

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“INFLUENCIA DE LA BACTERIA BACILLUS SUBTILIS EN  
LA REPARACIÓN DE FISURAS EN CONCRETOS CON  
A/C DE 0.45 Y 0.50”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
CIVIL**

**ELABORADO POR**

**JUAN ANTONIO HERRADDA MONTAGNE**

**ASESOR:**

**Mag. MAX HUAYNALAYA RASHUAMAN**

**Lima- Perú**

**2023**

©2023, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados

“El autor autoriza a la UNI a reproducir la tesis en su totalidad o en parte, con fines estrictamente académicos”

Herradda Montagne, Juan Antonio

jaherraddam@uni.pe

976229074

## DEDICATORIA

A mi madre y mi padre por su paciencia y apoyo a lo largo de este proceso y a lo largo de toda la carrera hasta la culminación de la presente tesis.

A mis hermanos y amigos por haber sido gran parte de mi motivación para poder terminar el presente trabajo de investigación

A mi alma mater por las excelentes lecciones aprendidas y las oportunidades que hasta ahora me sigue brindando.

A los técnicos y personal administrativo del LEM por haber dado parte de su tiempo para apoyarme cuando fue necesario.

## **AGRADECIMIENTO**

Al Mag. Max Huaynalaya, por la asesoría y conocimiento brindados a lo largo del desarrollo del presente trabajo de investigación.

Al LEM UNI por haberme dado la oportunidad de realizar mis ensayos en sus instalaciones al largo del primer trimestre del presente año.

A mis compañeros de trabajo por brindarme las facilidades requeridas en tanto avanzaba la presente tesis.

A la Universidad Nacional de Ingeniería por haberme formado desde el primer ciclo hasta la culminación del presente trabajo de investigación.

A mi familia por haberme apoyado en todo momento a pesar de las circunstancias que en la vida se puede presentar.

A todo el personal LEM UNI por brindarme el conocimiento necesario para poder culminar de forma satisfactoria la investigación presente.

A todos ellos, muchas gracias.

<b>RESUMEN.....</b>	<b>4</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>6</b>
<b>PRÓLOGO .....</b>	<b>8</b>
<b>LISTA DE CUADROS .....</b>	<b>9</b>
<b>LISTA DE GRÁFICOS.....</b>	<b>11</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS .....</b>	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>13</b>
1.1    PLANTEAMIENTO DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	14
1.2    OBJETIVOS .....	15
1.2.1    Objetivo General.....	15
1.2.2    Objetivos Específicos. ....	15
1.3    FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS .....	15
1.3.1    Hipótesis General.....	15
1.3.2    Hipótesis Específicas.....	15
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL .....</b>	<b>16</b>
2.1    EL CONCRETO.....	17
2.1.1    Bioconcreto .....	18
2.2    EL CEMENTO .....	20
2.3    AGREGADOS PARA CONCRETO.....	21
2.3.1    Clasificación de los agregados .....	21
2.3.2    Propiedades de los agregados .....	21
2.4    PROPIEDADES DEL CONCRETO.....	24
2.4.1    Propiedades del concreto en estado fresco .....	24
2.4.2    Propiedades del concreto en estado endurecido .....	25
<b>CAPÍTULO III: ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS ....</b>	<b>26</b>
3.1    CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO .....	26
3.1.1    Cemento usado en la investigación .....	26

3.2	CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS .....	27
3.2.1	Resumen de las características generales de los agregados .....	27
3.3	BACTERIA Y FUENTE DE CALCIO ELEGIDAS: .....	27
<b>CAPÍTULO IV: DISEÑO DE MEZCLA CON LA ADICIÓN DE BACTERIAS .....</b>		<b>29</b>
4.1	GENERALIDADES .....	29
4.2	MÉTODO DE DISEÑO .....	29
4.3	DISEÑO DE CONCRETO PATRÓN.....	29
4.4	DISEÑO DE CONCRETO CON LA ADICIÓN DE BACTERIAS .....	33
<b>CAPÍTULO V: ENSAYOS DE CONCRETO.....</b>		<b>34</b>
5.1	ENSAYOS AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.....	34
5.2	ENSAYOS AL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO .....	35
5.3	REPARACIÓN DE LAS FISURAS EN EL CONCRETO .....	36
<b>CAPÍTULO VI: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>		<b>40</b>
6.1	AGREGADOS .....	40
6.1.1	Granulometría .....	40
6.2	CONCRETO EN ESTADO FRESCO .....	43
6.2.1	Consistencia .....	43
6.2.2	Exudación.....	45
6.2.3	Contenido de aire .....	47
6.2.4	Tiempo de fraguado .....	48
6.3	CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO .....	50
6.3.1	Resistencia a la compresión .....	50
6.3.2	Resistencia a tracción - compresión diametral.....	55
6.4	REPARACIÓN DE FISURAS.....	57
<b>CONCLUSIONES .....</b>		<b>59</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>		<b>62</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>		<b>63</b>

**ANEXOS ..... 67**

## RESUMEN

Uno de los grandes problemas existentes en el concreto es su enorme tendencia a fisurarse, esto se puede deber a la contracción que sufre al momento del fraguado, sobrecarga del mismo, movimientos sísmicos, temperaturas extremas a lo largo del día y defectos del mismo proceso constructivo. Estas fisuras representan un enorme problema para las estructuras debido a que, son un acceso mediante el cual se puede introducir algún tipo de agente que puede dañar al acero interior; en obras en las que es importante el flujo o almacenamiento del agua podrían generarse pérdidas por infiltración y en elementos de concreto en general las fisuras tienden a reducir la resistencia y durabilidad del mismo. En todos los casos las fisuras, de no ser tratadas a tiempo, tienden a acrecentarse y esto solo hace que la situación referente a las mismas sea más crítica.

Por el problema antes mencionado la presente tesis plantea determinar la influencia de la bacteria *Bacillus Subtilis* en la reparación de fisuras en concretos con *a/c* de 0.45 y 0.50. Para este fin se realizaron diseños de mezcla patrón y adicionados, tomando en cuenta una proporción de bacterias para cada *a/c*.

El diseño de mezcla se inició con el estudio de los materiales, posteriormente se realizó el diseño de mezcla aplicando el método del agregado global buscando un slump de 3" a 4". La adición de las bacterias al concreto se hizo de forma directa al momento del mezclado en conjunto con el agua de diseño, la cantidad de bacterias añadidas siguió una proporción de 1kg por cada 200 litros de agua y esta solución se preparó momentos antes del vaciado debido a que no debía tener un contacto directo y prolongado con la luz. A su vez se consideró la cantidad de 10kg de nitrato de calcio por metro cúbico de concreto como fuente de alimento para las bacterias, componente que se diluyó en parte del agua de diseño y se agregó de igual forma al momento del vaciado.

Posteriormente se elaboraron muestras y se hicieron ensayos de compresión axial a los 7, 14 y 28 días; pruebas de tracción a los 28 días y finalmente el monitoreo del posible cierre de las fisuras presentes en los especímenes de concreto.

Como resultado de los ensayos en concreto fresco, se obtuvo que la adición de bacterias a la mezcla de concreto influyó en las propiedades medidas, las cuales



fueron asentamiento, porcentaje de exudación, contenido de aire y tiempo de fragua, tanto inicial como final.

Se determinó que los concretos adicionados presentaron mayor asentamiento que los patrones, este aumento fue de 83% y 68%, para los a/c de 0.45 y 0.50 respectivamente. Respecto de la exudación, se determinó que el concreto adicionado presentó un mayor porcentaje de exudación que los concretos tradicionales, siendo esta variación de 0.44 a 0.55 y de 0.66 a 0.93 para los a/c mencionados. En cuanto al contenido de aire, este no presentó grandes variaciones, estando todos los valores hallados alrededor de 2%, muy cercanos al valor estipulado por las tablas ACI. Finalmente, respecto del tiempo de fragua tanto inicial como final se presentaron variaciones que en lo general fueron en aumento, observándose que el tiempo de fragua inicial pasó de 193 a 200 minutos y de 203 a 200 minutos, para los a/c de 0.45 y de 0.50. Para el tiempo de fragua final estos valores fueron de 273 a 307 minutos y de 280 a 300 minutos, tomando como referencia los a/c antes mencionados.

Asimismo, para los ensayos de resistencia a la compresión del concreto tanto axial como diametral, se determinaron aumentos en estas propiedades. Estos fueron de un 6.71% y de 10.80% para los a/c de 0.45 y de 0.50 respectivamente, considerando la resistencia a la compresión axial; y de 3.95% y 10.16% los referentes a la compresión diametral para los a/c antes mencionados.

Finalmente, respecto del cierre de las fisuras, se determinó que el concreto adicionado con bacterias diseñado en la presente investigación presenta características de autorreparación, aunque es importante remarcar que este porcentaje de cierre es realmente bajo y depende en gran medida del ancho de la fisura debido a que las que se repararon satisfactoriamente no tenían un ancho mayor a 0.5mm.

## ABSTRACT

One of the biggest problems in concrete is its enormous tendency to crack, this can be due to the shrinkage it suffers at the moment of setting, overloading, seismic movements, extreme temperatures throughout the day and defects in the construction process itself. These cracks represent an enormous problem for the structures because they are an access through which some type of agent can be introduced that can damage the interior steel; in works in which the flow or storage of water is important, losses by infiltration could be generated and in concrete elements in general the cracks tend to reduce the resistance and durability of the same. In all cases the cracks, if not treated in time, tend to increase and this only makes the situation more critical.

Due to the above mentioned problem, this thesis proposes to determine the influence of *Bacillus Subtilis* bacteria in the repair of cracks in concrete with w/c of 0.45 and 0.50. For this purpose, standard and admixture mix designs were carried out, taking into account a proportion of bacteria for each w/c.

The mix design started with the study of the materials, then the mix design was carried out applying the global aggregate method looking for a slump of 3" to 4". The addition of bacteria to the concrete was done directly at the time of mixing together with the design water, the amount of bacteria added followed a ratio of 1kg per 200 liters of water and this solution was prepared moments before pouring because it should not have a direct and prolonged contact with light. In turn, the amount of 10 kg of calcium nitrate per cubic meter of concrete was considered as a food source for the bacteria, a component that was diluted in part of the design water and added in the same way at the time of pouring.

Subsequently, samples were prepared and axial compression tests were performed at 7, 14 and 28 days; tensile tests at 28 days and finally monitoring of the possible closure of the cracks present in the concrete specimens.

As a result of the tests on fresh concrete, it was found that the addition of bacteria to the concrete mix influenced the properties measured, which were slump, percentage of exudation, air content and setting time, both initial and final.

It was determined that the added concretes presented higher slump than the standards, this increase was 83% and 68%, for w/c of 0.45 and 0.50, respectively.

With respect to exudation, it was determined that the admixed concrete presented a higher percentage of exudation than the traditional concretes, this variation being from 0.44 to 0.55 and from 0.66 to 0.93 for the a/c mentioned. As for the air content, it did not present large variations, all the values found being around 2%, very close to the value stipulated by the ACI tables. Finally, both the initial and final setting time showed variations that generally increased, with the initial setting time going from 193 to 200 minutes and from 203 to 200 minutes, for the a/c of 0.45 and 0.50. For the final setting time, these values ranged from 273 to 307 minutes and from 280 to 300 minutes, taking the a/c mentioned above as a reference.

Likewise, for the concrete compressive strength tests, both axial and diametral, increases in these properties were determined. These were 6.71% and 10.80% for the a/c of 0.45 and 0.50 respectively, considering the axial compressive strength; and 3.95% and 10.16% for the diametral compressive strength for the a/c mentioned above.

Finally, regarding the closure of the cracks, it was determined that the concrete added with bacteria designed in this research presents self-repairing characteristics, although it is important to note that this percentage of closure is really low and depends largely on the width of the crack, since those that were repaired satisfactorily did not have a width greater than 0.5 mm.

## PRÓLOGO

Las fisuras son un problema muy común presente en los elementos de concreto en la actualidad, estas se originan generalmente por los cambios volumétricos presentes en el concreto a lo largo de su tiempo de fraguado; y, de no ser atendidas de forma eficaz y veloz, pueden generar daños a las estructuras de concreto.

La presente investigación propone el uso de la bacteria *Bacillus Subtilis* con nitrato de calcio como fuente de calcio para la elaboración de un concreto con propiedades de auto reparación. De esta forma se busca determinar la influencia que esta adición tiene en las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido

Como resultado de esta investigación se deja el camino para seguir el estudio del presente tema y mejorar los diseños y la forma de elaboración de los concretos con cualidades de autorreparación.

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas del cemento Sol Tipo 1. ....	26
Cuadro 2. Características del agregado fino. Cantera Difamás.....	27
Cuadro 3. Característica del agregado grueso. Cantera Difamás. ....	27
Cuadro 4. P.U.C. de la combinación de agregado fino y grueso. ....	31
Cuadro 5. Porcentaje de Arena y Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> ). ....	32
Cuadro 6. Diseño de concreto patrón para a/c 0.45. ....	32
Cuadro 7. Diseño de concreto patrón para a/c 0.50. ....	33
Cuadro 8. Diseño de concreto con bacterias para a/c 0.45. ....	33
Cuadro 9. Diseño de concreto con bacterias para a/c 0.50. ....	33
Cuadro 10. Propiedades de concreto fresco para las muestras patrón. ....	34
Cuadro 11. Propiedades de concreto fresco para las muestras adicionadas con bacterias. ....	35
Cuadro 12. Propiedades de concreto patrón en estado endurecido. ....	36
Cuadro 13. Propiedades de concreto adicionado con bacterias en estado endurecido. ....	36
Cuadro 14. Análisis granulométrico del agregado fino - arena. ....	40
Cuadro 15. Análisis granulométrico del agregado grueso - piedra. ....	41
Cuadro 16. Análisis granulométrico del agregado global.....	42
Cuadro 17. Variación de la consistencia del concreto con bacterias respecto del patrón. ....	44
Cuadro 18. Variación del porcentaje de exudación del concreto con bacterias respecto del patrón. ....	45
Cuadro 19. Variación del contenido de aire del concreto con bacterias respecto al patrón. ....	47
Cuadro 20. Variación del tiempo de fragua inicial del concreto con bacterias respecto al patrón. ....	49
Cuadro 21. Variación del tiempo de fragua final del concreto con bacterias respecto al patrón. ....	49
Cuadro 22. Variación del f'c del concreto con bacterias respecto al patrón.....	51
Cuadro 23. Variación del f'c del concreto con bacterias respecto al patrón.....	51
Cuadro 24. Variación del f'c del concreto patrón con a/c=0.45 respecto al a/c=0.50. ....	52

Cuadro 25. Variación del $f'c$ del concreto con bacterias con $a/c=0.45$ respecto al $a/c=0.50$ .....	53
Cuadro 26. Variación del $f'c$ a los 28 días del concreto con bacterias respecto al patrón. ....	54
Cuadro 27. Variación del $f't$ a los 28 días del concreto con bacterias respecto al patrón. ....	56
Cuadro 28. Porcentaje de reparación de fisuras de concreto con bacterias con $a/c$ 0.45. ....	57
Cuadro 29. Porcentaje de reparación de fisuras de concreto con bacterias con $a/c$ 0.50. ....	58
Cuadro 30. Porcentaje de reparación de fisuras de concreto patrón con $a/c$ 0.45. ....	58
Cuadro 31. Porcentaje de reparación de fisuras de concreto patrón con $a/c$ 0.50. ....	58
Cuadro 32. Peso unitario seco de cada material para diferentes $a/c$ .....	59

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Porcentaje de Arena y PUC.....	30
Gráfico 2. Porcentaje de arena vs Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> ). .....	32
Gráfico 3. Curva granulométrica del agregado fino - arena.....	40
Gráfico 4. Curva granulométrica del agregado grueso - piedra. ....	42
Gráfico 5. Curva granulométrica del agregado global. ....	43
Gráfico 6. Consistencia del concreto vs Relación a/c.....	44
Gráfico 7. Porcentaje de exudación vs relación a/c.....	45
Gráfico 8. Volumen de exudación vs relación a/c.....	46
Gráfico 9. Contenido de aire vs relación a/c.....	47
Gráfico 10. Tiempo de fragua inicial vs relación a/c. ....	48
Gráfico 11. Tiempo de fragua final vs relación a/c.....	49
Gráfico 12. Resistencia a la compresión vs tiempo para a/c =0.45. ....	50
Gráfico 13. Resistencia a la compresión vs tiempo para a/c=0.50. ....	51
Gráfico 14. Resistencia a la compresión vs tiempo para concreto patrón. ....	52
Gráfico 15. Resistencia a la compresión vs tiempo para concreto con bacterias. .....	53
Gráfico 16. Resistencia a la compresión del concreto a los 28 días vs a/c.....	54
Gráfico 17. Resistencia a la tracción a los 28 días vs a/c.....	55
Gráfico 18. Relación entre el factor $f_t/f_c$ y el valor a/c. ....	56

## LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

a/c	:	Relación de agua/cemento.
NTP	:	Norma técnica peruana.
T.M.	:	Tamaño máximo.
T.M.N.	:	Tamaño máximo nominal.
ACI	:	American Concrete Institute.
T.F.	:	Tiempo de fraguado.
%P	:	Porcentaje que pasa la malla N° 200.
%W	:	Contenido de humedad.
f'c	:	Resistencia a la compresión.
f't	:	Resistencia a la tracción.
kg/cm <sup>2</sup>	:	Kilogramo fuerza por centímetro cuadrado.
Kg/m <sup>3</sup>	:	Kilogramo por metro cúbico.
MF	:	Módulo de finura.
mg/l	:	Miligramo por litro.
ml	:	Mililitro.
Mm	:	Milímetro
PU	:	Peso unitario
PUS	:	Peso unitario suelto.
P.U.C	:	Peso unitario compactado.
PE	:	Peso específico de masa.
V <sub>ex</sub>	:	Exudación.



## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Debido a su gran trabajabilidad y a su eficaz resistencia a la compresión axial, el concreto se ha convertido en uno de los materiales de construcción más utilizados a nivel mundial. Sin embargo, las propiedades antes expuestas dependen mucho de factores como los materiales, mano de obra, elaboración, vaciado, curado, el entorno, etc. A su vez, a lo largo del tiempo este material se deteriora dependiendo de qué tan durable sea (Mehta, P. K., & Monteiro, P. J., 2014), este deterioro generalmente ocasiona grietas en los elementos estructurales elaborados con la mezcla, finalmente estas grietas terminan afectando a los elementos que forman parte del concreto.

Ante la problemática del fisuramiento antes expuesta la presente investigación propone el uso de una adición de bacterias a la mezcla para concretos de resistencia similar a los utilizados en obras hidráulicas debido a que estas cuentan con presencia constante de agua, la cual es un requisito indispensable para que se complete el proceso de producción de carbonato de calcio de forma eficiente, por este motivo se determinó el uso de valores de a/c de 0.45 y 0.50, buscando los efectos que esta adición pueda originar en las propiedades de dicho concreto tanto en estado fresco como en estado endurecido.

La presente investigación expone los siguientes capítulos: en el capítulo II se desarrolló de forma teórica las propiedades del concreto y los elementos que lo componen como el cemento, el agua, los agregados y a su vez se hizo una revisión del bioconcreto; en el capítulo III se desarrollaron las características de los materiales como el cemento, los agregados y las bacterias elegidas; en el capítulo IV se presenta el procedimiento seguido para la elaboración de los diseños de mezcla para las muestras patrón y las muestras adicionadas con bacterias, dando como resultado las cantidades finales a utilizar; en el capítulo V se listan los ensayos del concreto en estado fresco, endurecido y la reparación de fisuras hallada; el capítulo VI presenta los resultados y gráficos generales de los ensayos. Finalmente, se desarrollan las conclusiones, recomendaciones y los anexos que dan un punto de vista más amplio acerca de los alcances obtenidos en la presente investigación.

## 1.1 PLANTEAMIENTO DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

El material de construcción más extensamente usado es el concreto, que se elabora generalmente mezclando cemento portland con arena, piedra triturada y agua (Brunauer & Copeland, 1964). Actualmente el concreto ha evolucionado de forma favorable y, gracias a los aditivos, se le puede dar muchas características especiales que ayudan a su trabajabilidad, resistencia y durabilidad. Por otro lado, el concreto también presenta algunos problemas al momento de su uso, estos son generados por los agentes externos a los cuáles está expuesto o también por su misma naturaleza.

En el Perú, el concreto de alta resistencia es usualmente destinado a edificios y estructuras como puentes, pilotes, etc. A lo largo de la vida útil del concreto es posible que en este se generen micro fisuras que mermen la resistencia del mismo, estas hacen que el concreto tenga afecciones por durabilidad más no por resistencia. Un claro ejemplo de lo antes mencionado es el caso de la planta la Atarjea de Lima, esta presenta constantemente fisuramiento debido a la misma acción del agua la cual hace necesario un constante mantenimiento a la planta (Santos, 2021)

Las fisuras también se presentan en estructuras como presas, estas como consecuencia de los gradientes de masa y de superficie que son inducidos por el calor de hidratación del cemento. Este tipo de fisuras se generan en el tercio medio de la distancia entre las juntas de contracción, debido a su ubicación estas fisuras se encuentran sometidas en su interior a la acción de la presión hidrostática (Zappitelli, Fernandez, Villa, & Rocco, 2012).

Tomando en consideración lo anteriormente expuesto, se hace necesario el uso de nuevas alternativas que puedan evitar estos problemas de fisuramiento, aún si el gasto inicial es un poco más elevado al que normalmente se efectúa. Dentro de estas alternativas se toma en consideración el uso de bacterias, las mismas que se activan con el contacto a la humedad y, mediante un proceso biológico son capaces de formar carbonato de calcio (Jonkers, 2010), el mismo que se encarga del cierre de las mismas en el concreto.

