.

Según Harshali *et al.* (2016), los resultados de la prueba de resistencia a la compresión revelaron que hay un aumento en la resistencia para todas las muestras en las que se incorporó la bacteria en comparación con la muestra del concreto convencional. Se observó un aumento significativo del 1.15%, 3.05%, 15.08% para la concentración celular de 10^{10} células / ml durante 3, 7 y 28 días, respectivamente.

Figura 116: Esfuerzo a compresión.

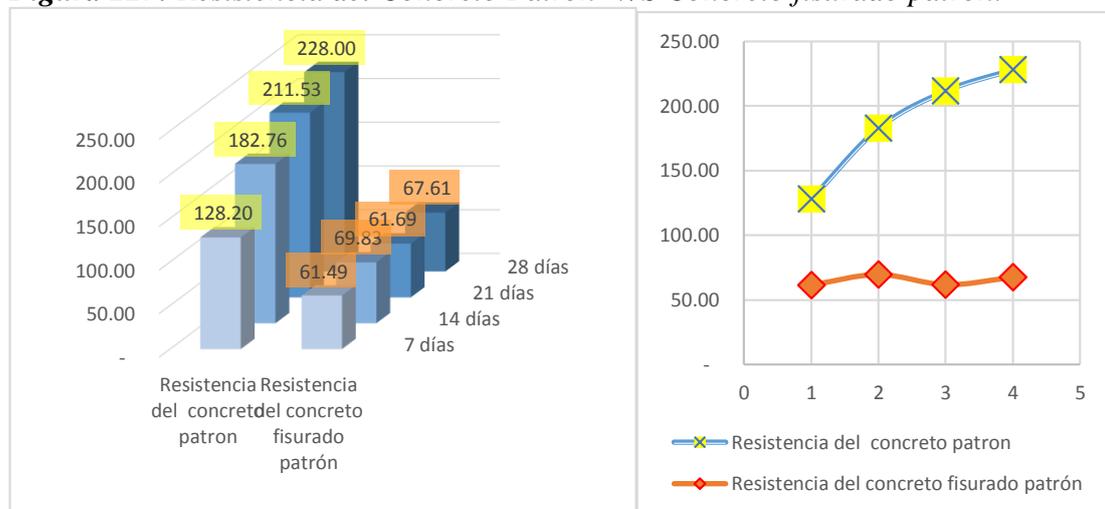


Fuente: Bio concrete and bacteria based self healing concrete.

¿Se puede asegurar que la bioreparación de un concreto fisurado es óptimo?

Verificando grafica de resultados obtenidos.

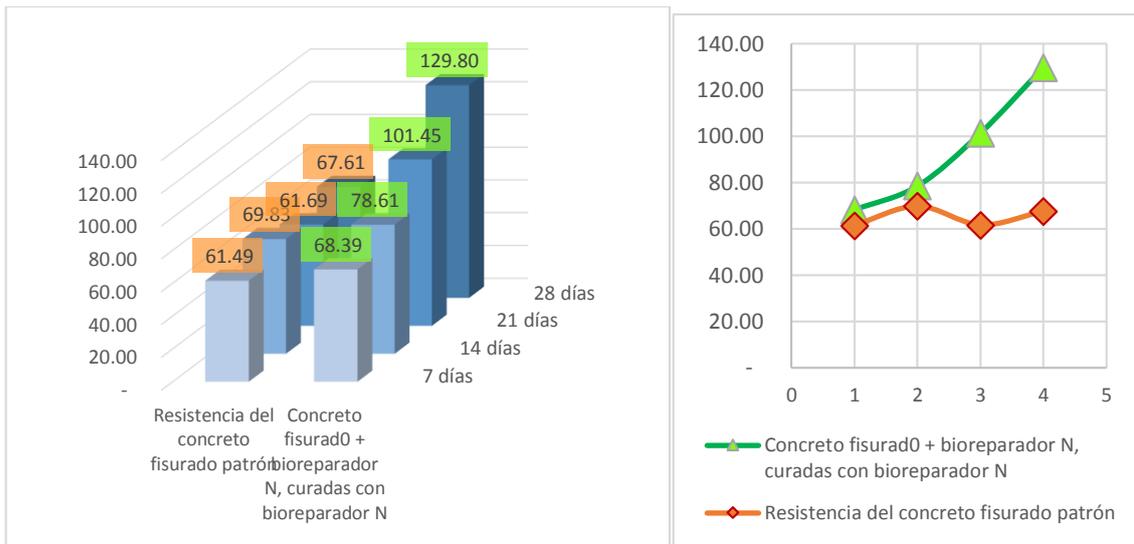
Figura 117: Resistencia del Concreto Patrón V/S Concreto fisurado patrón.



Fuente: Elaboración propia.

Interpretación: En el grafico anterior se observa que la resistencia del concreto fisurado patrón mantiene su resistencia en relación al tiempo.

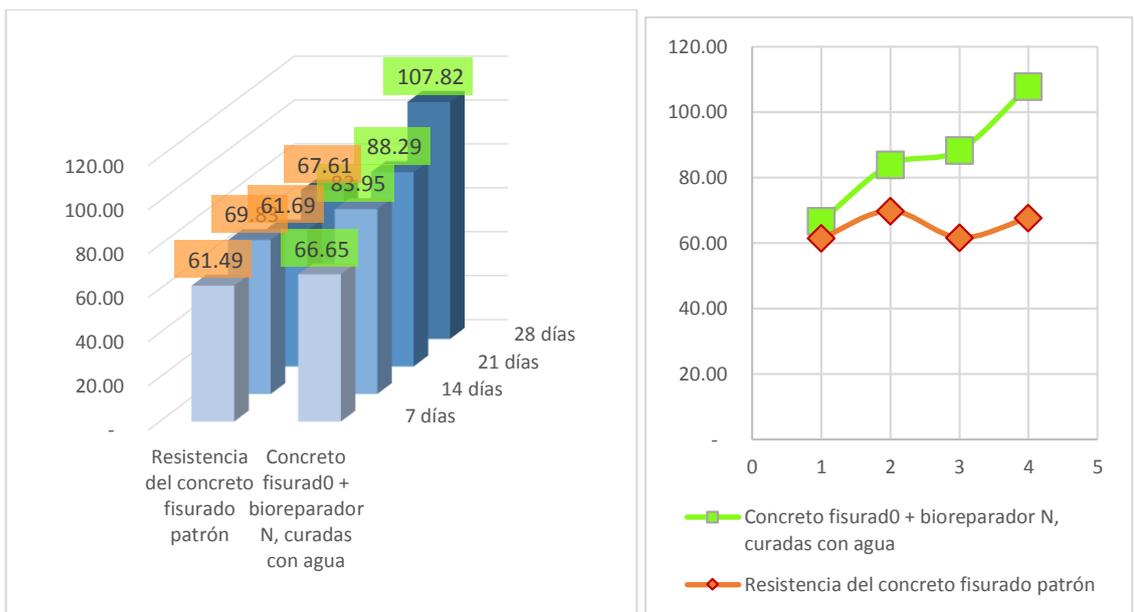
Figura 118: Resistencia del concreto fisurado patrón V/S Concreto fisurado + bioreparador N, curadas con bioreparador N.



Fuente: Elaboración propia

Interpretación: En el gráfico anterior se observa que el concreto fisurado más bioreparador N, curadas con el bioreparador N, ha mejorado su resistencia en relación al tiempo en comparación con el concreto fisurado patrón.

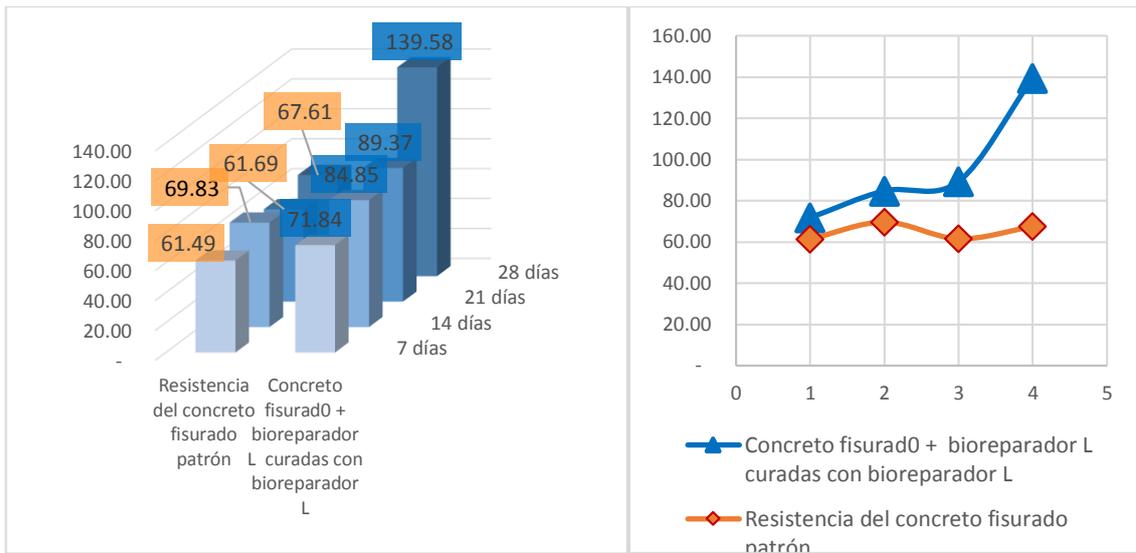
Figura 119: Resistencia del concreto fisurado patrón V/S Concreto fisurado + bioreparador N, curadas con agua.



Fuente: Elaboración propia.

Interpretación: En el gráfico anterior se observa que el concreto fisurado más bioreparador N, curadas con agua, ha mejorado su resistencia en relación al tiempo en comparación con el concreto fisurado patrón.