Finalmente, tomando en cuenta los antecedentes se concluye que la mayoría de las investigaciones están orientadas al análisis de la resistencia a la compresión

y la reparación de las fisuras de manera conjunta, analizando de forma general la durabilidad del concreto. La durabilidad del concreto es una característica que se pasa por alto al centrarse demasiado en la resistencia a la compresión inicial del mismo, en este orden el uso de bacterias para el cierre de fisuras en el concreto, asegura una mayor durabilidad y, según la literatura analizada, una mayor resistencia. En este caso se analizarán los efectos en concretos con a/c de 0.45 y 0.50 para determinar su viabilidad y uso futuro.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo General**

Determinar la influencia de la bacteria *Bacillus Subtilis* en la reparación de fisuras en concretos con adición bacteriana y a/c de 0.45 y 0.50.

### **1.2.2 Objetivos Específicos.**

- Determinar la influencia de la adición de la bacteria *Bacillus Subtilis* en las propiedades de los concretos en estado fresco con a/c de 0.45 y 0.50.
- Determinar la influencia de la adición de la bacteria *Bacillus Subtilis* en las propiedades de los concretos en estado endurecido con a/c de 0.45 y 0.50.
- Determinar el porcentaje de cierre de fisuras debido a la bacteria *Bacillus Subtilis* en los concretos con a/c de 0.45 y 0.50.

## **1.3 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS**

### **1.3.1 Hipótesis General**

La adición de la bacteria *Bacillus Subtilis* influirá en la reparación de fisuras en los concretos con a/c de 0.45 y 0.50.

### **1.3.2 Hipótesis Específicas.**

- La adición de la bacteria *Bacillus Subtilis* influirá en las propiedades de los concretos en estado fresco con a/c de 0.45 y 0.50.
- La adición de la bacteria *Bacillus Subtilis* influirá en las propiedades de los concretos en estado endurecido con a/c de 0.45 y 0.50.
- La adición de la bacteria *Bacillus Subtilis* influirá de forma positiva en el porcentaje de cierre de fisuras en los concretos con a/c de 0.45 y 0.50.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

En la actualidad, en muchos países del mundo, se usa en gran medida el concreto. Este material es de gran importancia por la alta resistencia a la compresión que este presenta; sin embargo, posee propiedades y características que lo hacen ser sustituido en muchas oportunidades por otro tipo de material. Una de las propiedades más importantes es su baja resistencia a la flexión y su gran facilidad para fisurarse.

Desde su contacto con el agua el concreto se activa y comienza su tiempo de fraguado, a lo largo de este proceso de fragua, y tomando en cuenta todas las adiciones y aditivos que se le pueden agregar, el concreto pasa por un proceso químico que involucra cambios de volumen, liberación del calor, etc. (Zappitelli, M. et al, 2012). Debido a estos procesos y, considerando el volumen de vaciado, el concreto tiende a presentar numerosas fisuras luego de su desencofrado, estas fisuras afectan directamente a la vida útil del concreto y no permiten su óptima resistencia a lo largo de los años. Por este motivo, se han buscado numerosas soluciones a este problema de fisuramiento, ello conduce a numerosos estudios en el campo de concreto y el uso de diferentes aditivos y adiciones para poder controlar su aparición.

Las fisuras comprometen en gran medida el correcto trabajo de los elementos estructurales, haciendo de gran importancia la toma de acción al momento de presenciar la aparición de las mismas, evitando de esta forma la corrosión de la estructura de acero en el interior del concreto (Hernández et al, 2016). De no atenderse este fisuramiento de forma rápida y eficaz las fisuras podrían ampliar su grosor y profundidad.

Generalmente las fisuras que son superficiales presentan anchos menores a 1mm y son ocasionadas por cambios volumétricos en el concreto, estos son debido a agentes como la humedad ambiental o la temperatura (Hernández et al, 2003). Por otro lado, las fisuras que presentan un mayor espesor son generalmente ocasionadas por problemas de diseño y son estas las más perjudiciales para la estructura.

A medida que avanzó la tecnología se pudo dieron a conocer soluciones al problema del fisuramiento del concreto, este puede ser mediante la aplicación de

aditivos impermeabilizantes, elaborando concreto de muy alta resistencia, aplicando agentes reparadores al momento de presentar fisuras, etc. Todos los mecanismos antes mencionados tienden a depender mucho del entorno, y en caso de uso de aditivos, que la muestra no se fisure en algún momento de su vida útil. De esta forma fue que el investigador Hendrik Marius Jonkers empezó a desarrollar una tecnología que permita al concreto repararse a sí mismo sin la acción del hombre, tomando como base que este se va a fisurar en algún momento de su vida útil.

La reparación del concreto estudiada por Jonkers se centró en adicionar a la mezcla de concreto un aditivo de bacterias, las mismas que producen carbonato de calcio como resultado de un proceso biológico en el que requieren de algún compuesto que contenga calcio. A lo largo de los años, Jonkers estudió numerosas bacterias, numerosos métodos de adición de las mismas y numerosas adiciones que puedan funcionar como alimento con la finalidad de producir el carbonato de calcio que sería el agente que dota de la característica de auto reparación al concreto.

Tomando sus investigaciones como punto de partida se realizaron numerosos estudios en el campo, enfocándose en 3 posibles productos que serían el concreto autorreparable, mortero de reparación y un medio de reparación en estado acuoso (Hernández, Castañeda y Lizárraga, 2022)

## 2.1 EL CONCRETO

Anteriormente se definía al concreto como una mezcla de cemento hidráulico, agregados y agua. En la actualidad esta definición cambió para dar paso a dos componentes más que son muy usados, los aditivos y las adiciones (Mehta, P. K., & Monteiro, P. J., 2014).

Tomando como base su peso unitario, se puede clasificar al concreto como ligero, normal y pesado; siendo el peso unitario del primero menor a  $1800 \text{ kg/m}^3$ , el segundo alrededor de  $2400 \text{ kg/m}^3$  y el último mayor a  $3500 \text{ kg/m}^3$  (Serrano, 2018).

Otra clasificación muy conocida es por su resistencia, obteniéndose concretos de baja, mediana y alta resistencia (Cevallos, 2016). Esta clasificación es más utilizada en la actualidad para los requerimientos de las obras y, dependiendo del

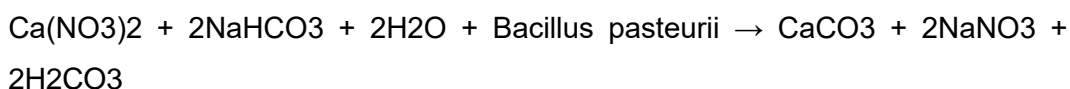
elemento estructural a diseñar, se puede solicitar concreto de una u otra resistencia a la compresión axial. La resistencia del concreto no solo influye en las cargas que este puede soportar sino también en la durabilidad del mismo, un concreto más resistente posee menor cantidad de vacíos, esta característica hace posible un concreto con mayor impermeabilidad y menor absorción; de esta forma el concreto de alta resistencia posee características que le permiten proteger mejor al acero de refuerzo que este pueda llegar a contener.

### 2.1.1 Bioconcreto

El bioconcreto se puede definir como aquel elaborado con una adición de bacterias que lo dotan de la capacidad de precipitar carbonato de calcio, este componente hace posible el cierre de fisuras formadas en el mismo (Jonkers, 2021). El proceso de producción de carbonato de calcio mediante las bacterias lleva el nombre de biocementación y ha sido investigado a lo largo de los años debido a que forma concretos con mayores características de durabilidad y resistencia a la compresión axial.

La biocementación se forma con la adición de determinadas bacterias al concreto, en la mayoría de las investigaciones actuales se ha usado las bacterias de la familia Bacillus, la elección de estas bacterias es debido a que poseen la capacidad de subsistir en un ambiente alcalino, el cual es el ambiente del concreto, a su vez estas bacterias se alimentan de lactato o de nitrato de calcio, produciendo carbonato de calcio. El carbonato de calcio se precipita y se acumula en las paredes del concreto sellando de esta forma las fisuras.

Si se tomara en cuenta la bacteria Bacillus Pasteuri, y al lactato de calcio como alimento de la misma, se puede obtener carbonato de calcio mediante la siguiente ecuación:



El bioconcreto posee un gran potencial de mejora para la durabilidad y resistencia del concreto, esto podría generar un menor costo en el mantenimiento de las obras por fisuramiento, aumentando la vida útil de la obra.

Por este motivo se han realizado numerosas tesis acerca del tema del bioconcreto, Manas, S. et al (2015), en el artículo titulado “Genetically enriched microbe facilitated self healing concrete a sustainable material for a new generation of construction technology”, analizaron los efectos de las bacterias *Bacillus Subtilis* en concentraciones de  $10^2$ - $10^6$  cel/ml, en cubos de mortero de 5cm de lado y en cubos de concreto de 15cm de largo; obteniendo como resultado mejoras tanto en la resistencia a la compresión como en la durabilidad del concreto y del mortero, concluyendo que la concentración de  $10^5$  fue la más eficiente para generar estos cambios positivos.

Khaliq, W., & Ehsan, M. B. (2016), en el artículo titulado “Crack healing in concrete using various bio influenced self-healing techniques”, analiza los procedimientos a tomar en cuenta para un correcto análisis de la resistencia y la reparación de fisuras en el bioconcreto expresando los cálculos y fundamentos a tomar en cuenta. Hace una crítica respecto a los ensayos realizados hasta el momento en el tema, haciendo hincapié en que los ensayos realizados son siempre en espacios controlados en laboratorios y no en condiciones reales. Finalmente se dice que de querer realizar todos los ensayos en condiciones normales requeriría de un costo de inversión muy elevado.

Alarcón, A. (2019), en la tesis titulada “Influencia de la incorporación del aditivo bacteriano en la reparación del proceso de fisuración controlada del concreto”, realizó un proceso de aislamiento de producción de dos tipos de bacterias, *Bacillus* y *Paenibacillus*, estas fueron implementadas en una concentración de  $3 \times 10^8$  cepas bacterianas por ml, observándose una reparación de fisuras de 68.3% y 80.6% a los 28 días respectivamente; en cuanto a la resistencia a la compresión, esta tuvo un aumento de 14.08% y 35.68% respectivamente.

Quevedo, H. y Sánchez, E. (2021), en la tesis titulada “Efecto de la bacteria (*bacillus subtilis*) en la resistencia a la compresión y flexión del concreto  $f'c=210\text{kg/cm}^2$ ”, analizaron la influencia de la bacteria *bacillus subtilis* en la resistencia a la compresión y flexión del concreto de  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  utilizando concentraciones de bacterias de 0.5%, 0.75% y 1% en peso de la cantidad de agua, obteniendo como resultado una resistencia a la compresión de  $229.88\text{kg/cm}^2$ ,  $232.17\text{ kg/cm}^2$  y  $222.74\text{ kg/cm}^2$  respectivamente, tomando en cuenta que la muestra patrón fue de  $215.63\text{ kg/cm}^2$ ; mientras que la resistencia

a la flexión patrón fue de 36.49 kg/cm<sup>2</sup> y las obtenidas en los ensayos fueron de 40.67 kg/cm<sup>2</sup>, 41.20 kg/cm<sup>2</sup> y 39.72 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, apreciando una mejora óptima en ambos casos para una concentración de 0.75%.

Pacheco, F., Loeff, A., Muller, V., Zamis Ehrenbring, H., Christ, R., Modolo, R., de Oliveira, M. F., & Tutikian, B. (2022), en la investigación titulada "Analysis of the self-regeneration of cementitious matrices through different methods of insertion of chemical and bacterial solutions", analizaron el cierre de las fisuras en concretos con adición bacteriana, utilizando principalmente 3 métodos, un agregado con arcilla expandida (AE), un agregado con perlita expandida (PE) y finalmente una solución son silicato de calcio (SS). Finalmente se concluyó que la solución bacteriana con el agregado de arcilla expandida fue la que mejor resultados de cierre de fisuras obtuvo, generando un cierre de 0.57mm, mientras que las dos última tuvieron un cierre máximo de 0.16mm y 0.29mm respectivamente.

## 2.2 EL CEMENTO

El cemento es un material que ha venido siendo usado por la humanidad desde tiempos ancestrales, empezando por el cemento romano, este se basaba en el uso de cal apagada e hidróxido de calcio. La mejora de las características del cemento a lo largo de los años ha sido muy lenta, tomando miles de años para que sea lo que se tiene en la actualidad, cemento hidráulico o cemento Portland.

Partiendo de su definición, el cemento es cualquier material que puede brindar características de adherencia, pero en el ámbito de la construcción este viene a ser el que permite juntar la arena y la piedra para que, junto con el agua, se obtenga concreto.

El cemento Portland que se conoce en la actualidad resulta de la combinación de la caliza y las arcillas, dándose esta en proporciones variables, posteriormente estas se funden y dan lugar al Clinker. (Luna & Flores, 1994).

El Clinker y sus componentes son los que al final hacen posible que el cemento reaccione con el agua y generen resistencia, cuyo valor es de gran importancia para los diferentes proyectos y elementos que se piden en la actualidad.



## **2.3 AGREGADOS PARA CONCRETO**

Conjunto de partículas, con origen natural o artificial, que tienen la característica de ser tratadas o elaboradas y cuyas dimensiones están comprendidas en la NTP 400.037.

### **2.3.1 Clasificación de los agregados**

#### **2.3.1.1 Agregado fino**

El agregado fino es definido en la NTP 400.037(2021) como aquel proveniente de la desintegración, ya sea artificial o natural, y que puede pasar por el tamiz 3/8" y quedar retenido en el tamiz N°200.

#### **2.3.1.2 Agregado grueso**

El agregado grueso es definido en la NTP 400.037(2021) aquel retenido en el tamiz N°4 y que proviene de la desintegración mecánica o natural de la roca.

#### **2.3.1.3 Agregado global**

El agregado global se define en la NTP 400.037(2021) como un material compuesto de agregado fino y grueso, produciendo un concreto más compacto con su combinación.

### **2.3.2 Propiedades de los agregados**

Las propiedades de los agregados son de gran importancia debido a que son la base para un correcto diseño de mezcla, estas serán descritas a continuación.

#### **2.3.2.1 Peso unitario suelto (PUS)**

El presente ensayo está descrito en la NTP 400.017, (2020). Este mide el peso seco del agregado de interés, sea fino o grueso, sin compactación alguna. La medición se hace con la ayuda de moldes, cuyo volumen depende el TMN de la muestra de ensayo.

El PUS se calcula como:

$$PUS = \frac{\text{Masa seca suelta del agregado}}{\text{Volumen unitario}}$$

### 2.3.2.2 *Peso unitario compactado (PUC)*

El presente ensayo está descrito en la NTP 400.017, (2020). Este mide el peso seco compactado del agregado de interés por unidad de volumen, el cual depende del volumen del molde a usar, siendo este seleccionado en función del TMN del agregado. La compactación se realiza en tres capas con 25 golpes por cada capa, se calcula de la siguiente forma:

$$PUC = \frac{\text{Masa seca compactada del agregado}}{\text{Volumen unitario}}$$

### 2.3.2.3 *Peso específico de masa*

El presente ensayo está descrito en la NTP 400.021, (2020) y NTP 400.022, (2021) siendo la primera referente al agregado grueso y la segunda al agregado fino. Este ensayo da como resultado el peso seco de la muestra por unidad de volumen, siendo este volumen uno neto. Para esta finalidad se satura la muestra y de esta forma el agregado cuenta con todos sus poros saturados de agua. El peso específico de masa se calcula como:

$$PE = \frac{\text{Masa de la muestra secada al horno en aire}}{\text{Volumen Neto}}$$

### 2.3.2.4 *Porcentaje de absorción*

El presente ensayo está descrito en la NTP 400.021, (2020) y NTP 400.022, (2021) para agregado grueso y agregado fino respectivamente. Este ensayo da como resultado la cantidad de agua que es capaz de absorber el agregado de interés y se determina de la siguiente forma:

$$\%Absorcion = \frac{B - A}{A} \times 100$$

Donde:

A = masa de la muestra secada al horno en aire en gramos.

B = masa de la muestra de ensayo de superficie saturada seca en aire en gramos.

### 2.3.2.5 Contenido de humedad

El presente ensayo está descrito en la NTP 339.185, (2021). Este procedimiento da como resultado la cantidad de humedad presente en la muestra en estado natural, se determina de la siguiente forma:

$$\%W = \frac{\text{Masa de la muestra húmeda} - \text{Masa de la muestra seca}}{\text{Masa de la muestra seca}} \times 100$$

### 2.3.2.6 Porcentaje que pasa la malla N°200

El presente ensayo está descrito en la NTP 400.018, (2020). Este procedimiento determina la cantidad de material de nuestro agregado de interés que supera la malla N°200, este proceso se hace mediante un lavado y no en seco, con la finalidad de contabilizar también el material adherido a la superficie de los agregados más grandes presentes en nuestra muestra.

$$\%P = \frac{\text{Masa seca de la muestra original} - \text{Masa seca de la muestra ensayada}}{\text{Masa seca de la muestra original}} \times 100$$

### 2.3.2.7 Modulo de finura

El presente cálculo está descrito en la NTP 400.037, (2021). Esta propiedad hace referencia a un tamaño promedio ponderado de la muestra del agregado de interés y se determina de la siguiente forma.

$$MF = \frac{\sum \% \text{Retenido acumulado (6", 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100)}}{100}$$

### 2.3.2.8 Inalterabilidad por medio de sulfato de magnesio

El presente ensayo está descrito en la NTP 400.016, (2020). Este procedimiento determina la resistencia que poseen los agregados a los ciclos de hielo y deshielo. Se puede determinar de la siguiente manera:

$$\% \text{Inalterabilidad} = \frac{A - B}{A} \times C$$

Donde:

A: Peso antes del ensayo

B: Peso después del ensayo

C: Escalonada Original Granulometría

### 2.3.2.9 Porcentaje de desgaste

El presente ensayo está descrito en la NTP 400.019, (2020). Este procedimiento permite determinar el porcentaje de desgaste que puede presentar nuestro agregado con ayuda de la máquina de Los Ángeles y las esferas metálicas normadas. Los requisitos que deben cumplir las esferas como la máquina están listados en la NTP 400.037, (2020). El porcentaje de desgaste se determina con ayuda de la siguiente expresión:

$$\%desgaste = \frac{Masa\ Inicial - Masa\ final}{Masa\ Inicial} \times 100$$

#### 2.3.2.10 Granulometría

El presente ensayo está descrito en la NTP 400.012, (2020). Este procedimiento permite determinar las características de tamaños que componen al agregado de interés, esto mediante husos granulométricos.

*Tamaño Máximo (T.M.) = Menor Tamiz con 0% de agregado retenido*

*Tamaño Máximo Nominal (T.M.N)*

*= Primer tamiz que obtiene un retenido igual o superior al 5%*

## 2.4 PROPIEDADES DEL CONCRETO

Las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido son obtenidas mediante ensayos de laboratorio; a continuación, se listarán los ensayos de laboratorio pertinentes para la investigación a realizar.

### 2.4.1 Propiedades del concreto en estado fresco

#### 2.4.1.1 Consistencia

El presente ensayo está descrito en la NTP 339.035, (2022). Este procedimiento permite medir el asentamiento del concreto con la ayuda del cono de Abrams.

*Slump(") = Altura del molde – Altura del cono deformado*

#### 2.4.1.2 Exudación

El presente ensayo está descrito en la en la NTP 339.077, (2020). Este procedimiento permite determinar la cantidad de agua que se separa del concreto en estado fresco mediante la decantación de un molde normado que lo contiene.

$$\%Exudación = \frac{D}{C} \times 100$$

Donde:

D: Masa del agua de exudación, en gr. (volumen total extraído de la muestra de ensayo, en ml, multiplicado por 1 gr./ml).

C: Masa del agua en la muestra de ensayo, en gr.

#### **2.4.1.3 Contenido de aire**

El Presente ensayo está descrito en la NTP 339.083, (2003). Este procedimiento permite determinar la cantidad de aire que está contenido en la mezcla del concreto en el estado fresco, se hace uso de la olla Washington.

#### **2.4.1.4 Tiempo de fraguado**

El presente ensayo está descrito en la NTP 339.082, (2019). Este procedimiento permite determinar el tiempo en el que el concreto empieza y termina su proceso de fragua, esto con la ayuda de la resistencia a la penetración de una muestra del concreto en estado fresco tamizada por le malla N°4.

### **2.4.2 Propiedades del concreto en estado endurecido**

#### **2.4.2.1 Compresion axial**

El presente ensayo está descrito en la NTP 339.034, (2021). Este procedimiento permite determinar la resistencia a la compresión axial de muestras cilíndricas de concreto. La resistencia a la compresión axial se determina de la siguiente manera:

$$f'c = \frac{\text{Carga máxima de rotura (kg)}}{\text{Área de la cara sometida a la carga (cm}^2\text{)}}$$

#### **2.4.2.2 Compresion diametral**

El presente ensayo está descrito en la NTP 339.084, (2017). Este procedimiento permite determinar la resistencia a la compresión diametral de muestras cilíndricas de concreto. El factor mencionado se calcula como:

$$CD = \frac{2 \times \text{Carga máxima de rotura (kg)}}{\pi \times \text{Altura de probeta} \times \text{diametro de la probeta (cm}^2\text{)}}$$

## CAPÍTULO III: ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

### 3.1 CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO

#### 3.1.1 Cemento usado en la investigación

En la presente investigación se hizo uso de cemento Portland Tipo I de la marca Sol, el cual posee las siguientes propiedades físicas y químicas que se aprecian en el cuadro 1:

Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas del cemento Sol Tipo 1.  
Fuente: (UNACEM, 2021)

<b>PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS</b>			
<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CEMENTO SOL</b>	<b>REQUISITOS NTP-334.009/ ASTM C-150</b>
Contenido de aire	%	7	Máximo 12
Expansión autoclave	%	0.09	Máximo 0.80
Superficie específica	m <sup>2</sup> /kg	323	Mínimo 260
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	3.13	No específica
<b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN</b>			
Resistencia a la compresión a 3 días	kg/cm <sup>2</sup>	303	Mínimo 122
Resistencia a la compresión a 7 días	kg/cm <sup>2</sup>	382	Mínimo 194
Resistencia a la compresión a 28 días	kg/cm <sup>2</sup>	449	Mínimo 285 (*)
<b>TIEMPO DE FRAGUADO</b>			
Fraguado Vicat inicial	min	129	45 a 375
<b>COMPOSICIÓN QUÍMICA</b>			
MgO	%	2.9	Máximo 6.0
SO <sub>3</sub>	%	2.8	Máximo 3.5
Pérdida al fuego	%	2.2	Máximo 3.5
Residuo insoluble	%	0.9	Máximo 1.5
<b>FASES MINERALÓGICAS</b>			
C2S	%	12	No específica
C3S	%	55	No específica
C3A	%	10	No específica
C4AF	%	10	No específica
(*) Requisito opcional			

## 3.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS

### 3.2.1 Resumen de las características generales de los agregados

En los cuadros 2 y 3 se listan las características determinadas de los ensayos de agregados de la cantera Difamás y se hace una comparativa de estas con los límites estipulados en la NTP 400.037 (2021).

*Cuadro 2. Características del agregado fino. Cantera Difamás.  
Elaboración propia.*

Ensayo	Unidad	Agregado Fino	NTP 400.037 (2021)
Contenido de humedad	%	1	-
Durabilidad	%	6,23	15% máx
PUS	kg/m <sup>3</sup>	1662	-
PUC	kg/m <sup>3</sup>	1786	-
Malla 200	%	4,34	3% máx
Peso específico	kg/m <sup>3</sup>	2650	-
Impurezas orgánicas	-	No presenta	No debe presentar

*Cuadro 3. Característica del agregado grueso. Cantera Difamás.  
Elaboración Propia.*

Ensayo	Unidad	Agregado Grueso	NTP 400.037 (2021)
Contenido de humedad	%	0,43	-
Durabilidad	%	1,99	18% máx
PUS	kg/m <sup>3</sup>	1387	-
PUC	kg/m <sup>3</sup>	1514	-
Malla 200	%	0,27	1% máx
Peso específico	kg/m <sup>3</sup>	2680	-
Abrasión	%	16,48	50% máx

## 3.3 BACTERIA Y FUENTE DE CALCIO ELEGIDAS:

En la presente investigación se eligió a la bacteria *Bacillus Subtilis* por su buen desempeño en investigaciones anteriores; así como, por la seguridad que brinda al momento de trabajar con ella debido a que otras bacterias resultan ser tóxicas para la salud. Esta bacteria se encuentra comúnmente en el suelo y es catalogada como una Gram positiva. Debido a la habilidad que posee de formar una endospora protectora, esta bacteria es resistente a condiciones ambientales extremas y la hace una gran candidata para la elaboración de concreto.

En este caso se compró la bacteria en estado de polvo mojable de la marca Mishka la cual presenta una concentración de  $10^9$  ufc/g y un pH mayor a 7 el cual evita ocasionar problemas con la alcalinidad del concreto, se procedió a hacer una solución de la misma considerando una cantidad de 1kg por cada 200 litros de agua tomando como recomendación la tabla de las especificaciones técnicas del producto. El agua con bacterias reemplazó al agua de diseño al momento de realizar el concreto, siendo elaborada momentos antes de la mezcla debido a que no debía un contacto directo y prolongado con la luz.

En cuanto a la fuente de calcio, se utilizó nitrato de calcio. Este componente se adquirió en estado de perlas de color blanquecino, poseía una densidad de  $2 \text{ gr/cm}^3$ , un pH de 5.5 a 7 y un peso molecular de 236.15 g/mol; se agregó diluido en agua al momento de la mezcla del concreto usando un poco del agua de diseño, pero sin modificar la cantidad de la misma. Al igual que las bacterias se recomendó el almacenaje en lugares frescos y secos. El nitrato de calcio contaba con alta disponibilidad en el mercado al momento de realizar la investigación, a diferencia del lactato de calcio que estaba escaso para las cantidades requeridas para el presente trabajo.



## CAPÍTULO IV: DISEÑO DE MEZCLA CON LA ADICIÓN DE BACTERIAS

### 4.1 GENERALIDADES

El diseño de mezcla de concreto es un procedimiento en el que se consideran las propiedades físicas de los materiales y proporciones adecuadas de los mismos para poder lograr las características de resistencia y durabilidad que sean solicitadas. El proceso inicia con la selección de los materiales, tomando en cuenta las características de la obra y el espacio geográfico en donde será realizado. (Neville & Brooks, 2010), luego se determinan las propiedades físicas y químicas de los mismos. Finalmente, se realizan diversos ensayos de laboratorio para determinar la relación agua cemento más óptima y obtener la dosificación que permita maximizar la resistencia a partir de los materiales elegidos. La importancia del diseño de mezcla radica en que un buen diseño dará un buen concreto y un buen concreto permite la construcción de estructuras más duraderas a lo largo del tiempo, reduciendo el coste de mantenimiento de las mismas.

### 4.2 MÉTODO DE DISEÑO

En la actualidad, gracias al avance de la ciencia y los procedimientos, existen diversos métodos de diseño de mezcla, el más utilizado a nivel mundial es el método del ACI-211. En el presente trabajo se utilizó el método mencionado como la base de obtención de los parámetros iniciales, pero se hizo uso del método del agregado global para la determinación de los porcentajes óptimos de arena y de piedra a utilizar. El método del agregado global permite una mejor combinación de los agregados y esto da como resultado un menor porcentaje de vacíos en el concreto permitiendo una mayor resistencia con un menor uso de cemento.

### 4.3 DISEÑO DE CONCRETO PATRÓN

El proceso de diseño de mezcla empleado se divide en los siguientes pasos:

- a) Elección de materiales y determinación de propiedades básicas:

La elección de los materiales es de gran importancia, estos deben cumplir con los requerimientos establecidos en la NTP 400.037. Para poder verificar estos valores es recomendable adquirir los materiales de una cantera de confianza o corroborar las propiedades con los ensayos de laboratorio respectivos.

b) Determinación de valores iniciales con ACI:

Con la ayuda de las tablas del ACI-211 se elige un slump inicial de 3"-4", uniendo este valor inicial con el TMN determinado mediante ensayos de laboratorio se obtiene una cantidad de agua inicial de 200lt/m<sup>3</sup> y una cantidad de aire atrapado de 2%.

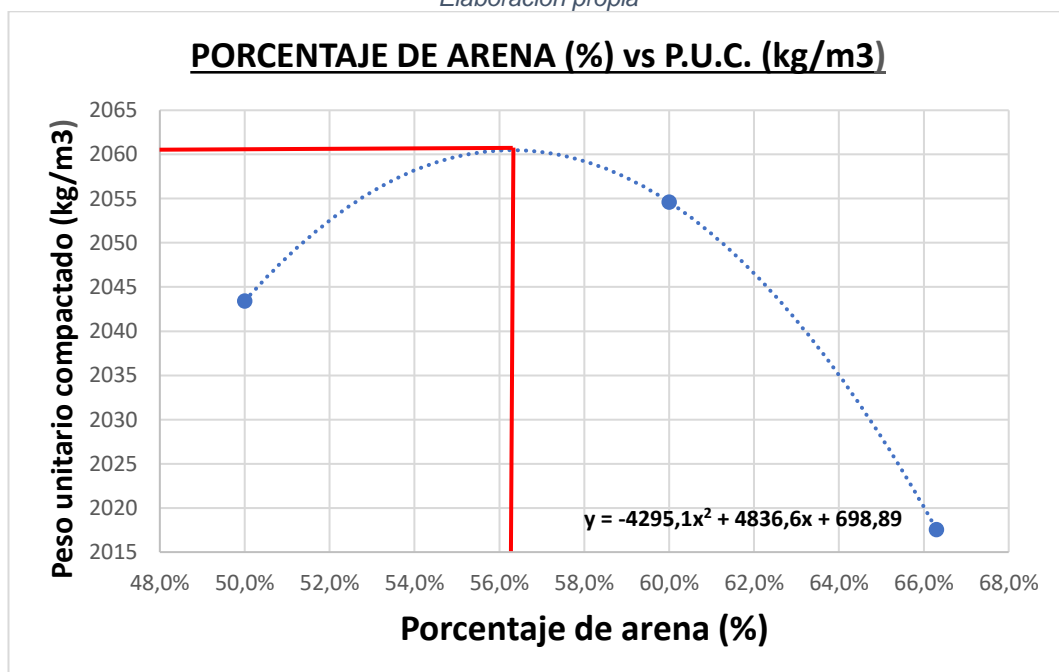
c) Determinación de la relación a/c:

Las relaciones a/c elegidas para el presente trabajo son de 0.45 y 0.50 para la obtención de concretos de mediana a alta resistencia.

d) Determinación de los porcentajes de agregados con el empleo del método del Agregado Global:

El método del Agregado Global ayuda en la determinación de porcentajes de arena y de piedra óptimos para el diseño de mezcla. Para este fin se hace uso del ensayo de P.U.C. este se realiza con diferentes porcentajes de arena y piedra, mediante la interpolación de una gráfica cuadrática se determinará el porcentaje óptimo de estos:

Gráfico 1. Porcentaje de Arena y PUC.  
 Elaboración propia



Cuadro 4. P.U.C. de la combinación de agregado fino y grueso.  
Elaboración propia.

%PIEDRA	%ARENA	PUC (kg/m <sup>3</sup> )
50,0%	50,0%	2043,41
40,0%	60,0%	2054,61
33,7%	66,3%	2017,56

Del gráfico 1 se determina que el porcentaje óptimo de arena a utilizar en este caso sería de 56.3%.

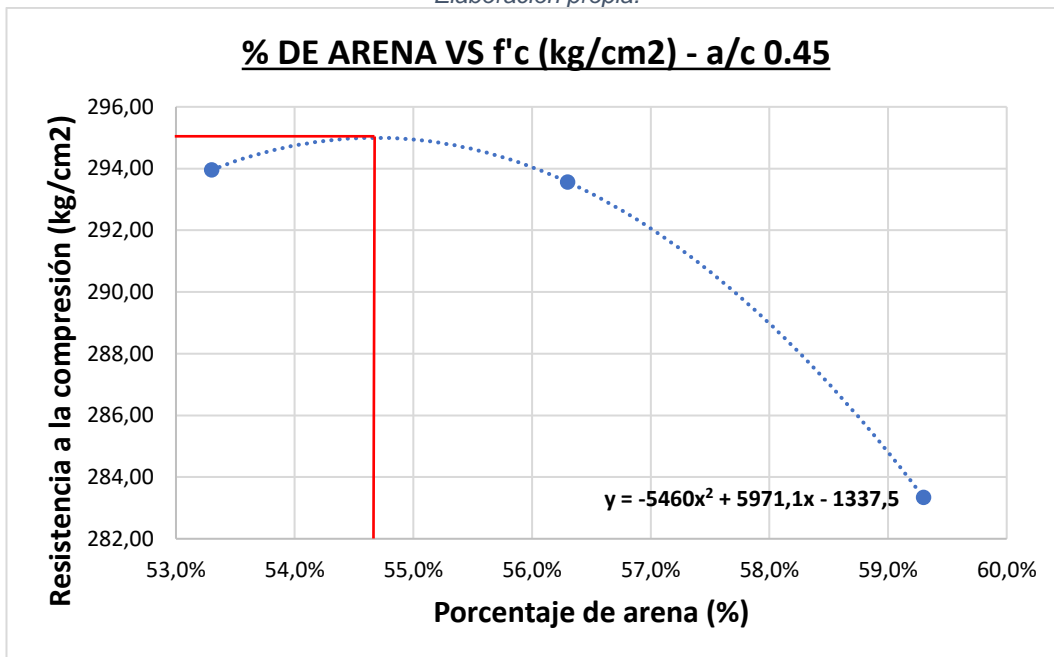
e) Determinación de la dosificación inicial:

Para la determinación de la dosificación inicial se realizó un diseño de mezcla preliminar, este fue realizado con los datos de porcentaje de arena y piedra óptimos determinados en el apartado anterior. Los datos de cemento, arena, agua y aire fueron determinados gracias al uso de tablas del ACI y por la suma de volúmenes totales. El slump elegido en esta ocasión fue de 3" a 4" y finalmente se realizó una corrección por humedad para obtener los resultados más precisos posibles.

f) Determinación de la dosificación definitiva:

Una vez determinada la dosificación inicial se realizan pequeñas variaciones respecto del porcentaje de arena, estas son de 3% tanto superior como inferior para poder realizar tandas de prueba. En el presente trajo se trabajó entonces, para un a/c de 0.45, con porcentajes de arena de 53.3%, 56.3% y 59.3%. Luego de hacer los respectivos vaciados para estos porcentajes de arena se elaboraron probetas que fueron ensayadas a los 7 días. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Gráfico 2. Porcentaje de arena vs Resistencia a la compresión (kg/cm<sup>2</sup>).  
Elaboración propia.



Del gráfico 2 se determina que el porcentaje de arena óptimo a utilizar es de 54.68%. Con este porcentaje definido se determinaron los diferentes pesos y volúmenes a utilizar para el concreto patrón considerando unos a/c de 0.50 y 0.45.

Cuadro 5. Porcentaje de Arena y Resistencia a la compresión (kg/cm<sup>2</sup>).  
Elaboración propia.

% ARENA	RESISTENCIA kg/cm <sup>2</sup>
53,3%	293,96
56,3%	293,56
59,3%	283,34

Finalmente, con los datos obtenidos de los ensayos precedentes se procedió a calcular los diferentes pesos de los componentes del diseño de mezcla, considerando la corrección de agua utilizada para alcanzar la trabajabilidad deseada se obtuvo los siguientes valores para cada a/c patrón establecido.

Cuadro 6. Diseño de concreto patrón para a/c 0.45.  
Elaboración propia.

MATERIAL	Peso Seco (kg)	P.E (kg/m <sup>3</sup> )	Volumen Absoluto (m <sup>3</sup> )	Peso Unitario Seco	Peso húmedo (kg)	Peso Unitario Húmedo	Tanda de 155kg
Cemento	537,3	3150	0,171	1,00	537,33	1,00	36,35
Agua	241,8	1000	0,242	0,45	230,61	0,43	15,60
Arena	822,5	2650	0,310	1,53	830,71	1,55	56,20
Piedra	689,4	2680	0,257	1,28	692,38	1,29	46,84
Aire	-	100	0,020	-	-	-	-

Cuadro 7. Diseño de concreto patrón para a/c 0.50.  
Elaboración propia.

MATERIAL	Peso Seco (kg)	P.E (kg/m <sup>3</sup> )	Volumen Absoluto (m <sup>3</sup> )	Peso Unitario Seco	Peso húmedo (kg)	Peso Unitario Húmedo	Tanda de 155kg
Cemento	458,2	3150	0,145	1,00	458,22	1,00	30,88
Agua	229,11	1000	0,229	0,50	217,18	0,47	14,64
Arena	877,3	2650	0,331	1,91	886,04	1,93	59,71
Piedra	735,3	2680	0,274	1,60	738,49	1,61	49,77
Aire	-	100	0,020	-	-	-	-

#### 4.4 DISEÑO DE CONCRETO CON LA ADICIÓN DE BACTERIAS

Para el diseño del concreto con adición de bacterias se determinó que el porcentaje de nitrato de calcio a utilizar en el presente trabajo sería de 10kg para un volumen de 1m<sup>3</sup> de concreto debido a que demostró tener gran efectividad para la concentración de bacterias elegida (Pariona, 2021) y la cantidad de bacterias utilizada en el diseño fue de 1kg por cada 200 litros de agua, cantidad elegida como recomendación de la ficha técnica del producto de bacterias. Tomando en cuenta el P.E. del nitrato de calcio se determinan los volúmenes finales para 1m<sup>3</sup> de concreto y para una tanda de 155kg, la cual hizo posible la elaboración de 44 probetas cilíndricas que se usaron en todos los ensayos para cada muestra.

Cuadro 8. Diseño de concreto con bacterias para a/c 0.45.  
Elaboración propia.

MATERIAL	Peso Seco (kg)	P.E (kg/m <sup>3</sup> )	Volumen Absoluto (m <sup>3</sup> )	Peso Unitario Seco	Peso húmedo (kg)	Peso Unitario Húmedo	Tanda de 155kg
Cemento	537,3	3150	0,171	1,00	537,33	1,00	36,39
Agua	241,8	1000	0,242	0,45	230,71	0,43	15,62
Arena	815,2	2650	0,308	1,52	823,40	1,53	55,76
Piedra	683,3	2680	0,255	1,27	686,28	1,28	46,47
Aire	-	100	0,020	-	-	-	-
Nitrato	10,0	2000	0,005	0,0186	10,00	0,02	0,68
Bacterias	1,209	-	-	0,0023	1,20	0,0022	0,08

Cuadro 9. Diseño de concreto con bacterias para a/c 0.50.  
Elaboración propia.

MATERIAL	Peso Seco (kg)	P.E (kg/m <sup>3</sup> )	Volumen Absoluto (m <sup>3</sup> )	Peso Unitario Seco	Peso húmedo (kg)	Peso Unitario Húmedo	Tanda de 155kg
Cemento	458,2	3150	0,145	1,00	458,22	1,00	30,91
Agua	229,11	1000	0,229	0,50	217,27	0,47	14,66
Arena	870,0	2650	0,328	1,90	878,73	1,92	59,27
Piedra	729,3	2680	0,272	1,59	732,40	1,60	49,40
Aire	-	100	0,020	-	-	-	-
Nitrato	10,0	2000	0,005	0,0186	10,00	0,02	0,6746
Bacterias	1,1456	-	-	0,0021	1,20	0,0022	0,0809

## CAPÍTULO V: ENSAYOS DE CONCRETO

### 5.1 ENSAYOS AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

En la presente investigación se realizaron diversos ensayos para poder medir las propiedades del concreto en estado fresco, tanto para las muestras patrón como para las muestras adicionadas con bacterias. Los ensayos realizados, como se mostró en capítulos anteriores, fueron los siguientes:

- Consistencia
- Contenido de aire
- Exudación
- Tiempo de fragua

Los ensayos elegidos se fundamentan en la posible variación que se podría presentar en el concreto debido a la adición de las bacterias y el nitrato de calcio, siendo valores importantes a tomar en cuenta la exudación, consistencia y tiempo de fragua. La temperatura y peso unitario del concreto no se tomaron en cuenta debido a que las adiciones agregadas al concreto no poseen valores de masa y volumen que puedan hacer variar en gran medida a las propiedades finales del mismo.

En el cuadro 10 se pueden apreciar los resultados obtenidos al realizar los ensayos del concreto en estado fresco de la muestra patrón, para los a/c de 0.45 y 0.50, estos se tomarán como base posteriormente para realizar la comparación de este concreto patrón con el concreto adicionado con bacterias y de esta manera poder determinar la influencia de esta adición en las propiedades del concreto en estado fresco.

*Cuadro 10. Propiedades de concreto fresco para las muestras patrón.  
Elaboración propia.*

ENSAYO	Unidad	PATRÓN	
		a/c 0.45	a/c 0.50
Consistencia	pulgadas	3	3,2
Exudación	%	0,44	0,66
T.F. Inicial	min	193	203
T.F. Final	min	273	280
Contenido de aire	%	1,9	1,95

En el cuadro 11 se pueden apreciar los resultados obtenidos al realizar los ensayos del concreto en estado fresco de la muestra adicionada con bacterias, para los a/c de 0.45 y 0.50, estos se contrastarán posteriormente con los obtenidos por parte de la muestra patrón y de esta forma poder determinar la influencia de la adición de bacterias al concreto en estado fresco, con la finalidad de poder lograr los objetivos planteados para la presente investigación.

Cuadro 11. Propiedades de concreto fresco para las muestras adicionadas con bacterias.  
Elaboración propia.

ENSAYO	Unidad	CON BACTERIAS	
		a/c 0.45	a/c 0.50
Consistencia	pulgadas	5,5	5,4
Exudación	%	0,55	0,93
T.F. Inicial	min	200	200
T.F. Final	min	307	300
Contenido de aire	%	1,95	1,9

Finalmente, es importante remarcar que en el apartado de los anexos se muestran en detalle los datos de los procedimientos empleados para cada ensayo presentado en los cuadros 10 y 11.

## 5.2 ENSAYOS AL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

Para determinar las propiedades del concreto en estado endurecido se realizaron los ensayos de resistencia a la compresión y tracción indirecta debido a que son las principales características del concreto que se toman en cuenta al momento de su uso estructural, siendo que la flexión y el módulo de elasticidad sirven más para obras viales, las cuales no tendrían un contacto continuo con medios acuosos y no podrían hacer un uso efectivo de la reparación del concreto adicionado con bacterias. La cantidad de muestras elegidas para los ensayos descritos fue determinada haciendo consulta con investigaciones a nivel internacional de artículos científicos, estos en su mayoría, hacían uso de 3 muestras para cada variación. Por este motivo se consideraron 6 muestras para edades iniciales de 7 y 14 días para el ensayo de compresión del concreto y un total de 10 muestras para los ensayos de compresión y tracción del concreto a los 28 días.

En el cuadro 12 se muestran los resultados obtenidos al realizar los ensayos del concreto en estado endurecido de la muestra patrón, para los a/c de 0.45 y 0.50, estos contemplan edades de 7, 14 y 28 días para el ensayo de compresión axial y la edad de 28 días para el ensayo de compresión diametral. Estos resultados

serán usados posteriormente como base para determinar la influencia de la adición de las bacterias al concreto en las propiedades que este posee en el estado endurecido.