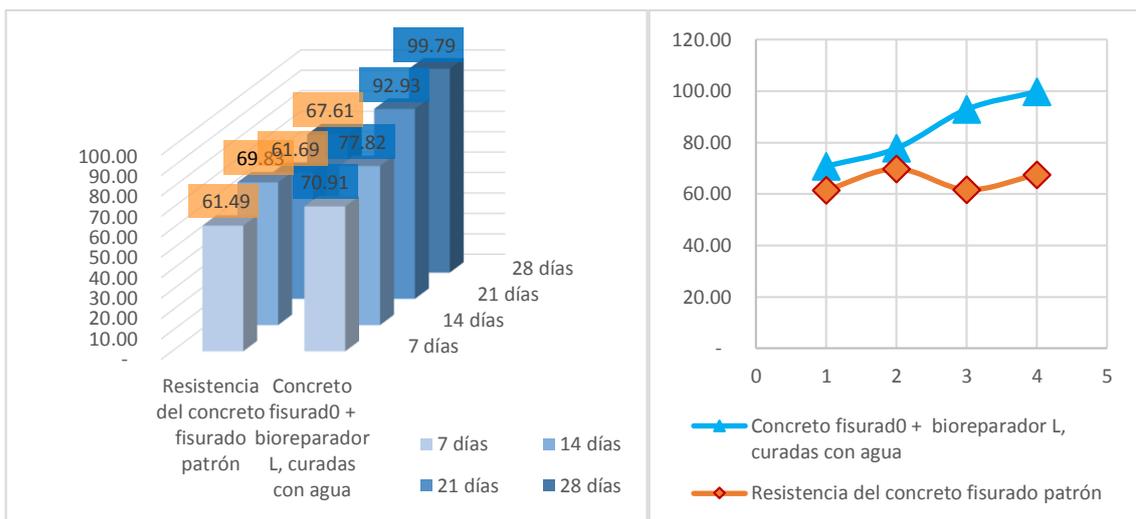
Figura 120: Resistencia del concreto fisurado patrón V/S Concreto fisurado + bioreparador L curadas con bioreparador L.



Fuente: Elaboración propia.

Interpretación: En el gráfico anterior se observa que el concreto fisurado más bioreparador L, curadas con el bioreparador L, ha mejorado su resistencia en relación al tiempo en comparación con el concreto fisurado patrón.

Figura 121: Resistencia del concreto fisurado patrón V/S Concreto fisurado + bioreparador L, curadas con agua.



Fuente: Elaboración propia.

Interpretación: En el gráfico anterior se observa que el concreto fisurado más bioreparador L, curadas con agua, ha mejorado su resistencia en relación al tiempo en comparación con el concreto fisurado patrón.

Haciendo una observación de los resultados podemos decir que es probable que pueda aumentar la resistencia por la tendencia de la resistía a la ruptura.

GLOSARIO

Ad	Agua destilada
B	Bacillus
Ca	Calcio
$\text{CaC}_6\text{H}_{10}\text{O}_6$	Lactato de calcio
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	Nitrato de calcio
CaCO_3	Carbonato de calcio
CO_3^{-2}	Ion carbonato
H_2O	Agua
MICP	Precipitación inducida de calcita por microorganismo
OPC	Cemento portland ordinario
SEM	Microscopio electrónico
BHI	Agar BHI (Brain Heart Infusion) es un medio de uso general adecuado para el cultivo de una amplia variedad de tipos de organismos, incluidos las bacterias, levaduras y hongos filamentosos, a partir de muestras clínicas.
MH	Agar MH es un medio de cultivo es utilizado para la prueba de sensibilidad a los antimicrobianos.
SIM	Agar SIM es un medio semisólido, es útil para diferenciar miembros de la familia Enterobacteriaceae.
Parafilm "M"	lámina de material semitransparente, flexible y resistente al agua que se utiliza como barrera contra la humedad de los instrumentos o equipos.
Vortex	Un agitador tipo vórtex o mezclador de vórtice es un dispositivo simple que se usa comúnmente en los laboratorios para agitar pequeños tubos o frascos de líquido.

Solución A	Gluconato de sodio, extracto de levadura, silicato de sodio, esporas de bacterias
Solución B _N	Nitrato de calcio + esporas de bacterias
Solución B _L	Lactato de calcio + esporas de bacterias
Bioreparador N	Solución A+ solución B _N
Bioreparador L	Solución A+ solución B _L
ACI	American Concrete Institute
TMN	Tamaño máximo nominal
Ppm	Partes por millón

Máquina de abrasión los Ángeles.

Equipo para determinar la resistencia a la abrasión de agregados. Compuesta de un tambor de acero cilindrada con tapa de acceso ajustable que gira sobre un eje montado, todo sobre un bastidor de construcción robusta. Posee contador de revoluciones, bandeja de descarga y juego de bolas de acero.

SLUMP La medida de la consistencia de un hormigón fresco por medio del cono de Abrams es un ensayo muy sencillo de realizar en obra, no requiriendo personal especializado y proporcionando resultados satisfactorios. Que nos ayuda a controlar la consistencia de diseño.

CONCLUSIONES

CONCLUSIÓN N° 01

No se logró validar la Hipótesis General donde indica “El sistema de bioreparación en concreto fisurado utilizando bacterias del género *Bacillus* mantiene la resistencia del concreto”.