*Cuadro 12. Propiedades de concreto patrón en estado endurecido.  
Elaboración propia.*

ENSAYO	Días	Unidad	PATRÓN	
			a/c 0,45	a/c 0,5
Resistencia a la compresión	7	kg/cm <sup>2</sup>	299,33	249,00
	14	kg/cm <sup>2</sup>	309,50	281,67
	28	kg/cm <sup>2</sup>	347,40	297,20
Compresión Diametral	28	kg/cm <sup>2</sup>	31,17	27,67

En el cuadro 13 se pueden apreciar los resultados obtenidos al realizar los ensayos del concreto en estado endurecido de la muestra adicionada con bacterias, las edades y ensayos son los mismos que se consideraron en el cuadro 12. Con estos datos y los de la muestra patrón se realizará posteriormente una comparación que permitirá determinar la variación ocasionada en las propiedades del concreto en estado endurecido.

*Cuadro 13. Propiedades de concreto adicionado con bacterias en estado endurecido.  
Elaboración propia.*

ENSAYO	Días	Unidad	CON BACTERIAS	
			a/c 0,45	a/c 0,5
Resistencia a la compresión	7	kg/cm <sup>2</sup>	289,00	260,00
	14	kg/cm <sup>2</sup>	313,33	290,00
	28	kg/cm <sup>2</sup>	370,70	329,30
Compresión Diametral	28	kg/cm <sup>2</sup>	32,40	30,48

Finalmente, es importante mencionar que en el apartado de los anexos se detallan los cálculos previos y la toma de medidas realizadas que dieron como resultado los datos presentados en los cuadros 12 y 13.

### 5.3 REPARACIÓN DE LAS FISURAS EN EL CONCRETO

Para la presente investigación se realizó la medición de la reparación de las fisuras en los concretos adicionados con bacterias con a/c de 0.45 y 0.50. Para esta finalidad se tomaron muestras cilíndricas de concreto de una edad de 28 días y con un tamaño de 4" x 8", posteriormente se realizó un corte divisorio a las muestras para la obtención de dos partes iguales, esto con la finalidad de poder

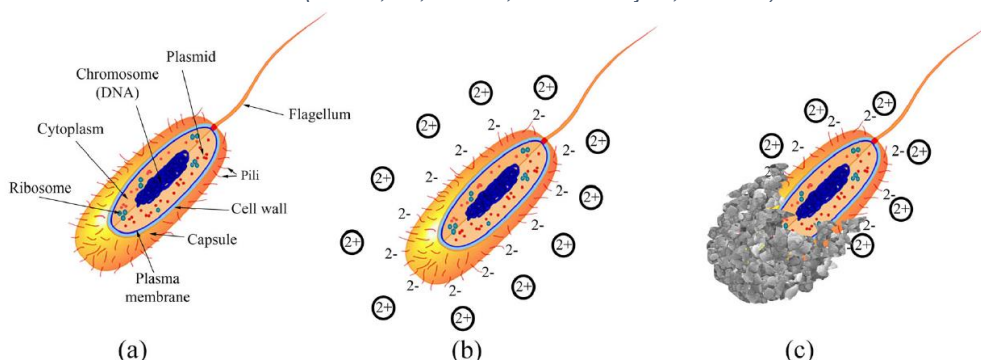


reducir el tamaño de cada muestra y obtener una relación h/d menor, de esta manera al realizar el fisuramiento los especímenes tendrían un fallo por aplastamiento y no por rotura, el fallo por aplastamiento hará más posible la obtención de fisuras representativas. Seguidamente se procedió al fisuramiento de las muestras, el mismo que consistió en la aplicación de una carga de forma controlada y lenta sobre cada muestra con la finalidad que se puedan generar fisuras de tamaños factibles para su cierre. Una vez generadas las fisuras se procedieron a marcar las de interés, hacer el respectivo registro fotográfico y mediciones iniciales para que finalmente sean puestas a curado. Para la medición y toma de registro fotográfico de las fisuras que se realizaron cada dos semanas, se utilizó una cámara con un zoom elevado, prestada por el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la UNI, lugar donde se realizaron los ensayos.

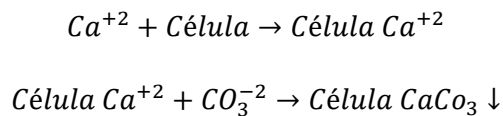
El proceso interno que se lleva a cabo en este tiempo para lograr la reparación de fisuras, es principalmente conocido como biomineralización, este consiste en la formación de minerales por parte de organismos vivos utilizando las características de su entorno. La formación de minerales es el resultado del proceso metabólico de los componentes que se encuentren alrededor de la bacteria, siendo de esta forma un proceso bastante aleatorio.

En la figura 1 se puede apreciar un diagrama esquemático de cómo se realiza la producción mineral, esta ocurre como consecuencia de la unión exitosa de los iones cargados positivamente en el entorno con los iones cargados negativamente en la superficie de la bacteria.

Figura 1. Proceso de biomineralización bacteriana.  
 Fuente: (Seifan, M., Samini, A. & Berenjian, A. 2016)



Tomando como punto de partida el proceso anterior, se busca la producción de carbonato de calcio a partir de las bacterias, debido a que este posee una alta compatibilidad con las composiciones cementosas. Para esta finalidad se busca proporcionar una fuente de calcio a las bacterias y estas como resultado producirían el carbonato de calcio. La producción de este compuesto viene dada por la siguiente ecuación:



Para que la reacción descrita tenga ocurrencia no es solo necesaria la presencia de las bacterias y el alimento con componente de calcio, sino también un nivel de pH adecuado y un medio acuoso, de no contar con estos componentes la producción de carbonato de calcio es muy complicada.

Al culminar las mediciones realizadas durante 42 días en el concreto adicionado con bacterias, se observó que las fisuras de alrededor de 0.5mm no cerraron, mientras que las fisuras con un ancho menor de 0.2mm sí cerraron, estos resultados fueron independientes del a/c debido a que, sin tomar en cuenta la relación descrita, los cierres de las fisuras fueron los mismos para cada muestra ensayada como se puede apreciar en la figura 2.

Figura 2. Fisura reparada - Concreto adicionado con bacterias a/c 0.50. Fuente propia.

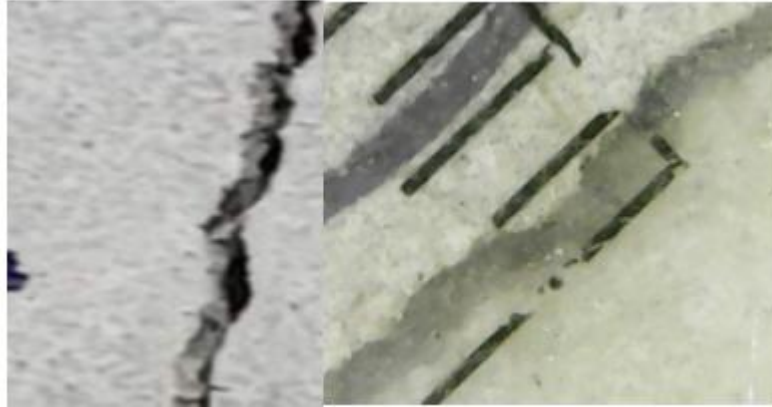


El tiempo de observación del cierre de fisuras no fue mayor debido a que el cierre se presentó durante las primeras semanas de observación y las fisuras de gran tamaño no tenían progreso alguno en el cierre.

Para el concreto patrón se realizó el mismo procedimiento anteriormente explicado para ambos a/c; sin embargo, en este caso no se registró cierre alguno de fisuras

independientemente del grosor de las mismas, como se puede apreciar en la figura 3.

*Figura 3. Fisura de concreto patrón sin signo alguno de reparación. Fuente propia.*



El porcentaje de cierre de fisuras no se logró determinar de forma matemática debido a la gran dispersión en el cierre generado para las muestras adicionadas, esto debido a que para un mismo espesor de grietas, 0.2 mm, se podía o no registrar un cierre de la misma con lo que se determinó que el cierre de fisuras se generó de forma aleatoria, esto quizá debido a que se pudo concentrar una mayor cantidad de bacterias en ciertas zonas del concreto y esto favoreció a su reparación para los grosores antes especificados.

Finalmente es importante remarcar que en el apartado de los anexos se muestran en detalle todas las imágenes referentes a la medición de las fisuras.

## CAPÍTULO VI: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 6.1 AGREGADOS

#### 6.1.1 Granulometría

##### 6.1.1.1 Agregado fino – arena

El ensayo granulométrico de la arena se realizó bajo los parámetros establecidos en la NTP 400.012 y la gráfica granulométrica obtenida está en su gran mayoría dentro del huso granulométrico estipulado en la NTP 400.037, en el cuadro 14 se puede apreciar los resultados obtenidos en el análisis granulométrico y su respectivo módulo de finura.

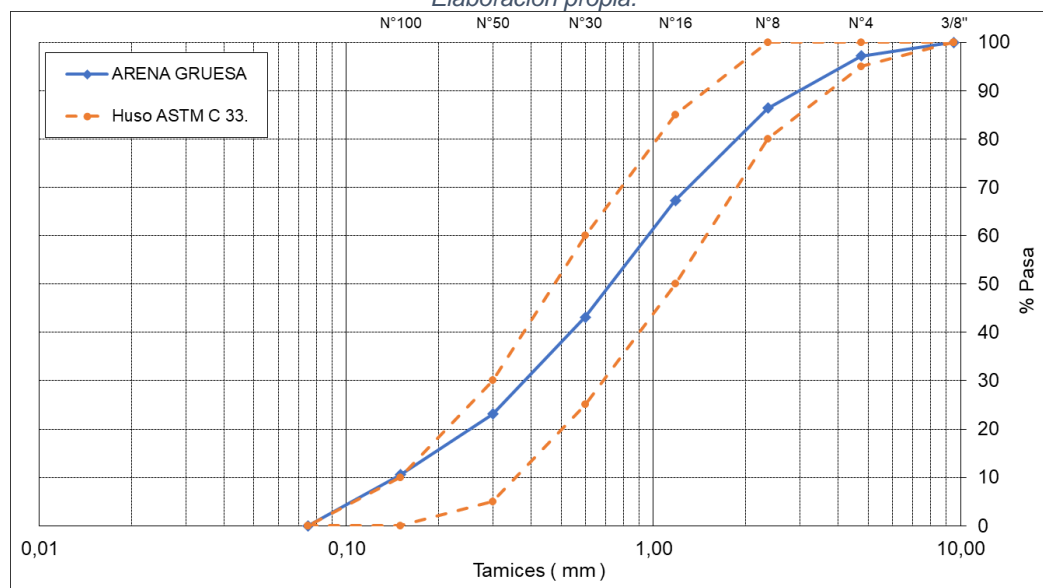
Cuadro 14. Análisis granulométrico del agregado fino - arena.  
Elaboración propia.

TAMIZ		%RET	%RET ACUM.	% PASA	% PASA. ASTM C 33 HUSO AGR. FINO
(Pulg)	(mm)				
3/8"	9,50	0,0	0,0	100,0	100
N°4	4,75	2,8	2,8	97,2	95 - 100
N°8	2,36	10,9	13,7	86,4	80 - 100
N°16	1,18	19,1	32,7	67,3	50 - 85
N°30	0,60	24,1	56,9	43,1	25 - 60
N°50	0,30	20,0	76,9	23,1	5 - 30
N°100	0,15	12,5	89,4	10,6	0 - 10
FONDO		10,6	100,0	0,0	0

MÓDULO DE FINURA : 2,72

En el gráfico 3, presentado a continuación se puede apreciar la curva granulométrica del agregado fino y el huso ASTM C33 que la contiene.

Gráfico 3. Curva granulométrica del agregado fino - arena.  
Elaboración propia.



Como resultado del ensayo granulométrico se obtuvo la curva granulométrica del agregado fino, en la presente investigación el agregado fino utilizado cumple en su mayoría con las condiciones establecidas en la NTP 400.037 en la que se estipulan las curvas que componen el huso granulométrico que contiene al agregado (HUSO ASTM C33). La parte de la curva que está por encima del huso es el porcentaje que supera la malla N°100 que según la norma mencionada debería ser como máximo de 10% sin embargo, en el presente caso se tiene un porcentaje de 10.6%, este pequeño exceso de material fino puede hacer menos trabajable la mezcla de concreto, pero al momento del vaciado no se generaron mayores problemas.

### 6.1.1.2 Agregado grueso – piedra

El ensayo granulométrico de la piedra se realizó bajo los parámetros establecidos en la NTP 400.012 y la gráfica granulométrica obtenida se compara dentro de uno de los husos granulométricos estipulados en la NTP 400.037, en el cuadro 15 se puede apreciar los resultados obtenidos en el análisis granulométrico y su respectivo módulo de finura.

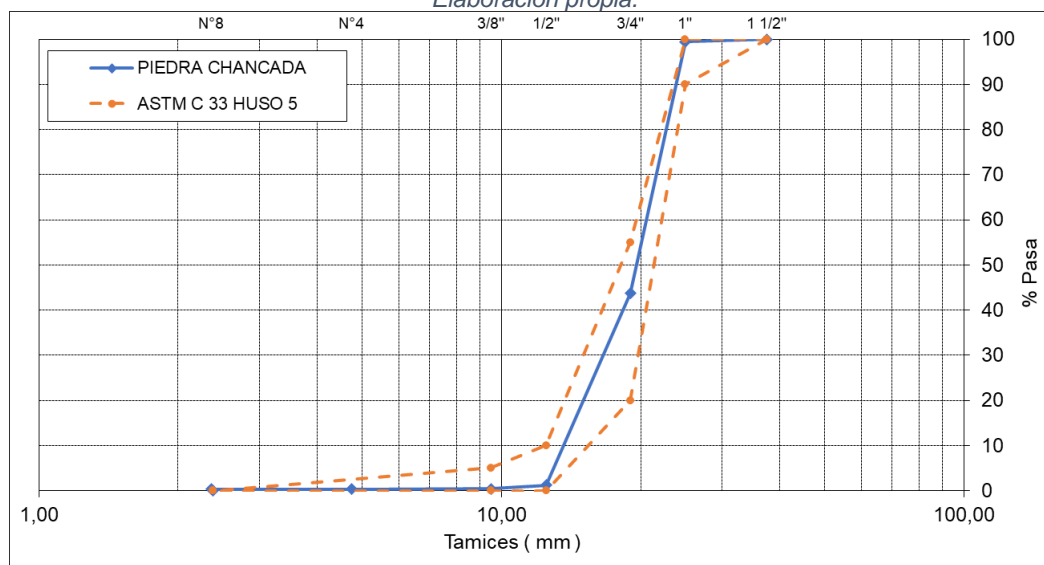
Cuadro 15. Análisis granulométrico del agregado grueso - piedra.  
Elaboración propia.

TAMIZ		% RET.	% RET. ACUM.	% PASA	% PASA. ASTM C 33 HUSO 5
( Pulg )	(mm)				
1 1/2"	37,50	0,0	0,0	100,0	100
1"	25,00	0,5	0,5	99,5	90 - 100
3/4"	19,00	55,8	56,3	43,7	20 - 55
1/2"	12,50	42,4	98,7	1,3	0 - 10
3/8"	9,50	0,8	99,6	0,4	0 - 5
N°4	4,75	0,1	99,6	0,4	-
N°8	2,36	0,0	99,6	0,4	-
FONDO		0,4	100,0	0,0	

MÓDULO DE FINURA : 7,54

En el gráfico 4 se puede apreciar la curva granulométrica del agregado grueso y el huso que la contiene, en este caso el Huso 5. Se debe tomar en cuenta que para el caso del agregado grueso existen 15 husos granulométricos estipulados en la NTP 400.037 y el huso que se presenta a continuación es el que mejor encaja con la curva granulométrica del agregado utilizado para la presente investigación.

Gráfico 4. Curva granulométrica del agregado grueso - piedra.  
Elaboración propia.



Como resultado del ensayo granulométrico se obtuvo la curva granulométrica del agregado grueso, en la presente investigación el agregado grueso utilizado cumple con estar contenido en un huso granulométrico estipulado en la NTP 400.037, el cual es el Huso 5, también se debe considerar que el TMN de la piedra es de 3/4" habiendo sido más conveniente trabajar con un TMN menor.

### 6.1.1.3 Agregado global

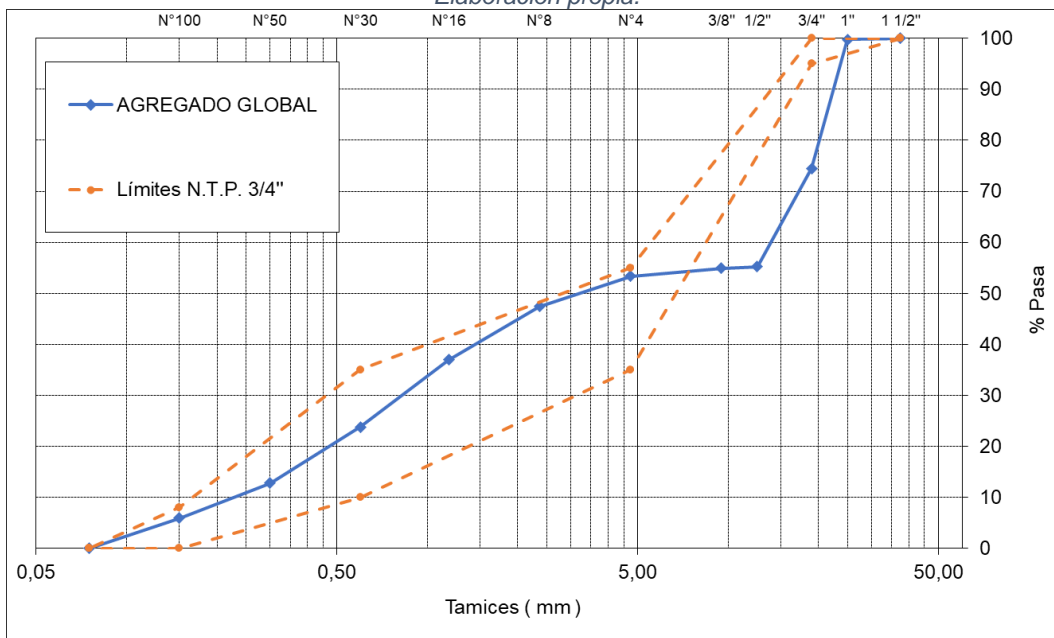
En el cuadro 16 se puede apreciar la granulometría del agregado global que resulta de la combinación del agregado fino y el agregado grueso en las proporciones previamente determinadas en el capítulo 4.

Cuadro 16. Análisis granulométrico del agregado global.  
Elaboración propia.

TAMIZ		% RET.	% RET. ACUM.	% PASA	LÍMITES T.M.N. 3/4"
( Pulg )	( mm )				
1 1/2"	37,50	0,0	0,0	100,0	100
1"	25,00	0,2	0,2	99,8	-
3/4"	19,00	25,3	25,5	74,5	95 - 100
1/2"	12,50	19,2	44,8	55,2	-
3/8"	9,50	0,4	45,1	54,9	-
N°4	4,75	1,6	46,7	53,3	35 - 55
N°8	2,36	5,9	52,6	47,4	-
N°16	1,18	10,4	63,1	36,9	-
N°30	0,60	13,2	76,3	23,7	10 - 35
N°50	0,30	11,0	87,2	12,8	-
N°100	0,15	6,9	94,1	5,9	0 - 8
FONDO		5,9	100,0	0,0	

En el gráfico 5 presentado a continuación se puede apreciar la curva granulométrica a la cuál se aproxima la muestra, según los valores establecidos en la NTP 400.037.

Gráfico 5. Curva granulométrica del agregado global.  
 Elaboración propia.



Según los datos hallados se determinó que el agregado global no cumple con los límites establecidos del T.M.N. 3/4" según lo estipulado en la NTP 400.037, la parte de la curva que sale del huso granulométrico establecido es la referente al porcentaje que pasa el tamiz de 3/4", siendo el intervalo de 95% a 100% y obteniendo un porcentaje que pasa de 74.5%. Esto confirma que a pesar de que el agregado grueso cumplió con estar contenido en el huso granulométrico de la norma, el global no llegó a cumplir con estos estándares.

## 6.2 CONCRETO EN ESTADO FRESCO

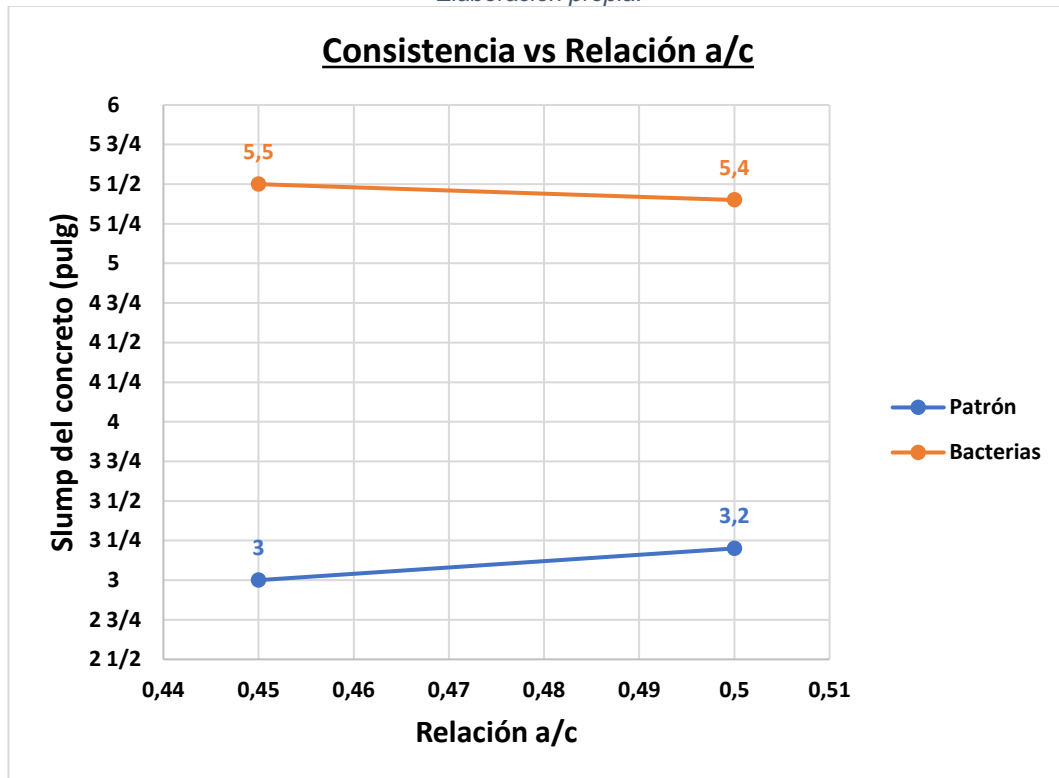
En el capítulo V se listaron las propiedades del concreto en estado fresco determinadas en la presente investigación, en el presente apartado se mostrará con más detalle cada una de ellas y la relación que estas tienen con el factor a/c.

### 6.2.1 Consistencia

En el gráfico 6 se aprecia la relación existente entre la consistencia del concreto y la relación a/c del mismo, tanto para la muestra patrón como para la muestra

adicionada con bacterias. Estos datos fueron el resultado de los diferentes ensayos realizados con el cono de Abrams.

Gráfico 6. Consistencia del concreto vs Relación a/c.  
Elaboración propia.



En el cuadro 17 se puede observar, en porcentaje, la variación total de la consistencia del concreto de las muestras adicionadas con bacterias respecto de las muestras patrón.

Cuadro 17. Variación de la consistencia del concreto con bacterias respecto del patrón.  
Elaboración propia

Ensayo	Muestra	Relación a/c	
		0.45	0.50
Consistencia	Patrón	100,00%	100,00%
	Bacterias	183,33%	168,75%

Finalmente, en este apartado se determinó que para un mismo a/c se logró un mayor slump utilizando la adición de bacterias referente al concreto patrón, siendo este aumento de 3" a 5.5" para un a/c de 0.45; y de 3.2" a 5.4" para un a/c de 0.50. Estos aumentos representan un 83.33% y 68.75% del slump para los a/c mencionados.

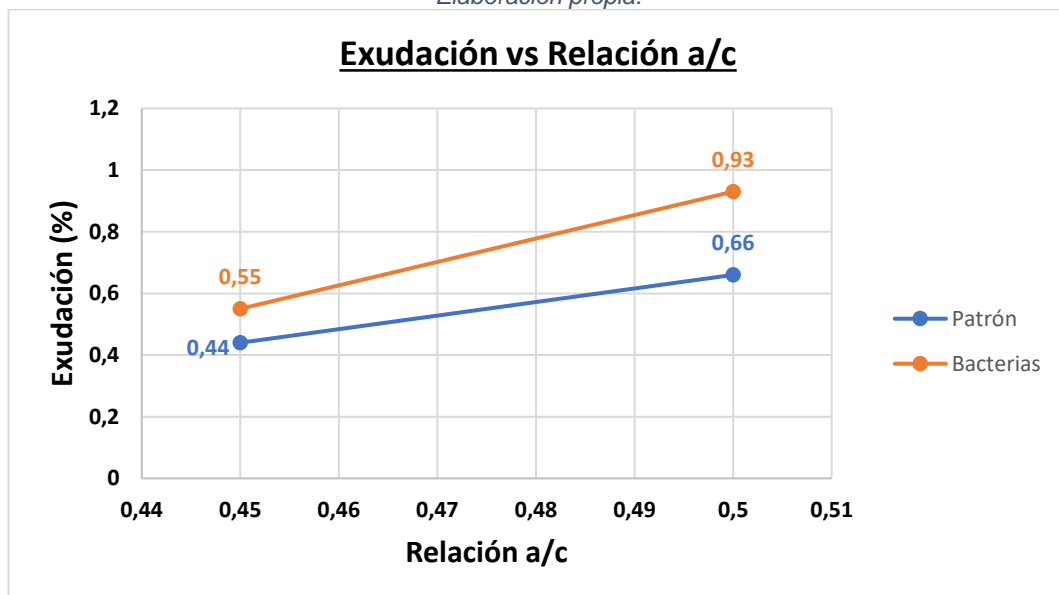


El aumento de slump puede explicarse debido al uso de nitrato de calcio como fuente de alimento para las bacterias, la influencia del nitrato de calcio en el slump del concreto en estado fresco es positiva mejorando la trabajabilidad, debido a que este compuesto puede actuar como un símil al aditivo plastificante (Karagöl et al, 2013). En dicha investigación se hizo uso del nitrato de calcio en concretos elaborados en condiciones de baja temperatura, con lo que se obtuvo una mejoría del slump para mismas condiciones de concreto.

### 6.2.2 Exudación

En el gráfico 7 se puede observar la relación existente entre el porcentaje de exudación y la relación a/c tanto para las muestras de concreto patrón como para las de concreto adicionadas con bacterias.

Gráfico 7. Porcentaje de exudación vs relación a/c.  
 Elaboración propia.



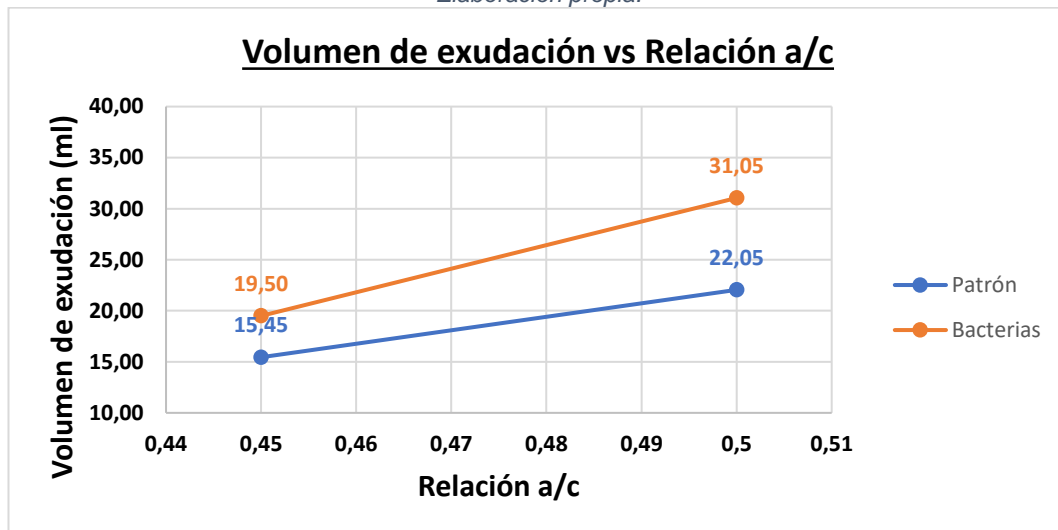
En el cuadro 18 se puede apreciar la variación en porcentaje de la exudación de las muestras adicionadas con bacterias respecto de las muestras patrón, en las que se puede determinar la existencia de un aumento para este parámetro.

Cuadro 18. Variación del porcentaje de exudación del concreto con bacterias respecto del patrón.  
 Elaboración propia.

Ensayo	Muestra	Relación a/c	
		0,45	0,50
Exudación	Patrón	100,00%	100,00%
	Bacterias	125,00%	140,91%

En el gráfico 8 se expresa la relación existente entre el volumen de exudación y la relación a/c para las muestras de concreto patrón y las muestras adicionadas con bacterias, la cual denota un aumento del volumen exudado de las muestras adicionadas con bacterias respecto de las muestras patrón.

Gráfico 8. Volumen de exudación vs relación a/c.  
 Elaboración propia.



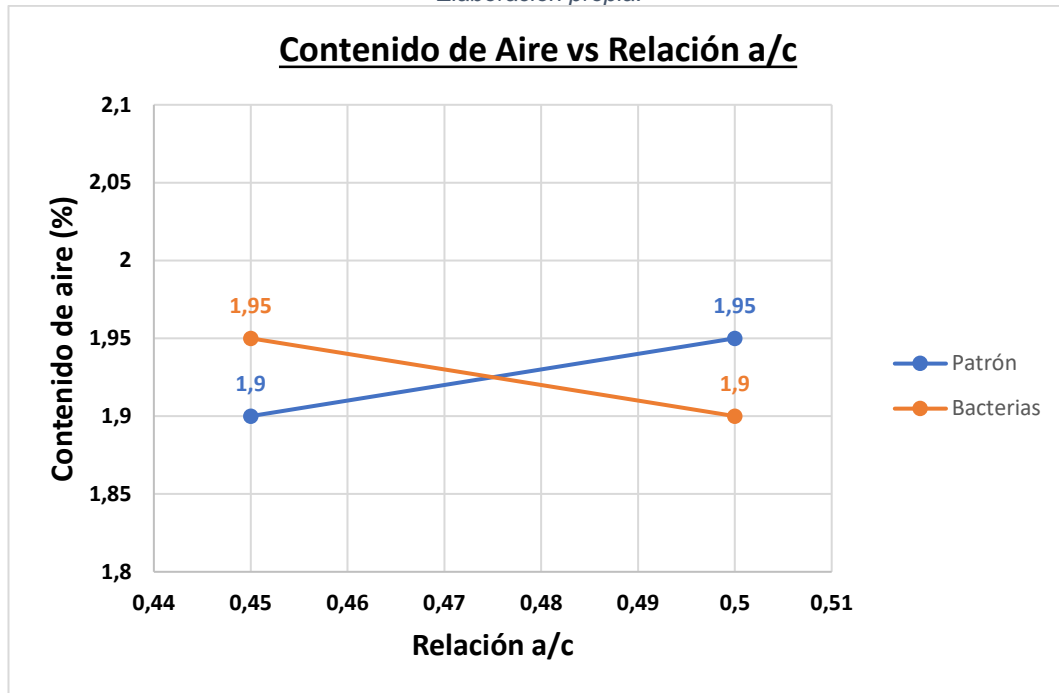
Del gráfico 7 se determinó que el porcentaje de exudación del concreto patrón aumentó a medida que aumentó el a/c, siendo este aumento de 0.44% a 0.66% para un a/c de 0.45 a 0.50; mientras que para el concreto adicionado con bacterias se presentó un aumento de 0.55% a 0.93% para los a/c antes mencionados. Esto guarda relación con la tendencia de que a menores a/c la cantidad de agua exudada tiende a reducirse, debido a la relación agua – cemento.

Finalmente, se determinó que para un mismo a/c se obtuvo un mayor porcentaje de exudación utilizando la adición de bacterias referente al concreto patrón, siendo este aumento de 0.44% a 0.55% para un a/c de 0.45; y de 0.66% a 0.93% para un a/c de 0.50. Estos aumentos representan un 25% y 40.91% del porcentaje de exudación para los a/c mencionados. Este aumento puede explicarse debido a la forma en que el concreto cambió su consistencia al momento de la adición del nitrato de calcio, con la adición del mismo el slump aumentó y como consecuencia el agua exudada del concreto aumentó también. Se debe tomar en cuenta que según la Instrucción de Hormigón estructural (EHE-08) los porcentajes exudados de agua no son elevados, mayores a 2%, y no representarían un problema definitivo al momento de hacer uso de la mezcla de concreto

### 6.2.3 Contenido de aire

En gráfico 9 se puede apreciar la relación existente entre el contenido de aire y la relación a/c, tanto para el concreto patrón como para el concreto elaborado con la adición de bacterias.

Gráfico 9. Contenido de aire vs relación a/c.  
Elaboración propia.



En el cuadro 19 se puede apreciar la variación porcentual del contenido de aire de las muestras adicionadas con bacterias respecto de las muestras patrón, en este se puede observar que dicha variación no es considerable y se acerca a lo establecido por el ACI.

Cuadro 19. Variación del contenido de aire del concreto con bacterias respecto al patrón.  
Elaboración propia.

Ensayo	Muestra	Relación a/c	
		0.45	0.50
Contenido de aire	Patrón	100,00%	100,00%
	Bacterias	102,63%	97,44%

Se determinó que el contenido de aire del concreto patrón aumentó a medida que aumentó el a/c, siendo este aumento de 1.90% a 1.95% para un a/c de 0.45 a 0.50; mientras que para el concreto adicionado con bacterias se presentó una disminución de 1.95% a 1.90% para los a/c antes mencionados.

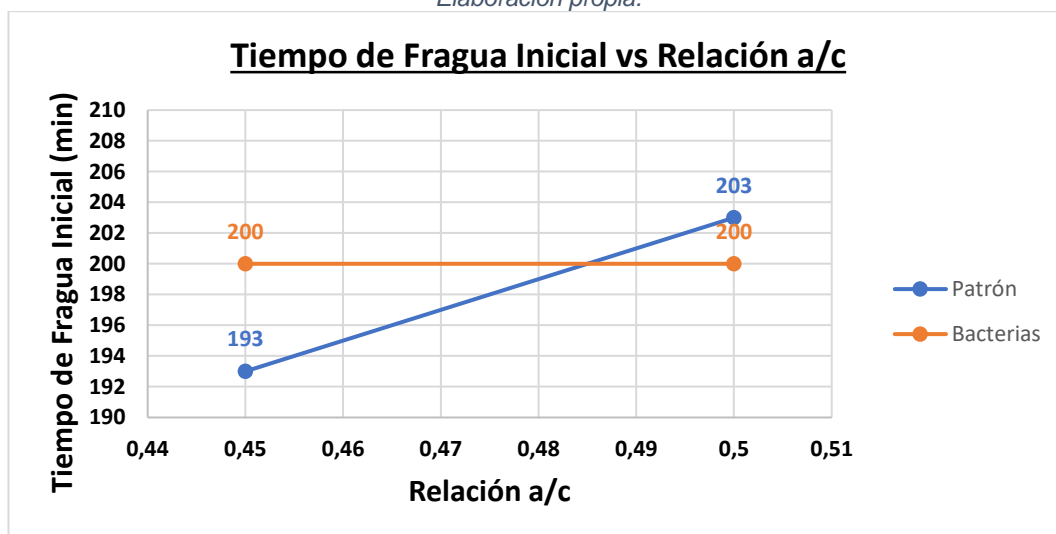
Posteriormente se determinó que para un mismo a/c se obtuvo una variación del contenido de aire utilizando la adición de bacterias referente al concreto patrón, siendo esta variación un aumento de 1.90% a 1.95% para un a/c de 0.45; mientras que para un a/c de 0.50 presentó una disminución de 1.95% a 1.90%. Estas variaciones representan un 2.63% y 2.56% del contenido de aire para los a/c mencionados.

Finalmente, es importante mencionar que según las tablas del ACI utilizadas, el porcentaje de aire asumido respecto del TMN del agregado grueso fue de 2%. Los valores obtenidos no están lejos del valor establecido en las tablas ACI y por tanto se aprecia que la adición de bacterias y nitrato de calcio no tiene mayor influencia en el contenido de aire de la mezcla.

#### 6.2.4 Tiempo de fraguado

En el gráfico 10 se presenta la relación existente entre el tiempo de fragua inicial, y la relación agua cemento del concreto patrón y del concreto adicionado con bacterias.

Gráfico 10. Tiempo de fragua inicial vs relación a/c.  
Elaboración propia.



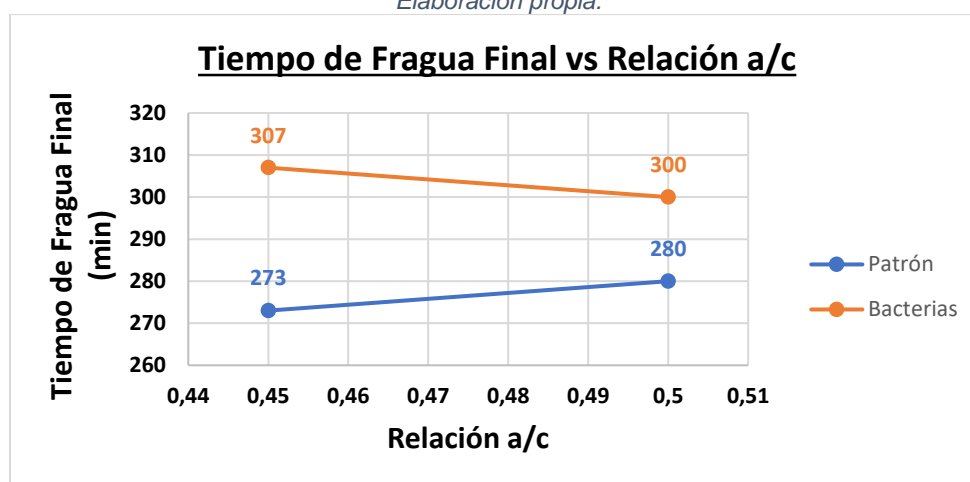
En el cuadro 20 se expresa la variación en porcentaje del tiempo de fragua inicial del concreto adicionado con bacterias respecto de la muestra patrón, en este se puede observar que la variación obtenida no es considerable.

Cuadro 20. Variación del tiempo de fragua inicial del concreto con bacterias respecto al patrón.  
Elaboración propia.

Ensayo	Muestra	Relación a/c	
		0.45	0.50
T.F. Inicial	Patrón	100,00%	100,00%
	Bacterias	103,63%	98,52%

En el gráfico 11 se observa la relación existente entre el tiempo de fragua final y la relación a/c para las muestras adicionadas con bacterias y las muestras patrón, apreciándose que, al contrario del tiempo de fragua inicial, este tuvo un mayor distanciamiento respecto del primero.

Gráfico 11. Tiempo de fragua final vs relación a/c.  
Elaboración propia.



En el cuadro 21 se aprecia la variación expuesta en el gráfico 11 a modo de porcentaje, de esta forma se observa que en este caso la variación es mayor en comparación al tiempo de fragua inicial.

Cuadro 21. Variación del tiempo de fragua final del concreto con bacterias respecto al patrón.  
Elaboración propia.

Ensayo	Muestra	Relación a/c	
		0.45	0.50
T.f. Final	Patrón	100,00%	100,00%
	Bacterias	112,45%	107,14%

Se determinó que el tiempo de fragua inicial y final del concreto patrón aumentó a medida que aumentó el a/c. El aumento del tiempo de fragua para el concreto patrón se puede justificar con el aumento de la relación agua – cemento, al contener la mezcla una mayor cantidad de agua por unidad de cemento el tiempo de fragua es mayor (Cachay & Mogrovejo, 2020).

Respecto del concreto adicionado con bacterias, se determinó que para un mismo a/c el tiempo de fragua inicial no presentó variaciones mientras que el final contó con una reducción de 3 minutos, estos resultados pueden explicarse debido a la variación de temperatura presente en los días de verano con lo que el agua exudada pudo evaporarse al ambiente sin depositarse para su correcta medición, debido a que al tomar en cuenta un a/c mayor la tendencia era que el tiempo de fragua aumente junto con la relación agua – cemento.

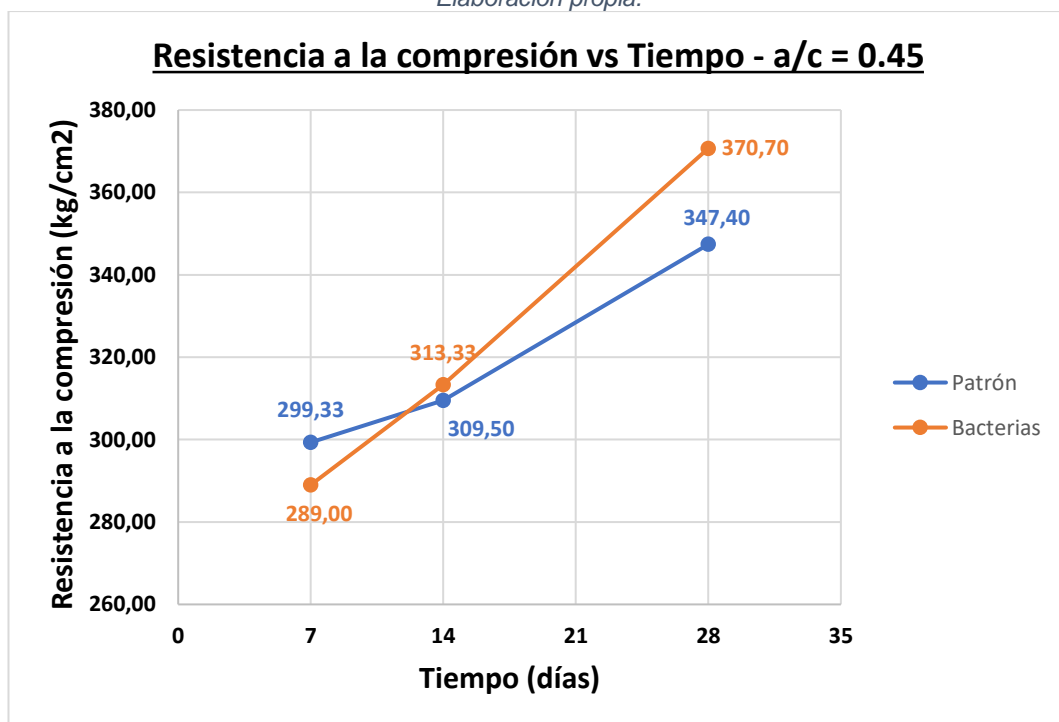
### 6.3 CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

En el capítulo V se listaron las propiedades del concreto en estado endurecido determinadas en la presente investigación, en el presente apartado se mostrará con más detalle cada una de ellas y la relación que estas tienen con el factor a/c.