El sistema de bioreparación aplicada en muestras de concreto fisurado utilizando bacteria de la especie *Bacillus subtilis* como intermediario en la precipitación de carbonato de calcio probablemente alcance su resistencia; ya que mediante la aplicación de la solución A y B progresivamente a los 0, 7, 14, 21 días; las bacterias fueron sintetizando carbonato de calcio hasta los 28 días y no se alcanzó la resistencia.

CONCLUSIÓN N° 02

Se logró validar la Sub Hipótesis N° 01 donde indica “El tiempo de la curva de crecimiento de la bacteria *Bacillus subtilis* es de 23 horas para utilizarlo como bioreparador”.

La curva de crecimiento de la población bacteriana estuvo en los siguientes tiempos; la fase de latencia fue de 0 a 9 horas, la fase exponencial de 0 a 22 horas, la fase estacionaria de 22 a 26 horas y la fase de declive después de las 26 horas. El tiempo de la máxima concentración (crecimiento) de las bacterias de estudio fue de 23 horas, el mismo que fue controlado mediante un espectrofotómetro con una lectura de 0.518 DO (densidad óptica). en el cual hubo la máxima concentración de población bacteriana. La esporulación bacteriana fue a los 21 días los que se aplicaron en las muestras de concreto fisurado con la solución A y B tanto a los 0, 7, 14 días, los mismos que se pudieron observar mediante un microscopio y estereoscopio.

CONCLUSIÓN N° 03

Se logró validar la Sub Hipótesis N° 02 donde indica “El tipo de aplicación del bioreparador en el concreto fisurado es por inyección porque alcanza la mayor resistencia”.

El tipo de aplicación de la solución A y B (solución bioreparador) en las muestras de concreto fisurado es por inyección, ya que se pudo saturar en las fisuras pequeñas mediante la presión del líquido bioreparador que contenía esporas bacterianas, el cual pudo ingresar hasta la profundidad de las fisuras menores a 0.5 mm de ancho y de esta manera precipitar carbonato de calcio y sellar la fisura a nivel microscópico.

CONCLUSIÓN N° 04

No se logró validar la Sub Hipótesis N° 03 donde indica “El desarrollo del bioreparador en una briqueta fisurada de 1 mm de espesor repara estéticamente”.

La bioreparación mediante la precipitación de carbonato de calcio como unidad formadora de la calcita en muestras de concreto pre-fisuradas, se pudo verificar a nivel microscópico - estereoscópico el desarrollo de la formación estratigráfica del carbonato de calcio.

El desarrollo de la bioreparación en muestras de concreto fisurado menores a 1.0 mm de ancho no se observó la reparación a nivel macroscópico y estético, sin embargo se observó a nivel microscópico y estereoscópico, mediante la formación del precipitado de carbonato de calcio que es unidad de la calcita, el mismo que fue controlado a los 7, 14, 21 y 28 días después de su ensayo de esfuerzo a compresión, indicando a nivel microscópico a los 21 días la formación de carbonato de calcio de las muestras aplicadas con solución A y B desde el primer día; en cambio en las muestras de concreto fisurado aplicadas el primer día con solución A y B (bioreparador) y a los 7, 14, 21 días aplicadas con agua destilada tardaron hasta los 28 días en formar el precipitado de carbonato de calcio pero en menor grado que la solución A y B (puro bioreparador) aplicadas a los 0, 7, 14, 21 días.

CONCLUSIÓN N° 05

No se logró validar la Sub Hipótesis N° 4 donde indica “La resistencia que alcanza el concreto reparado utilizando el bioreparador a los 7, 14, 21 y 28 días es similar a la de un concreto patrón sin fisuras con las mismas características”.

Esto se debe a que el concreto fisurado que se le aplicó la solución bioreparador, no llegó alcanzar la resistencia con las características de un concreto patrón a los 7, 14, 21 y 28 días, esto debido a que las muestras de concreto pre-fisurada no tenían las mismas propiedades y características de un concreto patrón, debido a que durante el ensayo de esfuerzo a compresión perdió sus características de resistencia que alcanzaba a 210 kg/cm², con lo cual disminuyó su resistencia, podemos afirmar también que los resultados obtenidos depende de otros factores como la cantidad de líquido bacteriano aplicado en las fisuras, las veces aplicadas, el tipo de falla y el tamaño de la fisura.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar estudios de concreto fisurado utilizando agregados del medio local mediante la aplicación del bioreparador a los 0, 2, 5 y 7 días, evaluar la precipitación de la calcita a los 40, 50, 80 y 100 días.
- Se recomienda investigar con otro tipo de bacterias del medio local comparando con otros tipos de bacterias para evaluar el desarrollo de la resistencia del concreto.
- Elaborar un bioconcreto mediante la aplicación de las diferentes concentraciones de bacterias a un concreto convencional y evaluar a los 28, 56, 100 días.
- Evaluar en probetas cilíndricas de concreto fisurado y en vigas de concreto fisurado tanto a esfuerzos a la compresión y a flexión, utilizando bacterias del género *Bacillus*.
- Se recomienda utilizar un microscopio electrónico de barrido (ESEM) con mayor aumento, para poder observar sin ninguna dificultad el desarrollo de la reparación del concreto fisurado.
- Hacer un estudio en diferentes tipos de fisuras para así realizar un mejor estudio.
- Se recomienda hacer el uso del equipo punduit para tener estudios más específico.
- Se recomienda realizar estudios para la bioreparación tomando en cuenta el tipo de falla de las briquetas después de ser sometida a esfuerzo de compresión.
- Realizar una comparación entre el bioreparador y componentes epóxicos, tanto en concreto antiguo como en concreto nuevo.
- Realizar la investigación considerando la exposición de briquetas bioreparadas a la intemperie en climas de zonas cálidas y frías.
- Comparar el uso del reactivo nitrato de calcio y lactato de calcio.
- Realizar el ensayo de esclerometría a los 7, 14 y 28 días y analizar el porcentaje de resistencia que aumenta las briquetas.