#### 6.3.1 Resistencia a la compresión

En gráfico 12 se puede apreciar la variación de la resistencia a la compresión a lo largo del tiempo de estudio para un a/c de 0.45, de las muestras adicionadas con bacterias y las muestras patrón, observando que esta tiene un aumento consistente.

Gráfico 12. Resistencia a la compresión vs tiempo para a/c =0.45.  
 Elaboración propia.



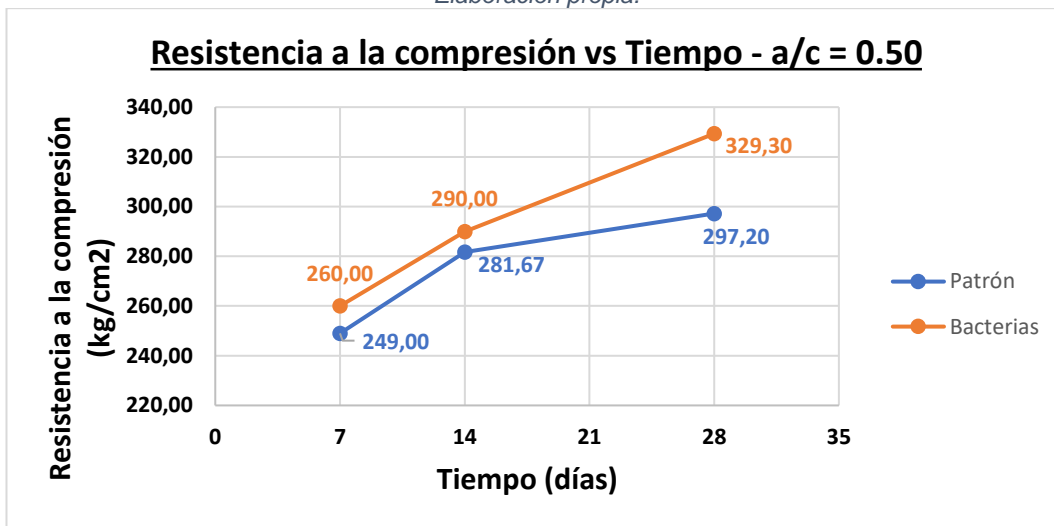
En el cuadro 22 se presenta la variación de los resultados obtenidos en el gráfico 12 a modo de porcentaje, de esta forma se puede visualizar de mejor manera si la variación determinada es o no representativa.

Cuadro 22. Variación del  $f_c$  del concreto con bacterias respecto al patrón.  
 Elaboración propia.

Ensayo	Muestra a/c = 0.45	Edades (días)		
		7	14	28
Resistencia a la compresión	Patrón	100,00%	100,00%	100,00%
	Bacterias	96,55%	101,24%	106,71%

En el gráfico 13 se observa la variación de la resistencia a la compresión del concreto a lo largo del tiempo de estudio para un a/c de 0.50, de las muestras adicionadas con bacterias y las muestras patrón, en el que se puede apreciar un aumento de esta propiedad en el tiempo.

Gráfico 13. Resistencia a la compresión vs tiempo para a/c=0.50.  
 Elaboración propia.



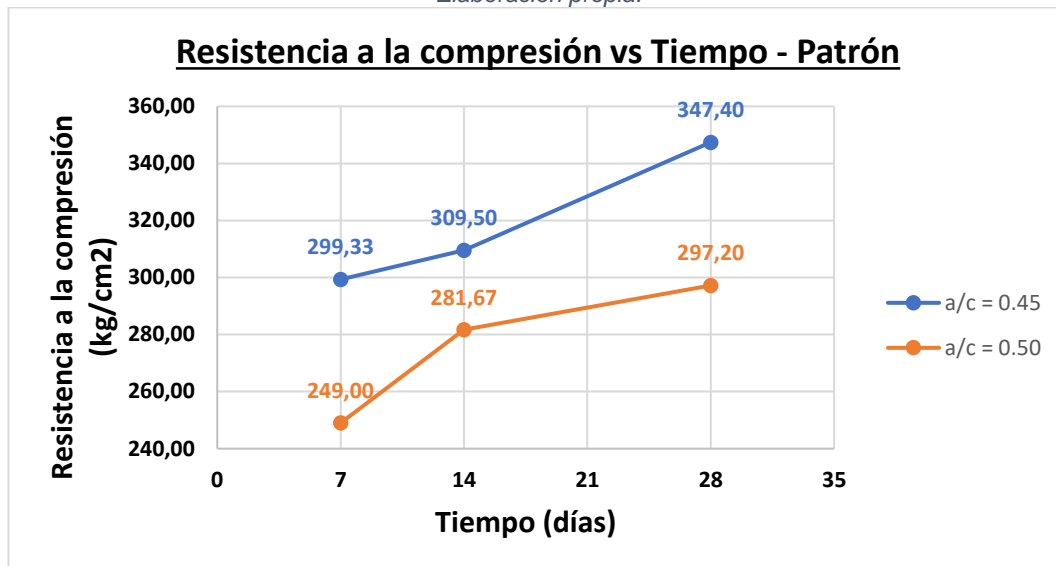
En el cuadro 23 se presenta la variación de los resultados obtenidos en el gráfico 13 a modo de porcentaje con la finalidad de poder determinar la representatividad de la misma.

Cuadro 23. Variación del  $f_c$  del concreto con bacterias respecto al patrón.  
 Elaboración propia.

Ensayo	Muestra a/c = 0.50	Edades (días)		
		7	14	28
Resistencia a la compresión	Patrón	100,00%	100,00%	100,00%
	Bacterias	104,42%	102,96%	110,80%

En el gráfico 14 se expresan los resultados de la resistencia a la compresión del concreto patrón a lo largo del tiempo de estudio, para los a/c de 0.45 y 0.50.

Gráfico 14. Resistencia a la compresión vs tiempo para concreto patrón.  
Elaboración propia.



En el cuadro 24 se puede observar la variación porcentual de los datos expresados en el gráfico 14.

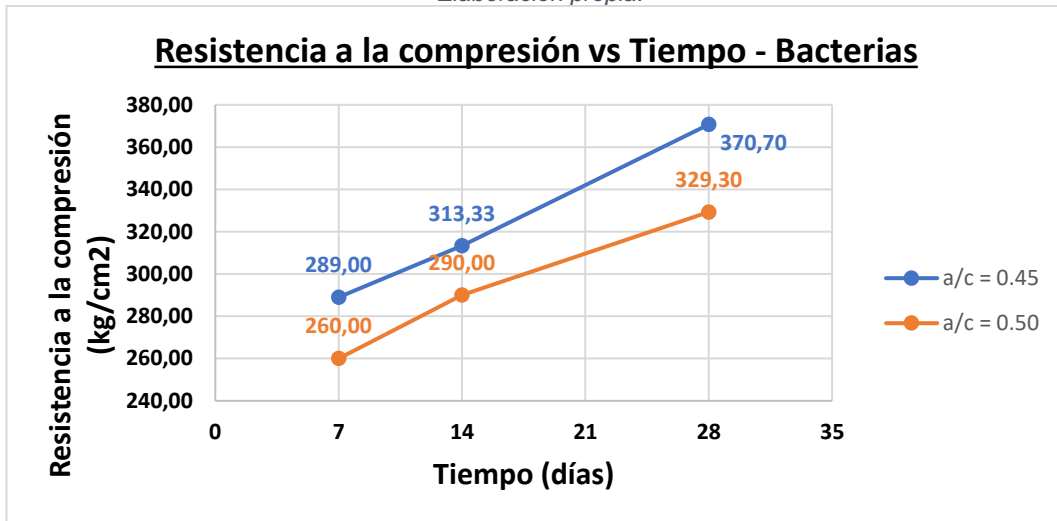
Cuadro 24. Variación del f'c del concreto patrón con a/c=0.45 respecto al a/c=0.50.  
Elaboración propia.

Ensayo	Muestra Patrón	Edades (días)		
		7	14	28
Resistencia a la compresión	a/c = 0.50	100,00%	100,00%	100,00%
	a/c = 0.45	120,21%	109,88%	116,89%

En el gráfico 15 se aprecia la resistencia a la compresión del concreto adicionado con bacterias a lo largo del tiempo de estudio, para los a/c de 0.45 y 0.50.



Gráfico 15. Resistencia a la compresión vs tiempo para concreto con bacterias.  
Elaboración propia.



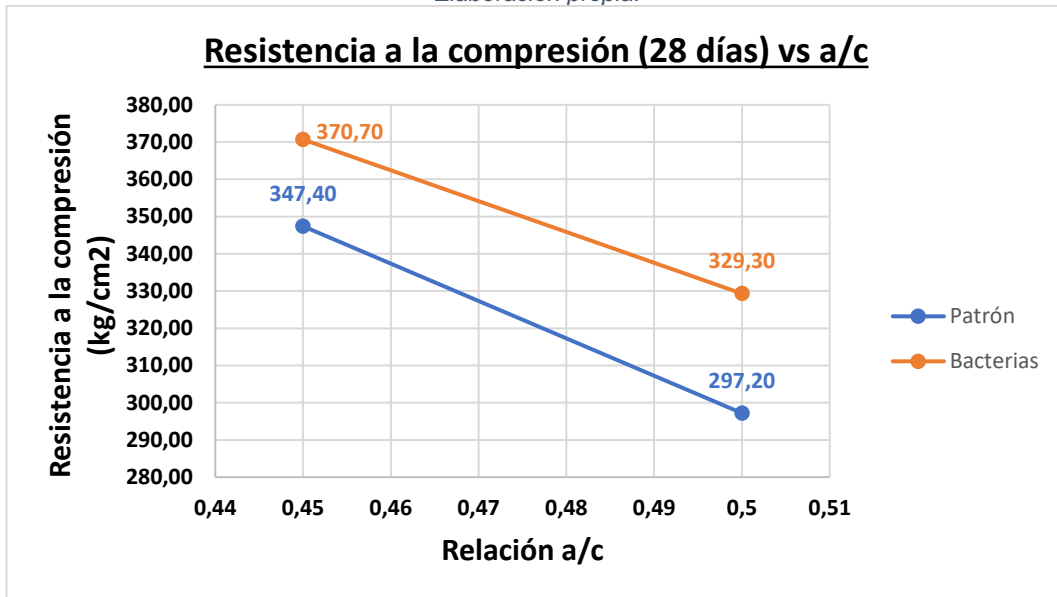
En el cuadro 25 se puede apreciar la variación porcentual de los datos expresados en el gráfico 15.

Cuadro 25. Variación del  $f_c$  del concreto con bacterias con  $a/c=0.45$  respecto al  $a/c=0.50$ .  
Elaboración propia

Ensayo	Muestra Bacterias	Edades (días)		
		7	14	28
Resistencia a la compresión	a/c = 0.50	100,00%	100,00%	100,00%
	a/c = 0.45	111,15%	108,04%	112,57%

En el gráfico 16 se muestra la relación existente entre la resistencia a la compresión a los 28 días y la relación a/c para las muestras patrón y las adicionadas con bacterias.

Gráfico 16. Resistencia a la compresión del concreto a los 28 días vs a/c.  
 Elaboración propia.



En el cuadro 26 se presentan los resultados presentes en el gráfico 16, a manera de porcentaje, con la finalidad de determinar el porcentaje de mejora de la resistencia a la compresión.

Cuadro 26. Variación del  $f_c$  a los 28 días del concreto con bacterias respecto al patrón.  
 Elaboración propia.

Ensayo	Muestra	Relación a/c	
		0.45	0.50
Resistencia a la compresión a los 28 días	Patrón	100,00%	100,00%
	Bacterias	106,71%	110,80%

Lo primero que se resalta en los gráficos del 12 al 15 es la mejora de la resistencia a la compresión del concreto adicionado con bacterias a las edades de 14 y 28 días respecto del concreto patrón para los a/c utilizados, siendo la muestra ensayada a los 7 días para el a/c de 0.45 la que obtuvo una menor resistencia respecto del patrón, la muestra elaborada con un a/c de 0.50 sí obtuvo un aumento respecto del patrón a los 7 días.

Este aumento de la resistencia se explica debido a la formación del carbonato de calcio como resultado del proceso biológico de la bacteria *Bacillus Subtilis* al momento de consumir el nitrato de calcio; al ser la adición de las bacterias de forma directa en la mezcla de concreto el proceso de producción de carbonato de calcio empieza desde que se elabora la mezcla, con esto se genera carbonato de

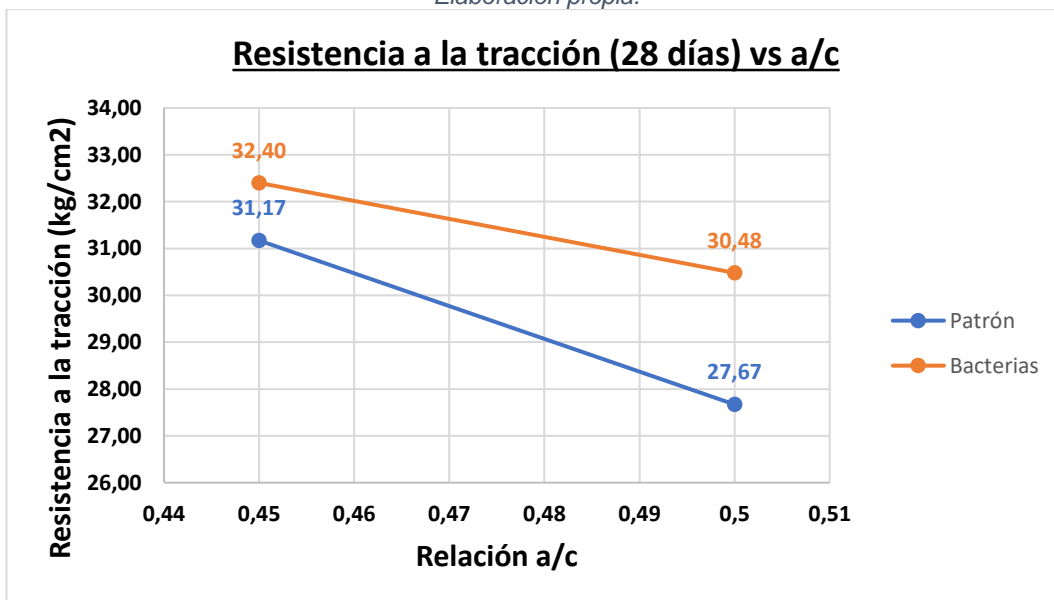
calcio junto con el fraguado de la mezcla y de esta forma se produce el aumento de la resistencia a la compresión axial observado.

La segunda comparación realizada, en el gráfico 16, fue la variación de la resistencia a la compresión de la muestra patrón y la adicionada con bacterias, respecto de la variación del a/c. En la presente investigación se determinó que para una misma muestra a medida que disminuye el a/c, aumenta la resistencia; lo cual coincide con las investigaciones realizadas a lo largo de los años y también lo que se usa de base para el diseño de mezcla en el ACI. Esta comparación fue realizada con la finalidad de poder determinar si existe influencia alguna por parte de la adición de bacterias al concreto respecto de la relación a/c, debido a que esta adición podría tener alguna reacción con las proporciones de agua cemento y modificar la relación ya conocida en la actualidad. Se realiza también esta comparación como forma de confirmación de que la relación a/c es inversamente proporcional a la resistencia a la compresión axial del concreto.

### 6.3.2 Resistencia a tracción - compresión diametral

En el gráfico 17 y cuadro 27 se aprecia la relación existente entre la resistencia a la tracción indirecta de los especímenes a los 28 días respecto de los a/c utilizados.

Gráfico 17. Resistencia a la tracción a los 28 días vs a/c.  
Elaboración propia.

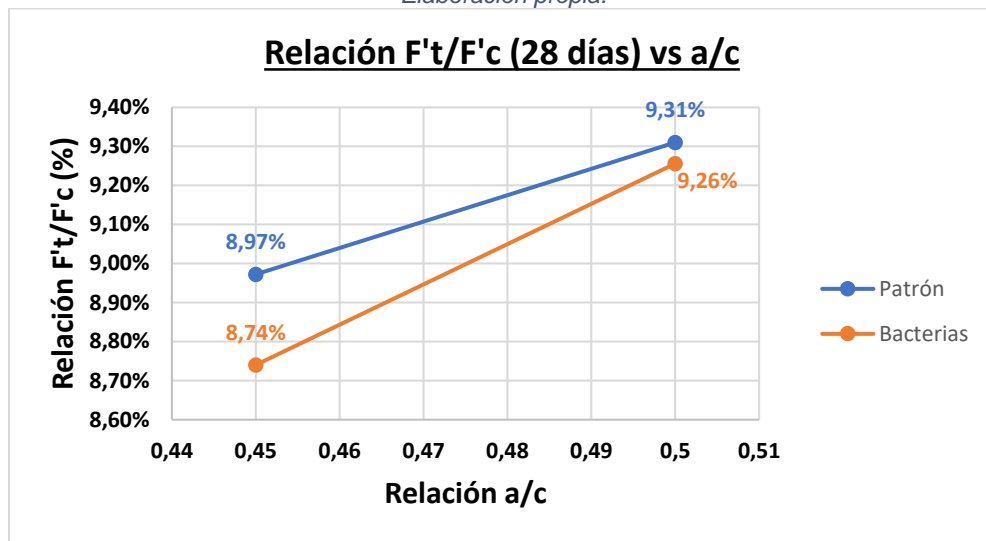


Cuadro 27. Variación del  $f_t$  a los 28 días del concreto con bacterias respecto al patrón.  
Elaboración propia.

Ensayo	Muestra	Relación a/c	
		0.45	0.50
Resistencia a la tracción a los 28 días	Patrón	100,00%	100,00%
	Bacterias	103,95%	110,16%

Finalmente, en el gráfico 18 se observa la relación existente entre la resistencia a la tracción del concreto y la resistencia a la compresión del mismo para los diferentes a/c establecidos.

Gráfico 18. Relación entre el factor  $f_t/f_c$  y el valor a/c.  
Elaboración propia.



Se determinó que, al igual que la resistencia a la compresión a los 28 días, la resistencia a la tracción aumentó a medida que disminuyó el a/c tanto para la muestra patrón como para la muestra adicionada con bacterias, este resultado es el esperado debido a la reducción de la relación a/c y la relación directa que la resistencia a la compresión diametral con la resistencia a la compresión axial del concreto.

Seguidamente, se analizó la variación de la resistencia a la tracción del concreto adicionado con bacterias respecto de la muestra patrón, siendo esta positiva. Esto se fundamenta en que la resistencia a la compresión y la resistencia a la tracción del concreto guardan una relación directa, en ese sentido lo expuesto en el apartado anterior explica que las diferentes variaciones para la resistencia a la compresión son también aplicadas en este apartado, siendo importante recalcar la formación del carbonato de calcio como agente fundamental en el aumento de

la resistencia a la compresión del concreto adicionado con bacterias y nitrato de calcio.

Finalmente, se determinó qué porcentaje de la resistencia a la compresión representa la resistencia a la tracción a los 28 días, los resultados obtenidos fueron que para la muestra patrón la resistencia a la tracción representa aproximadamente 8.97% y 9.31% de la resistencia a la compresión para los a/c de 0.45 y 0.50 respectivamente. Para muestra adicionada con bacterias este porcentaje representativo fue de 8.74% y 9.26% para los a/c ya especificados respectivamente.

#### 6.4 REPARACIÓN DE FISURAS

A continuación, se presentan los cuadros con los resultados de las mediciones de las fisuras realizadas a lo largo de un mes y medio. Estas mediciones se realizaron en probetas previamente cortadas y fisuradas, cuyo proceso de corte y fisuración se realizó luego de 28 días de curado con lo que la medición del cierre de las fisuras comenzó en el concreto con una edad inicial de 28 días, siendo los valores de 14, 28 y 42 días posteriores a estos 28 días iniciales. Debido a este proceso de medición se podría explicar la poca efectividad en el cierre de las fisuras del concreto adicionado con bacterias, siendo el cierre de fisuras mínimo y actuante solo para algunos espesores relativos a 0.2mm. De los 28 a los 42 días ya no se apreciaron cambios en las muestras, con esto se determinó que la posible reparación presente en las fisuras había llegado a su máximo alcance.

En los cuadros 28 y 29 se pueden apreciar los resultados obtenidos de las mediciones realizadas a las muestras fisuradas de concreto adicionado con bacterias para los a/c de 0.45 y 0.50 respectivamente.

Cuadro 28. Porcentaje de reparación de fisuras de concreto con bacterias con a/c 0.45.  
Elaboración propia.

a/c = 0.45 Bacterias	Medición (mm)			% Cierre
	14 días	28 días	42 días	
1	0,1	0,1	0	100
2	0,5	0,5	0,5	0
3	0,4	0,4	0,4	0
4	0,2	0,2	0,2	0
5	0,5	0,5	0,5	0

Cuadro 29. Porcentaje de reparación de fisuras de concreto con bacterias con a/c 0.50.  
Elaboración propia.

a/c = 0.50 Bacterias	Medición (mm)			% Cierre
	14 días	28 días	42 días	
1	0,1	0	0	100
2	0,4	0,4	0,4	0
3	0,3	0,3	0,3	0
4	0,3	0,3	0,3	0
5	0,2	0,2	0,1	50

En los cuadros 30 y 31 se pueden apreciar los resultados obtenidos de las mediciones efectuadas para las muestras fisuradas de concreto patrón, para los a/c de 0.45 y 0.50. Se puede observar que a pesar del grosor de la fisura no hubo cierre alguno.

Cuadro 30. Porcentaje de reparación de fisuras de concreto patrón con a/c 0.45.  
Elaboración propia

a/c = 0.45 Patrón	Medición (mm)			% Cierre
	14 días	28 días	42 días	
1	0,2	0,2	0,2	0
2	0,5	0,5	0,5	0
3	0,3	0,3	0,3	0
4	0,2	0,2	0,2	0

Cuadro 31. Porcentaje de reparación de fisuras de concreto patrón con a/c 0.50.  
Elaboración propia.

a/c = 0.50 Patrón	Medición (mm)			% Cierre
	14 días	28 días	42 días	
1	0,3	0,3	0,3	0
2	0,2	0,2	0,2	0
3	0,1	0,1	0,1	0
4	0,2	0,2	0,2	0

## CONCLUSIONES

En la presente investigación se logró determinar la influencia de la adición de la bacteria *Bacillus Subtilis* y el nitrato de calcio en las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto, a su vez se determinó la existencia de cierre de fisuras en el concreto, el cual fue muy limitado pero existente. De esta forma se lograron cumplir los objetivos planteados para la investigación y se dan como resultado las siguientes conclusiones:

- La reparación de las fisuras en el concreto adicionado con bacterias *Bacillus Subtilis* fue del 100% para algunos espesores iguales o menores a 0.2 mm, con esto se concluye que el método de adición de las bacterias al momento de la mezcla del concreto no es muy eficiente, esto debido a que el proceso de producción del carbonato de calcio comienza al momento de combinar el agua, las bacterias y el nitrato; dejando muy poca cantidad que producir para el momento en el que se generen las fisuras en el concreto.
- Las proporciones finales del diseño de mezcla determinado para la presente investigación, tomando en cuenta pesos secos, fueron las siguientes:

*Cuadro 32. Peso unitario seco de cada material para diferentes a/c.  
Elaboración propia.*

MATERIAL	Concreto Patrón (a/c)		Concreto con Bacterias (a/c)	
	0.45	0.50	0.45	0.50
Cemento	1,00	1,00	1,00	1,00
Agua	0,45	0,50	0,45	0,50
Arena	1,53	1,91	1,52	1,90
Piedra	1,28	1,60	1,27	1,59
Nitrato	0	0	0,0186	0,0186
Bacterias	0	0	0,0023	0,0021

- El slump del concreto elaborado con bacterias aumentó respecto del concreto patrón, concluyendo que la adición de las bacterias *Bacillus Subtilis* y del Nitrato de Calcio brindaron mayor trabajabilidad al concreto, este aumento fue del 83.33% del 68.75% para los a/c de 0.45 y 0.50 respectivamente.
- El concreto elaborado con bacterias exudó más que la muestra patrón, siendo este aumento de 25% y de 40.91% para los a/c de 0.45 y 0.50 respectivamente, justificándose en el mayor slump obtenido debido a la adición del nitrato de calcio a la mezcla de concreto.
- El ensayo de contenido de aire no brindó resultados concluyentes acerca de la variación de este factor frente a los valores a/c empleados, tanto para el

concreto patrón como para el concreto adicionado. Para las 4 diferentes muestras elaboradas el contenido de aire estuvo alrededor de 1.95% y 1.9%; siendo estos valores cercanos al 2% establecido por las tablas del ACI.

- El valor de la resistencia a la compresión axial a los 28 días aumentó al disminuir el valor de a/c, tanto para la muestra patrón como para la muestra adicionada con bacterias. Estos aumentos representaron valores de 16.89% y de 12.57% para los a/c de 0.45 y 0.50 y se justifican en que a menor relación agua – cemento la resistencia a la compresión axial del concreto es mayor, hecho que se usa como base para la elaboración del diseño de mezcla en las tablas del ACI.
- El concreto adicionado con bacterias presentó un aumento de la resistencia a la compresión axial a los 28 días para los a/c de 0.45 y de 0.50. Los valores de los aumentos fueron de 6.71% y de 10.80% para los a/c de 0.45 y 0.50 respectivamente y se justifican debido a la formación de carbonato de calcio como parte del proceso biológico de la bacteria *Bacillus Subtilis* al consumir el nitrato de calcio al momento de la mezcla del concreto, el carbonato de calcio se irá generando a lo largo del tiempo de curado de la bacteria y como consecuencia la resistencia a la compresión del elemento aumentará.
- La resistencia a la compresión diametral aumentó en el concreto adicionado con bacterias respecto del patrón para los a/c de 0.45 y de 0.50 respectivamente, representando una variación positiva de 3.95% y 10.16% respectivamente, este aumento es consecuencia de la relación directa que existe entre la resistencia a la compresión axial y la resistencia a la compresión diametral de los elementos de concreto concluyendo que, al aumentar la primera, la segunda también aumentará.
- Las fisuras que tienen gran profundidad y que a su vez poseen un ancho mayor a 0.2mm no presentan señal alguna de cierre a lo largo del tiempo total de observación de la presente investigación.
- El porcentaje de cierre de fisuras hallado en la presente investigación para el concreto patrón fue de 0%, siendo consecuencia del nulo cierre de fisuras para los diferentes anchos presentados en los elementos.
- El de cierre de fisuras para el concreto adicionado con bacterias en la presente investigación solo se logró en muestras con un ancho menor a



0.2mm siendo que, no todas las muestras con anchos menores o iguales al antes estipulado lograron cerrarse.

- El cierre de las fisuras para el concreto adicionado con bacterias es bajo debido a que las muestras ya tenían 28 días de elaboración al momento de comenzar el fisuramiento y la medición de las fisuras.

## RECOMENDACIONES

- Evaluar mezclas de concreto con otros porcentajes de contenido de bacterias y de alimento, como el lactato de calcio, para determinar un porcentaje óptimo de bacterias que den mejores resultados.
- Reemplazar el nitrato de calcio por lactato de calcio, en la presente investigación se utilizó nitrato de calcio debido a su disponibilidad. El lactato de calcio está actualmente escaso a nivel nacional, al menos en las cantidades que fueron requeridas para la presente investigación.
- Determinar la existencia de una mejor forma para la adición de las bacterias a la mezcla de concreto, buscando una mayor eficiencia de las mismas en las labores de cierre de fisuras y de propiedades del concreto.
- Evaluar la posibilidad de realizar la medición de las fisuras con microscopios electrónicos, los cuales son más precisos que la cámara utilizada en la presente investigación.
- Realizar ensayos para determinación la variación de la permeabilidad del concreto, absorción y porcentaje de vacíos, con la finalidad de determinar el comportamiento del concreto en condiciones húmedas.
- Realizar el ensayo de carbonatación del concreto a una muestra diamantina vaciada en una viga, para determinar si la adición de bacterias afecta esta característica.
- Determinar las propiedades y variaciones del concreto adicionado con bacterias para otros valores de a/c.
- Medir el cierre de fisuras y las propiedades del concreto con adición de bacterias usando otra cepa que no sea dañina para el ser humano ni el ambiente.
- Adquirir equipos de medición de alta precisión y mayor calidad para poder obtener una medida real y fehaciente de los resultados obtenidos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Asenjo, D. (2019), *Influencia de la incorporación del aditivo bacteriano en la reparación del proceso de fisuración controlada del concreto*. [Tesis para optar por el grado de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Cajamarca].
- [2] Brunauer, S., & Copeland, L. (1964). *The Chemistry of Concrete*. *Scientific American*.
- [3] Cachay Rivera, S. J., & Mogrovejo Alvarez, M. R. (2020). *Influencia del aditivo sika viscocrete-40 he con relaciones a/c menores a 0.50, en su tiempo de fraguado y resistencia a la compresión, para una rápida puesta en servicio Trujillo 2019*. Tesis para optar por el grado de Ingeniero Civil, Universidad Privada del Norte.
- [4] Cevallos Jiménez, C. L. (2016). *Determinación de los Porcentajes Óptimos de Fibra de Vidrio para Hormigones de Baja, Mediana y Alta Resistencia*. [Tesis para optar por el grado de Ingeniero Civil, Universidad Espíritu Santo].
- [5] Gutiérrez de López, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción*. Universidad Nacional de Colombia.
- [6] Hernández, Y., de Rincón, O. T., Torres, A., Delgado, S., Rodríguez, J., & Morón, O. (2016). *Relación entre la velocidad de corrosión de la armadura y el ancho de fisuras en vigas de concreto armado expuestas a ambientes que simulan el medio marino*. *Revista ALCONPAT*, 6(3), 272-283.
- [7] Jonkers, H. (2010), *Application of bacteria as self-healing agent for the development of sustainable concrete*. *Ecological engineering* 36 (2010) 230 – 235.
- [8] Jonkers, H. (2021). *Bacteria-based self-healing concrete*. In-Genium.
- [9] Karagöl, F. et al (2013). *The influence of calcium nitrate as antifreeze admixture on the compressive strength of concrete exposed to low temperatures*. *Cold Regions Science and Technology*, 89, 30-35.
- [10] Khaliq, W., & Ehsan, M. B. (2016). *Crack healing in concrete using various bio influenced self-healing techniques*. *Construction and Building Materials*, 102, 349–357.

- [11] Ochoa, R. & Flores, E. (1994). *Química del cemento: parte I*. Revista de Química, 8(2), 207-214.
- [12] Maurello, J., Mondragó, K. & Romero, J. (2020). *Principales tipos de contracción, efectos sobre el concreto y sus métodos de mitigación*. [Tesis para optar por el grado de Ingeniero Civil, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito].
- [13] Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. (2014). *Concreto microestructura, Propiedades e materias*.
- [14] NTP 339.034. (2021). *CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas.*, 24.
- [15] NTP 339.035. (2022). *HORMIGÓN. Método de ensayo para la determinación del asentamiento del hormigón con el cono de Abrams.*, 16.
- [16] NTP 339.077. (2020). *CONCRETO. Métodos de ensayo normalizados para exudación del concreto.*, 17.
- [17] NTP 339.082. (2019). *CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación del tiempo de fraguado de mezclas por medio de la resistencia a la penetración.*, 24.
- [18] NTP 339.083. (2003). *HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para contenido de aire de mezcla de hormigón (concreto) fresco, por el método de presión.*, 27.
- [19] NTP 339.084. (2017). *CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción simple del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica.*, 20.
- [20] NTP 400.012. (2020). *AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino y grueso. Método de ensayo.*, 21.
- [21] NTP 400.017. (2020). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados.*, 20.

- [22] NTP 400.018. (2020). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75um (Nº200) por lavado en agregados.*, 15.
- [23] NTP 400.019. (2020). *AGREGADOS. 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 Angeles*, 16.
- [24] NTP 400.021. (2020). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso*, 20.
- [25] NTP 400.022. (2021). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino*, 22.
- [26] NTP 400.037. (2021). *AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto*, 26.
- [27] Pacheco, F., Loeff, A., Muller, V., Zamis Ehrenbring, H., Christ, R., Modolo, R., de Oliveira, M. F., & Tutikian, B. (2022). *Analysis of the self-regeneration of cementitious matrices through different methods of insertion of chemical and bacterial solutions*. Revista ALCONPAT, 12(1), 32 - 46.
- [28] Pariona, J. (2021), *Bacterias alcalófilas en la auto-reparación de fisuras en concretos sostenibles*. [Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional del Centro del Perú]
- [29] Quevedo, H. & Sánchez, E. (2021), *Efecto de la bacteria (bacillus subtilis) en la resistencia a la compresión y flexión del concreto  $f'c=210\text{kg/cm}^2$* . [Tesis para optar por el grado de Ingeniero Civil, Universidad César Vallejo].
- [30] Santos, A. (2021). *Aplicación del bioconcreto para reparar agrietamientos de los decantadores de la planta de tratamiento de agua La Atarjea – Lima*. [Tesis para optar por el grado de Ingeniero Civil, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]
- [31] Serrano Cordova, P. F. (2018). *Elaboración de un concreto ligero para uso estructural en la ciudad de Lima metropolitana 2018*. [Tesis para optar por el grado de Ingeniero Civil, Universidad Cesar Vallejo]

[32] Zappitelli, M. et al (2012). *Estabilidad de Fisuras en Presas de Hormigón Frente a la Acción de Presiones*. Asociación Argentina de Mecánica computacional.

Toda la bibliografía presente puede ser consultada en el siguiente enlace (Bibliografía Tesis – Juan Herradda):

- <https://drive.google.com/drive/folders/13jDsiQvP4Aj6JOhuNOfs2z5bMqNARxDe?usp=sharing>

# ANEXOS

**ANEXO 1: ENSAYOS A LOS AGREGADOS****1.1. Peso unitario suelto**

<b>AGREGADO FINO</b>	
PUS	
Peso muestra + recipiente (g)	6279.9
Peso recipiente (g)	1572.4
Peso muestra (g)	<b>4707.5</b>
Volumen recipiente (pie3)	0.1
Peso unitario suelto (kg/m3)	<b>1662</b>

<b>AGREGADO GRUESO</b>	
PUS	
Peso muestra + recipiente (g)	17430
Peso recipiente (g)	4340
Peso muestra (g)	<b>13090</b>
Volumen recipiente (pie3)	1/3
Peso unitario suelto (kg/m3)	<b>1387</b>

**1.2. Peso unitario compactado**

<b>AGREGADO FINO</b>	
PUC	
Peso muestra + recipiente (g)	6630.3
Peso recipiente (g)	1572.4
Peso muestra (g)	<b>5057.9</b>
Volumen recipiente (pie3)	0.1
Peso unitario compactado (kg/m3)	<b>1786</b>

<b>AGREGADO GRUESO</b>	
PUC	
Peso muestra + recipiente (g)	18626
Peso recipiente (g)	4340
Peso muestra (g)	<b>14286</b>
Volumen recipiente (pie3)	1/3
Peso unitario compactado (kg/m3)	<b>1514</b>



**1.3. Peso Específico y porcentaje de absorción.**

<b>AGREGADO FINO</b>	
Peso arena superficialmente seca (g)	500
Peso arena superficialmente seca + peso balón + peso agua (g)	1005.3
Peso del balón (g)	193.1
Peso del agua (g)	312.2
Peso de la arena seca al horno (g)	497.9
Volumen del balón (cm <sup>3</sup> )	500
Peso específico de masa (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.65</b>
Peso específico de masa superficialmente seco (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.66</b>
Peso específico aparente (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.68</b>
Porcentaje de absorción (%)	<b>0.42</b>

<b>AGREGADO GRUESO</b>	
Peso muestra secada al horno (g)	3974.4
Peso muestra saturada superficialmente seca (g)	4002.6
Peso muestra saturada en agua + peso canastilla (g)	
Peso de la canastilla (g)	
Peso muestra saturada en agua (g)	2520.6
Peso específico de masa (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.68</b>
Peso específico de masa superficialmente seco (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.70</b>
Peso específico aparente (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.73</b>
Porcentaje de absorción (%)	<b>0.71</b>

**1.4. Contenido de Humedad**

<b>AGREGADO FINO</b>	
Peso muestra en ambiente (g)	5000
Peso muestra seca al horno (g)	4950.5
Peso agua perdida (g)	<b>49.5</b>
Contenido de humedad (%)	<b>1.00</b>

<b>AGREGADO GRUESO</b>	
Peso muestra en ambiente (g)	5504.6
Peso muestra seca al horno (g)	5481.1
Peso agua perdida (g)	<b>23.5</b>
Contenido de humedad (%)	<b>0.43</b>

### 1.5. Granulometría

Tamiz	Peso (g.)	Arena		
	Arena	% Ret.	% Acum.	% Pasa
3/8"		0.0	0.0	100.0
N°4	16.8	2.8	2.8	97.2
N°8	65.1	10.9	13.7	86.4
N°16	114.5	19.1	32.7	67.3
N°30	144.8	24.1	56.9	43.1
N°50	120.2	20.0	76.9	23.1
N°100	75.2	12.5	89.4	10.6
FONDO	63.4	10.6	100.0	0.0
SUMA	600.0	M.F.	2.72	

Tamiz	Peso (g.)	Piedra		
	Piedra	% Ret.	% Acum.	% Pasa
1 1/2"		0.0	0.0	100.0
1"	65.9	0.5	0.5	99.5
3/4"	6690.5	55.8	56.3	43.7
1/2"	5093.3	42.4	98.7	1.3
3/8"	96.5	0.8	99.6	0.4
N°4	10.5	0.1	99.6	0.4
FONDO	43.0	0.4	100.0	0.0
SUMA	11999.70	M.F.	7.54	

Tamiz	Agregado Global		
	% Ret.	% Acum.	% Pasa
1 1/2"	0.0	0.0	100.0
1"	0.2	0.2	99.8
3/4"	25.3	25.5	74.5
1/2"	19.2	44.8	55.2
3/8"	0.4	45.1	54.9
1/4"	0.0	45.1	54.9
N°4	1.6	46.7	53.3
N°8	5.9	52.6	47.4
N°16	10.4	63.1	36.9
N°30	13.2	76.3	23.7
N°50	11.0	87.2	12.8
N°100	6.9	94.1	5.9
N°200	0.0	94.1	5.9
FONDO	5.9	100.0	0.0
SUMA	M.F.	4.91	

### 1.6. Porcentaje que pasa la malla N°200

<b>ARENA GRUESA</b>	
Peso inicial seco	500
Peso seco lavado	478.3
% que pasa MALLA 200	<b>4.34</b>

<b>PIEDRA CHANCADA</b>	
Peso inicial seco	5000.9
Peso seco lavado	4987.4
% que pasa MALLA 200	<b>0.27</b>

### 1.7. Impurezas orgánicas

Observación	No presenta impurezas orgánicas
Patrón	PATRÓN 1 GARDNER

### 1.8. Abrasión

Masa inicial (g)	5000
Masa 100 REV (g)	4875.2
% Pérdidas (Desgaste)	<b>16.48</b>
Masa final 500 REV (Ret. N° 12) (g)	4176.1
Relación de uniformidad de la muestra	<b>0.15</b>

MUESTRA	TNM	TIPO DE GRADACIÓN	PORCENTAJE DE DESGASTE (%)	RELACIÓN DE UNIFORMIDAD
PIEDRA CHANCADA	3/4"	B	16.48	0.15

### 1.9. Inalterabilidad por medio de sulfato de magnesio

Para el agregado fino se tiene:

TAMIZ	Gradación original (%)	Peso de la fracción ensayada (g)	Peso retenido después del ensayo (g)	Pérdida Total (%)	Pérdida corregida (%)
N°4	2.80	-	-	11.40	0.32
N°8	10.85	100.00	88.60	11.40	1.24
N°16	19.08	100.00	92.80	7.20	1.37
N°30	24.13	100.00	90.90	9.10	2.20
N°50	20.03	100.00	94.50	5.50	1.10
TOTAL					6.23

Para el agregado grueso se tiene:

TAMIZ	Gradación original (%)	Peso de la fracción ensayada (g)	Peso retenido después del ensayo (g)	Pérdida Total (%)	Pérdida corregida (%)
1"	0.55	0.00	0.00	2.33	0.01
3/4"	55.76	510.20	498.30	2.33	1.30
1/2"	42.45	672.60	662.10	1.56	0.66
3/8"	0.80	0.00	0.00	1.56	0.01
N°4	0.09	0.00	0.00	1.56	0.00
TOTAL					1.99

**ANEXO 2: DISEÑO DE MEZCLA**

Se listan las propiedades de los agregados obtenidas en la parte de ensayo de agregados.

**AGREGADO FINO**

<b>MF</b>	<b>2.72</b>	
<b>PUS</b>	<b>1662</b>	kg/m <sup>3</sup>
<b>PUC</b>	<b>1786</b>	kg/m <sup>3</sup>
<b>PE</b>	<b>2.65</b>	g/cm <sup>3</sup>
<b>CH</b>	<b>1</b>	%
<b>ABS</b>	<b>0.42</b>	%

**AGREGADO GRUESO**

<b>MF</b>	<b>7.54</b>	
<b>PUS</b>	<b>1387</b>	kg/m <sup>3</sup>
<b>PUC</b>	<b>1514</b>	kg/m <sup>3</sup>
<b>PE</b>	<b>2.68</b>	g/cm <sup>3</sup>
<b>CH</b>	<b>0.43</b>	%
<b>ABS</b>	<b>0.71</b>	%
<b>TMN</b>	<b>3/4"</b>	

Debido a que el TMN es de 3/4" se consideró una cantidad inicial de 200 litros de agua y un contenido de aire inicial de 2%.