REFERENCIAS

- Abanto, F. (2009). *Agregados. Tecnología del Concreto*. Lima: San Marcos.
- Afifudin, H., Hamidah, M. S., Noor Hana, H., & Kartini, K. (2011). Microorganism Precipitation in Enhancing Concrete Properties. *Applied Mechanics and Materials*, 1157-1165. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.99-100.1157
- Barth, H., Aktories, K., Popoff, M. R., & Stiles, B. G. (2004). Binary bacterial toxins: biochemistry, biology, and applications of common Clostridium and Bacillus proteins. *Microbiol Mol Biol Rev*, 68, 373-402.
- Bowles, E. (1980). *Manual de laboratorios de Suelos en Ingeniería Civil*. Bogotá - Colombia.: Bogotá - Colombia: McGRAW-HILL Latinonoamericana S.A.
- Casado, C., Torrico, G., & Medina, M. (05 de 09 de 2012). *Medios de cultivo en un laboratorio de microbiología*. Recuperado el 22 de 10 de 2016, de libroslaboratorio: <https://libroslaboratorio.files.wordpress.com/2012/09/medios-de-cultivo-en-un-laboratorio-de-microbiologc3ada.pdf>
- Castanier, S., Le Métayer-Levrel, G., & Perthuisot, J. P. (1999). Carbonates precipitation and limestone genesis—the microbiologist point of view. *Sedimentary Geology*, 9-23.
- Castanier, S., Le Metayer-Levrel, G., & Perthuisot, J. P. (2000). Bacterial roles in the precipitation of carbonate minerals. *Microbial Sediments*, 32-39.
- Civilgeek. (21 de Enero de 2014). Manual Analisis Granulometrico. *Civilgeek*, pág. <http://www.civilgeeks.com>.
- Côrte, M. G. (2013). *Dissecting the function of the SpoIIIJ and YqjG membrane protein insertases during bacterial spore development (Ph.D degree in Biology)*. Lisboa, Portugal: Instituto de Tecnologia Química e Biológica - Universidade Nova de Lisboa. Obtenido de <http://run.unl.pt/handle/10362/11967>
- Cuervo, R. (2010). *Manual de protocolos de microbiología general*. Cali - Colombia: Bonaventuriana.

- E-060 R.N.E. (2009). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima - Perú: ICG - Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Ehrlich, H. L. (1998). Geomicrobiology: Its significance for geology. *Earth-Science Reviews*, 45, 45 - 60.
- Gerardo, A. R. (2012). *CONCRETO SIMPLE*. CAUCA: Civilgeeks (Ingenieria y Construccion).
- Ghio, V. (1994). Eficiencia y competitividad en la construcción, ACI-PERÚ. *Tecnología del concreto*.
- González, J. (14 de 01 de 2007). *Crecimiento microbiano*. Recuperado el 24 de 08 de 2016, de Microbiología General - Microbiología Molecular - Genética Molecular: http://www.gonzalezcabeza.com/documentos/CRECIMIENTO_MICROBIANO.pdf
- Grant, H. &. (1993). *Causas, Evaluación y reparación de fisuras en estructuras de Hormigón*. ACI 224.1R-93.
- Harmsem, T. (2005). *Diseño de estructura de concreto armado (Cuarta Ed)*. Lima: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Hernandez, R. (1999). *Metodología de la investigación*. Mexico: Mc. Graw Hill.
- Holt, J. G., Krieg, N. R., Sneath, P. H., Staley, J. T., & Williams, S. T. (1994). *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology* (illustrated ed.). (W. R. Hensyl, & J. G. Holt, Edits.) Baltimore, Maryland 21202, USA, USA: Lippincott Williams & Wilkins, 1994. Obtenido de https://books.google.com.pe/books?id=jtMLzaa5ONcC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Hoskins, B. E., Fowler, D. W., & McCullough, B. F. (1991). *An Evaluation of Repair Techniques Used for Uncontrolled Longitudinal Cracking and Failed Longitudinal Joints*. Austin: Center for Transportation Research, University of Texas.
- I.C.G. (2016). *Manual de la Construcción - Agenda Técnica (15va Edición)*. Lima - Perú: ICG - (instituto de la Construcción y Gerencia).

- IMCYC. (junio de 2004). Para hacer un buen Concreto. págs. pp. 5-6.
- Jonkers, H. M., Thijssen, A., Muyzer, G., Copuroglu, O., & Schlangen, E. (02 de 2010). Application of bacteria as self-healing agent for the development of sustainable concrete. *Ecological Engineering*, 36(2), 230-235. doi:10.1016/j.ecoleng.2008.12.036
- Jonkers, H., & Schlangen, E. (2008). Development of a bacteria-based self healing concrete. *Tailor Made Concrete Structures: New Solutions for our Society*, 425 - 430.
- Koustubh , A., Madhav, B., & Vishal, P. (2016). Bacillus Subtilis Bacteria Impregnation in Concrete for Enhancement in Compressive Strength. *IRJET*, 1229 - 1234.
- Li , V., & Herbert, E. (2012). Robust Self-Healing Concrete for Sustainable Infrastructure. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 207-218.
- M.N. (2010). *Metododologia de investigación* . México: Editorial Limusa.
- Merino, L. (08 de 02 de 2010). *Fisiología bacteriana*. Recuperado el 15 de 09 de 2016, de <http://www.vet.unicen.edu.ar/ActividadesCurriculares/Microbiologia/images/Documentos/2016/Fisiolog%C3%ADa%20Bacteriana-METABOLISMO%20para%20c%C3%A1tedra.pdf> Microbiología:
- N.T.P. 400.037. (2014). *Especificaciones Normalizadas para Agregados en Concreto - CONCRETO. (3ra Edición)*. Lima - Perú: INDECOPI.
- N.T.P. 339.088. . (2014). *Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland - CONCRETO. (3era Edición)*. Lima - Perú: INDECOPI.
- N.T.P. 339.185. (2002). *Determinación del Contenido de Humedad para el Agregado Fino y Agregado Grueso - AGREGADOS. (2da Edición)*. Lima - Perú: INDECOPI.
- N.T.P. 400.019. (2002). *Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la Máquina de los Ángeles. 2da Edición*). Lima - Perú: INDECOPI.

- N.T.P. 400.022. (2013). *Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del Agregado Fino - AGREGADOS. (3ra Edición)*. . Lima - Perú: INDECOPI.
- Neville, A. P. (1998). *Tecnología del Concreto*. Limusa.
- Nilson, A. H. (1987). *Design of Prestressed Concrete*,. Nueva York: John Wiley and Sons.
- Pasquel. (2002). *Temas de Tecnología del Concreto de Alto Desempeño*. Lima: Colegio de Ingenieros del Perú.
- Pasquell, E. (1993). *El Cemento Portland. Tópicos de Tecnología del Concreto*. lima.
- Pedrique, M., Gutiérrez, S., Saravia, K., & Garcés, A. (2008). *CULTIVO DE LOS MICROORGANISMOS*. Obtenido de http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_farmacia/catedraMicro/08_Tema_5_Cultivo.pdf
- Piggot, P. J., & Coote, J. G. (12 de 1976). Genetic aspects of bacterial endospore formation. *Bacteriological reviews*, 40(4), 908-962. Obtenido de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC413989/>
- Piggot, P. J., & Hilbert, D. W. (2004). Sporulation of *Bacillus subtilis*. *Curr Opin Microbiol*, 7, 579-586.
- Portugal, P. (2007). *Tecnología del Concreto de Alto Desempeño*. Arequipa: Imprimerle Lafayette.
- Qian, C., Chen, H., Ren, L., & Luo, M. (2015). Self healing of early age cracks in cement based materials by mineralization of carbonic anhydrase microorganism. *Frontiers in Microbiology*, 6, 1 - 9.
- Rivva. (2014). *CONCRETO - Diseño de Mezclas (Tomo 2), (2da Edición)*. . Lima - Perú: Instituto de la Construcción y Gerencia.
- RNE. (2009). *Reglamento Nacional de Edificaciones E.060*. Lima - Perú: ICG - Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Rojas, A. (2011). *Conceptos y práctica de microbiología general*. Palmira - Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

- Sangadji, S., & Schlangen, E. (2012). Self Healing of Concrete Structures - Novel Approach Using Porous Network Concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 10(5), 185-194. doi:10.3151/jact.10.185
- Sangadji, S., Wiktor, V. A., Jonkers, H. M., & Schlangen, E. (2013). Injecting a liquid bacteria-based repair system to make porous network concrete healed. *ICSHM 2013: Proceedings of the 4th International Conference on Self-Healing Materials, Ghent, Belgium, June 16-20, 2013* (págs. 118 - 122). Delft, the Netherland: Ghent University; Delft University of Technology.
- Schlangen, E., & Joseph, C. (2009). Self-Healing Processes in Concrete. *Self-healing materials: Fundamentals, design strategies, and applications*, 141-182.
- Seshagiri, M. M., Ch Sasikala, V., & Srinivasa, A. (2012). Biological Approach To Enhance Strength And Durability In Concrete Structures. *International Journal of Advances in Engineering and Technology (IJAET)*, 4(2), 392-399.
- Solano, C. (2005). *Manual practicas microbiología de alimentos*. Obtenido de Grupo de Investigación de Genética y Microbiología: <http://www.unavarra.es/genmic/micalm/manual%20practicas%20micalimentos.pdf>
- Stratton, F., & McCollom, B. F. (1974). *Repair of Hollow or Softened Areas in Bridge Decks by Rebonding with Injected Epoxy Resin or Other Polymers*. Kansas KF-: Report No. K-F-72-5, State Highway Commission of Kansas,.
- Sui. (2014). *Comportamiento mecanico de FR.Confinados Hormigon*. Louisiana: Universidad Del Estado de Louisiana y al Agricultura y Mecanica.
- Sydney, J. (1965). *Deterioration, Maintenance and Repair of Structures*. Nueva York: McGraw-Hill Book.
- Técnicas básicas de cultivo*. (14 de 01 de 2013). Recuperado el 12 de 08 de 2016, de es.scribd: <https://es.scribd.com/document/338820250/TECNICAS-BASICAS-DE-CULTIVO-BIO-231-PRACTICA-3-2-12-13-pdf>
- Unam. (22 de 07 de 2013). *PROTOCOLOS DE PRÁCTICAS DE MICROBIOLOGÍA EXPERIMENTAL*. Recuperado el 17 de 08 de 2016, de Unamamyd: http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Protocolos2014_1_24195.pdf

- UNC. (04 de 07 de 2014). *TAXONOMÍA Y CRECIMIENTO BACTERIANO*. Recuperado el 05 de 09 de 2016, de Microbiología Agrícola: <http://agro.unc.edu.ar/~microbiologia/wp-content/uploads/2014/04/unidad-3-taxonomia-y-crecimiento-bacteriano.pdf>
- van der Zwaag, S. (2007). Self healing materials: an alternative approach to 20 centuries of material science.
- Wang, J., Van Tittelboom, K., De Belie, N., & Verstraete, W. (2012). Use of silica gel or polyurethane immobilized bacteria for self-healing concrete. *Construction and Building Materials*, 26(1), 532-540. doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.06.054
- Wehbe, Y. (02 de 08 de 2016). *Bio-Inspired Self-Healing Infrastructure Materials (Thesis for the degree of Master of Science)*. Obtenido de University of Miami, Scholarly Repository: http://scholarlyrepository.miami.edu/oa_theses/619
- Wiktor, V., & Jonkers, H. M. (2014). Protection of aged concrete structures: application of bio-based impregnation system. *1st International Conference on Ageing of Materials & Structures* (pág. 295). Delft, The Netherlands: Delft University of Technology. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Eduardus_Koenders/publication/272789747_Full_Proceedings_Ageing_of_Materials__Structures_1st_International_Conference_2014_Delft_The_Netherlands/links/54ee2e4b0cf2e55866f231e2.pdf#page=319
- Wiktor, V., & Jonkers, H. M. (2015). *Assessment of the functionality of bacteria-based repair system for concrete through ESEM analysis*. Delft, The Netherlands: Delft University of Technology. Obtenido de http://repository.tudelft.nl/assets/uuid:56daf2b5-05c9-46f9-9d83-d97333142385/Jonkers_2015.pdf
- Wiktor, V., & Jonkers, H. M. (2015). Field performance of bacteria-based repair system: Pilot study in a parking garage. *Case Studies in Construction Materials*, 2, 11 - 17. doi:10.1016/j.cscm.2014.12.004

ANEXOS

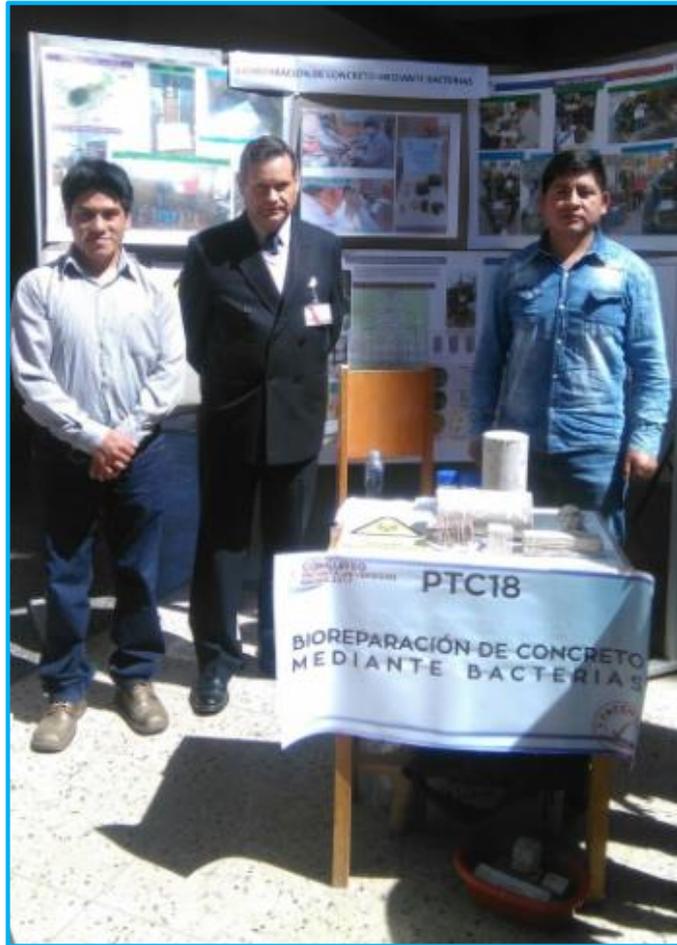
FOTOGRAFÍA: Participación en el concurso de CONSEJO REGIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA – CORCYTEC.



FOTOGRAFÍA: Representación a nuestra Universidad Andina del Cusco con nuestro proyecto en CORCYTEC.



FOTOGRAFÍA: Participación en el concurso Patenta Universidad Andina del Cusco – 2017.
Con nuestro asesor.



FOTOGRAFIA: Participación con nuestro Coasesor.



FOTOGRAFÍA: Visita por parte de la autoridad de vicerrectorado y jurado dictaminante para una breve exposición y ensayo de la aplicación del bioreparador a laboratorio de investigación de la Facultad de Ciencias de la Salud.



FOTOGRAFÍA: Elaboración de pruebas piloto agosto 2016 – Construcción de Palacio Municipal del distrito de Santiago.



FOTOGRAFÍA: Prueba de control del slump y elaboración de briquetas de concreto para las pruebas piloto, junto al subgerente de infraestructura, residente de obra y asistente técnico.



FOTOGRAFÍA: Briquetas de concreto elaborados para las pruebas piloto de la presente investigación.



CUADRO DE MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTO	FUENTE
<p>1. PROBLEMA GENERAL</p> <p>¿El sistema de bioreparación de estructuras de concreto fisurado utilizando la bacteria <i>Bacillus subtilis</i>, mantiene la resistencia del concreto?</p> <p>2. PROBLEMAS ESPECIFICOS</p> <p>1. ¿Cuál es el tiempo de crecimiento de la bacteria <i>Bacillus subtilis</i>?</p> <p>2. ¿Cuál es el tipo de aplicación del bioreparador en la fisura del concreto para alcanzar la mayor resistencia?</p> <p>3. ¿Cómo es el desarrollo del bioreparador en una briqueña fisurada de 1 mm de ancho?</p> <p>4. ¿Cuál es la resistencia que alcanzará el concreto reparado utilizando el bioreparador a los 7, 14, 21 y 28 días?</p>	<p>1. OBJETIVO GENERAL</p> <p>Determinar si el sistema de bioreparación mantiene la resistencia de estructuras de concreto fisurado utilizando la bacteria <i>Bacillus subtilis</i>.</p> <p>2. OBJETIVOS ESPECIFICOS</p> <p>1. Determinar el tiempo de la curva de crecimiento de la bacteria <i>Bacillus subtilis</i>.</p> <p>2. Determinar el mejor tipo de aplicación del bioreparador en la fisura del concreto para alcanzar la mayor resistencia.</p> <p>3. Evaluar el desarrollo del bioreparador en una briqueña fisurada de 1 mm de ancho.</p> <p>4. Determinar la resistencia que alcanzará el concreto reparado utilizando el bioreparador a los 7, 14, 21 y 28 días</p>	<p>1. HIPOTESIS GENERAL</p> <p>El sistema de bioreparación en concreto fisurado utilizando la bacteria <i>Bacillus subtilis</i> mantiene la resistencia del concreto.</p> <p>2. SUB-HIPÓTESIS</p> <p>1. El tiempo de la curva de crecimiento de la bacteria <i>Bacillus subtilis</i> es de 23 horas para utilizarlo como bioreparador.</p> <p>2. El tipo de aplicación del bioreparador en el concreto fisurado es por inyección porque alcanza la mayor resistencia.</p> <p>3. El desarrollo del bioreparador en una briqueña fisurada de 1 mm de ancho repara estéticamente.</p> <p>4. La resistencia que alcanza el concreto reparado utilizando el bioreparador a los 7, 14, 21 y 28 días es similar a la de un concreto patrón sin fisuras con las mismas características.</p>	<p>X1:</p> <p>Bioreparador.</p> <p>Y1:</p> <p>Resistencia del concreto</p>	<p>PARA X1:</p> <p>- Tiempo de crecimiento.</p> <p>- Tipo de aplicación.</p> <p>- Desarrollo del bioreparador.</p> <p>PARA Y1:</p> <p>-Fuerza (Kg/cm²)</p>	<p>Instrumentos metodológicos</p> <p>- Medio del cultivo.</p> <p>- Autoclave.</p> <p>- Estufa Biológica.</p> <p>- Horno de Esterilización.</p> <p>- Espectrofotómetro.</p> <p>- Refrigeradora.</p> <p>- Placas Petri.</p> <p>- Microscopio</p> <p>- Guías de observación de laboratorio.</p> <p>- Observación macroscópica</p> <p>- Formatos de evaluación de reproducción, crecimientos y esporulación.</p> <p>- Guías de observación de laboratorio.</p> <p>- Formatos de evaluación de resistencia a la compresión. - Guías de observación de laboratorio.</p> <p>- Formatos de evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del agregado.</p>	<p>-Registro de laboratorio</p> <p>-Libros especializados en tecnología del concreto</p> <p>-Libros de microbiología.</p> <p>-Publicaciones de revistas científicas.</p> <p>-Bibliotecas Virtuales.</p>

Fuente: Elaboración propia