**2.1. Diseño de mezclas para concreto patrón con relación de a/c de 0.50.**

<b>MATERIAL</b>	<b>Peso Seco (kg)</b>	<b>P.E (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen Absoluto (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso Unitario Seco</b>	<b>Peso húmedo (kg)</b>	<b>Peso Unitario Húmedo</b>	<b>Tanda de 155kg</b>
Cemento	458.2	3150	0.145	1.00	458.22	1.00	30.88
Agua	229.11	1000	0.229	0.50	217.18	0.47	14.64
Arena	877.3	2650	0.331	1.91	886.04	1.93	59.71
Piedra	735.3	2680	0.274	1.60	738.49	1.61	49.77
Aire	-	100	0.020	-	-	-	-

## 2.2. Diseño de mezclas para concreto adicionado con bacterias con relación de a/c de 0.50.

MATERIAL	Peso Seco (kg)	P.E (kg/m <sup>3</sup> )	Volumen Absoluto (m <sup>3</sup> )	Peso Unitario Seco	Peso húmedo (kg)	Peso Unitario Húmedo	Tanda de 155kg
Cemento	458.2	3150	0.145	1.00	458.22	1.00	30.91
Agua	229.11	1000	0.229	0.50	217.27	0.47	14.66
Arena	870.0	2650	0.328	1.90	878.73	1.92	59.27
Piedra	729.3	2680	0.272	1.59	732.40	1.60	49.40
Aire	-	100	0.020	-	-	-	-
Nitrato	10.0	2000	0.005	0.0186	10.00	0.02	0.6746
Bacterias	1.1456	-	-	0.0021	1.20	0.0022	0.0809

## 2.3. Diseño de mezcla para concreto patrón con relación de a/c de 0.45.

MATERIAL	Peso Seco (kg)	P.E (kg/m <sup>3</sup> )	Volumen Absoluto (m <sup>3</sup> )	Peso Unitario Seco	Peso húmedo (kg)	Peso Unitario Húmedo	Tanda de 155kg
Cemento	537.3	3150	0.171	1.00	537.33	1.00	36.35
Agua	241.8	1000	0.242	0.45	230.61	0.43	15.60
Arena	822.5	2650	0.310	1.53	830.71	1.55	56.20
Piedra	689.4	2680	0.257	1.28	692.38	1.29	46.84
Aire	-	100	0.020	-	-	-	-

## 2.4. Diseño de mezcla para concreto adicionado con bacterias con relación de a/c de 0.45.

MATERIAL	Peso Seco (kg)	P.E (kg/m <sup>3</sup> )	Volumen Absoluto (m <sup>3</sup> )	Peso Unitario Seco	Peso húmedo (kg)	Peso Unitario Húmedo	Tanda de 155kg
Cemento	537.3	3150	0.171	1.00	537.33	1.00	36.39
Agua	241.8	1000	0.242	0.45	230.71	0.43	15.62
Arena	815.2	2650	0.308	1.52	823.40	1.53	55.76
Piedra	683.3	2680	0.255	1.27	686.28	1.28	46.47
Aire	-	100	0.020	-	-	-	-
Nitrato	10.0	2000	0.005	0.0186	10.0000	0.0186	0.6772
Bacterias	1.209	-	-	0.0023	1.2000	0.0022	0.0813

### ANEXO 3: ENSAYOS AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

#### 3.1. Consistencia

ENSAYO	a/c	Muestra	
		Patrón	Adicionada
Consistencia (pulgadas)	0.45	3	5.5
	0.50	3.2	5.4

#### 3.2. Exudación

TIEMPO (min)		EXUDACIÓN PATRÓN (ml)			
		a/c=0,5		a/c=0,45	
PARCIAL	ACUMULADO	PARCIAL	ACUMULADO	PARCIAL	ACUMULADO
10	10	1.30	1.30	0.20	0.20
10	20	1.75	3.05	0.15	0.35
10	30	1.50	4.55	1.45	1.80
10	40	1.45	6.00	1.95	3.75
30	70	8.50	14.50	8.60	12.35
30	100	7.00	21.50	2.45	14.80
30	130	0.55	22.05	0.65	15.45
30	160	0.00	22.05	0.00	15.45
30	190	0.00	22.05	0.00	15.45

a/c PATRÓN	PESO TANDA (kg)	AGUA EN TANDA (kg)	PESO MUESTRA (kg)	AGUA EN MUESTRA (ml)	VOLUMEN EXUDADO (ml)	EXUDACIÓN (%)
0.45	50	5.03	35.12	3533.07	15.45	0.44%
0.5	50	4.75	34.96	3321.20	22.05	0.66%

TIEMPO (min)		EXUDACIÓN BACTERIAS (ml)			
		a/c=0,5		a/c=0,45	
PARCIAL	ACUMULADO	PARCIAL	ACUMULADO	PARCIAL	ACUMULADO
10	10	1.35	1.35	0.45	0.45
10	20	2.15	3.50	1.15	1.60
10	30	2.10	5.60	1.20	2.80
10	40	2.20	7.80	1.00	3.80
30	70	10.30	18.10	9.45	13.25
30	100	6.50	24.60	3.45	16.70
30	130	4.65	29.25	2.15	18.85
30	160	1.80	31.05	0.65	19.50
30	190	0.00	31.05	0.00	19.50

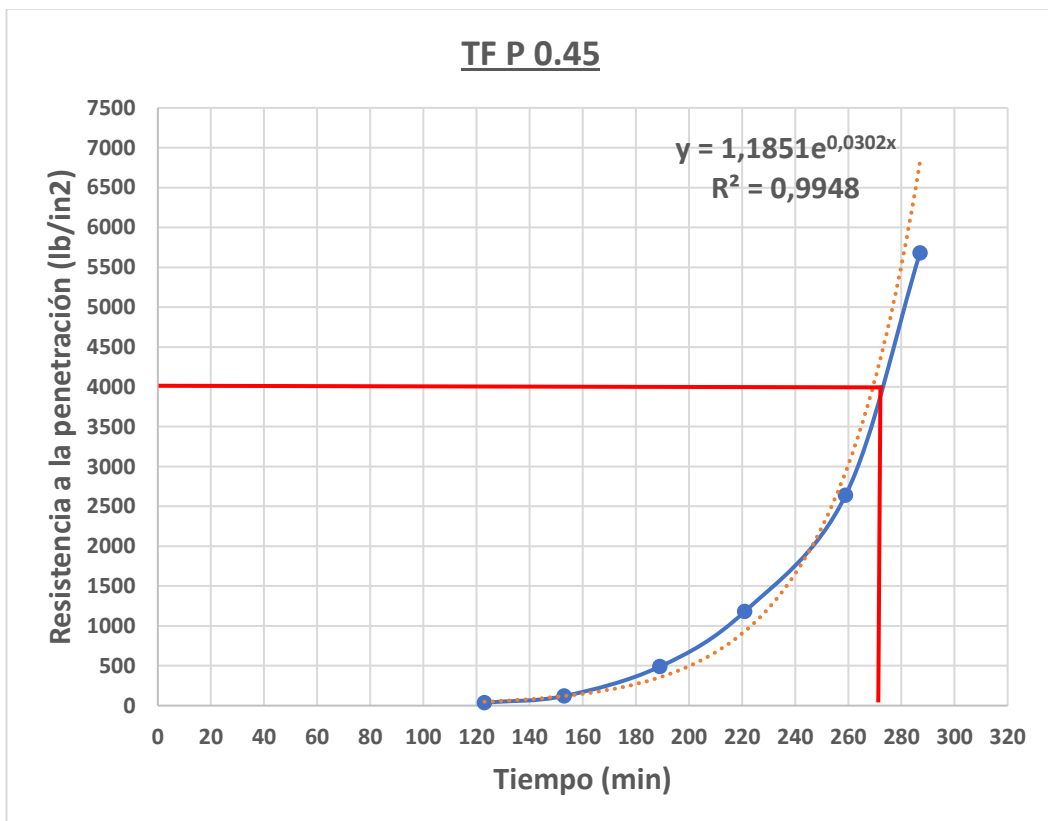
a/c BACTERIAS	PESO TANDA (kg)	AGUA EN TANDA (kg)	PESO MUESTRA	AGUA EN MUESTRA	VOLUMEN EXUDADO	EXUDACIÓN (%)
0.45	50	5.04	35.32	3560.26	19.50	0.55%
0.5	50	4.73	35.15	3325.19	31.05	0.93%

### 3.3. Contenido de aire

MUESTRA	a/c	%
PATRÓN	0.5	1.95
	0.45	1.9
BACTERIAS	0.5	1.9
	0.45	1.95

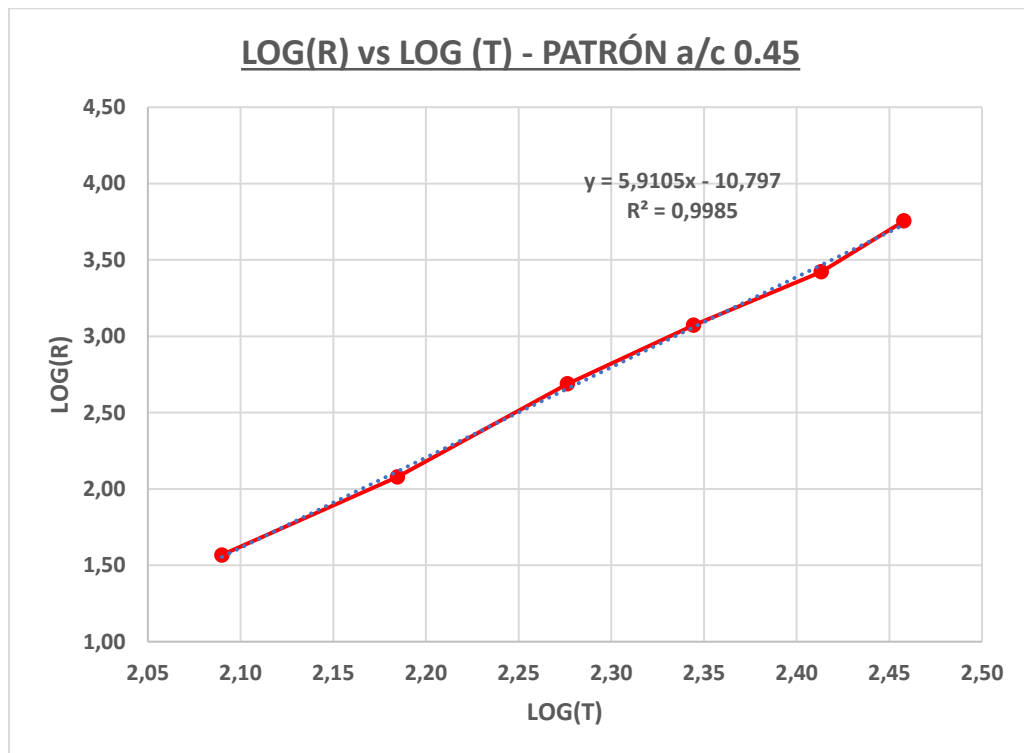
### 3.4. Tiempo de fraguado

TIEMPO DE FRAGUA PATRÓN (a/c=0,45)						
HORA HI: 8:50	TIEMPO TRANSCURRIDO (min)		AGUJA		FUERZA (lb)	RESISTENCIA (lb/in2)
	PARCIAL	ACUMULADO	NÚMERO	ÁREA (in <sup>2</sup> )		
10:53	123	123	1	1.000	37	37
11:23	30	153	2	0.500	60	120
11:59	36	189	3	0.250	122	488
12:31	32	221	4	0.100	118	1180
13:09	38	259	5	0.050	132	2640
13:37	28	287	6	0.025	142	5680

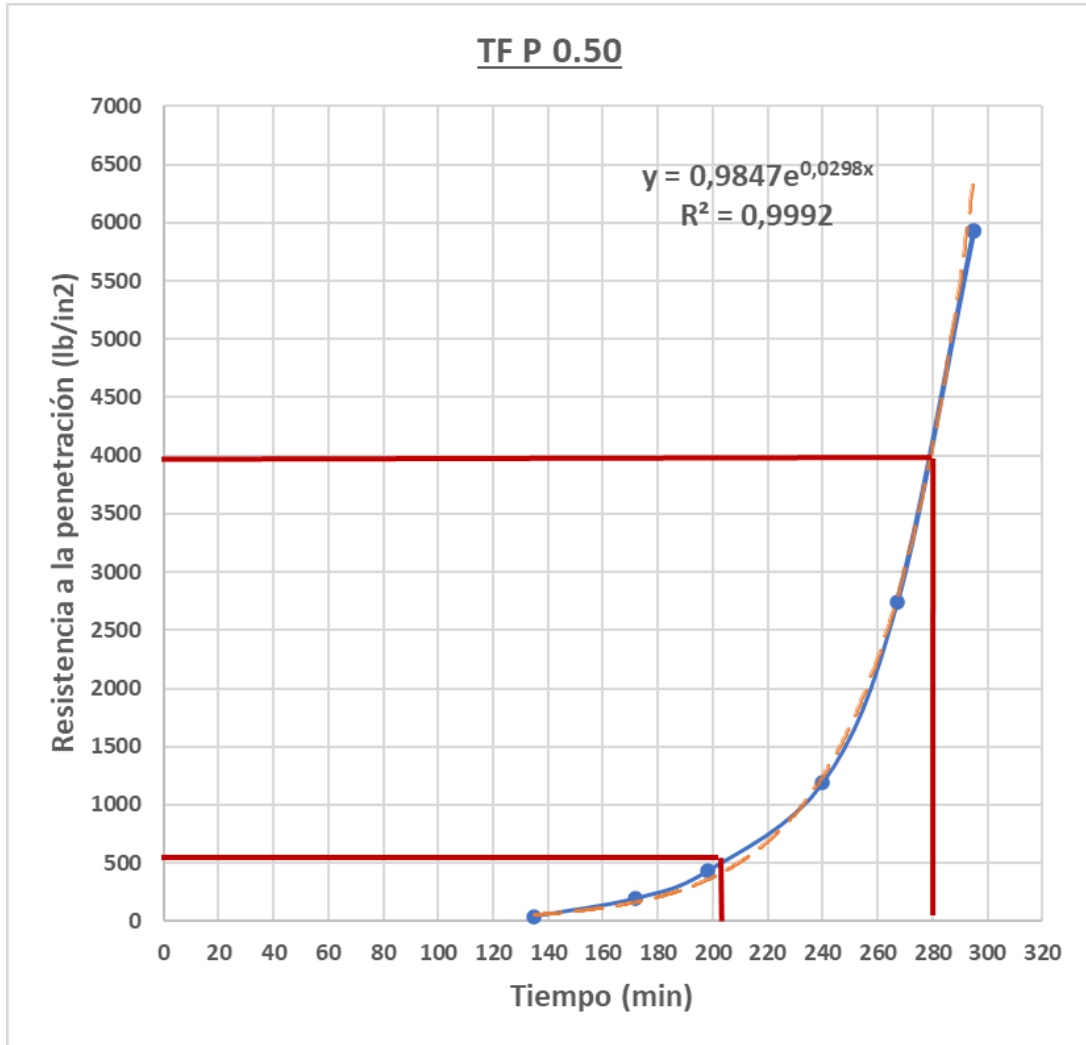




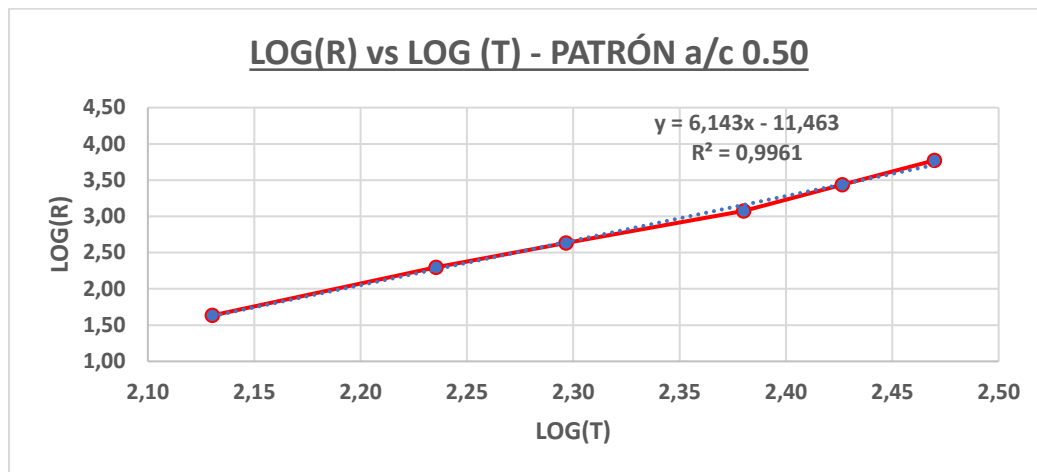
RESISTENCIA (R) (lb/in <sup>2</sup> )	TIEMPO ACUMULADO (T)	Log (R)	Log (T)
37	123	1.57	2.09
120	153	2.08	2.18
488	189	2.69	2.28
1180	221	3.07	2.34
2640	259	3.42	2.41
5680	287	3.75	2.46



TIEMPO DE FRAGUA PATRÓN (a/c=0,50)						
HORA HI: 8:34	TIEMPO TRANSCURRIDO (min)		AGUJA		FUERZA (lb)	RESISTENCIA (lb/in <sup>2</sup> )
	PARCIAL	ACUMULADO	NÚMERO	ÁREA (in <sup>2</sup> )		
10:49	135	135	1	1.000	43	43
11:26	37	172	2	0.500	99	198
11:52	26	198	3	0.250	108	432
12:34	42	240	4	0.100	119	1190
13:01	27	267	5	0.050	137	2740
13:29	28	295	6	0.025	148	5920



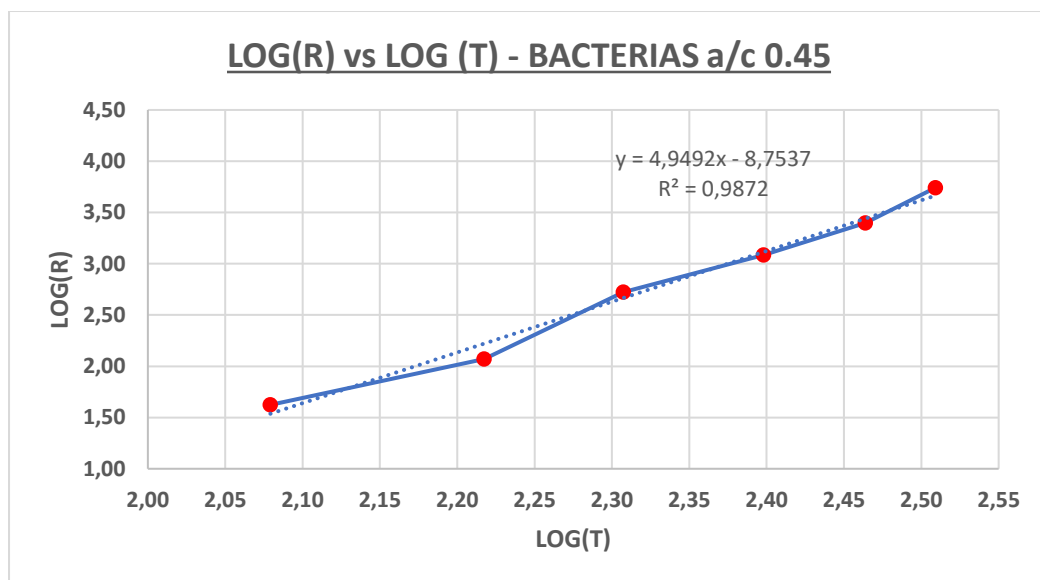
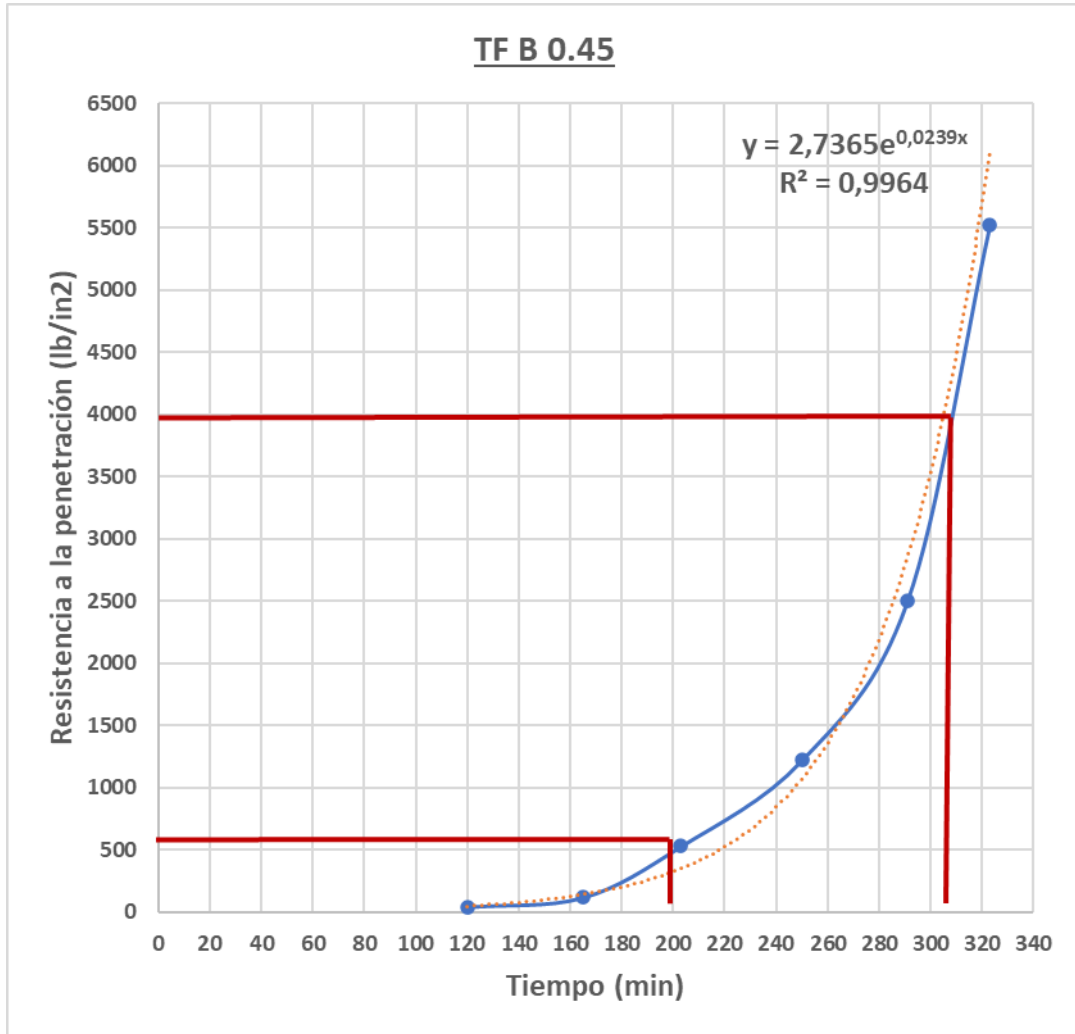
RESISTENCIA (R) (lb/in <sup>2</sup> )	TIEMPO ACUMULADO (T)	Log (R)	Log (T)
43	135	1.63	2.13
198	172	2.30	2.24
432	198	2.64	2.30
1190	240	3.08	2.38
2740	267	3.44	2.43
5920	295	3.77	2.47



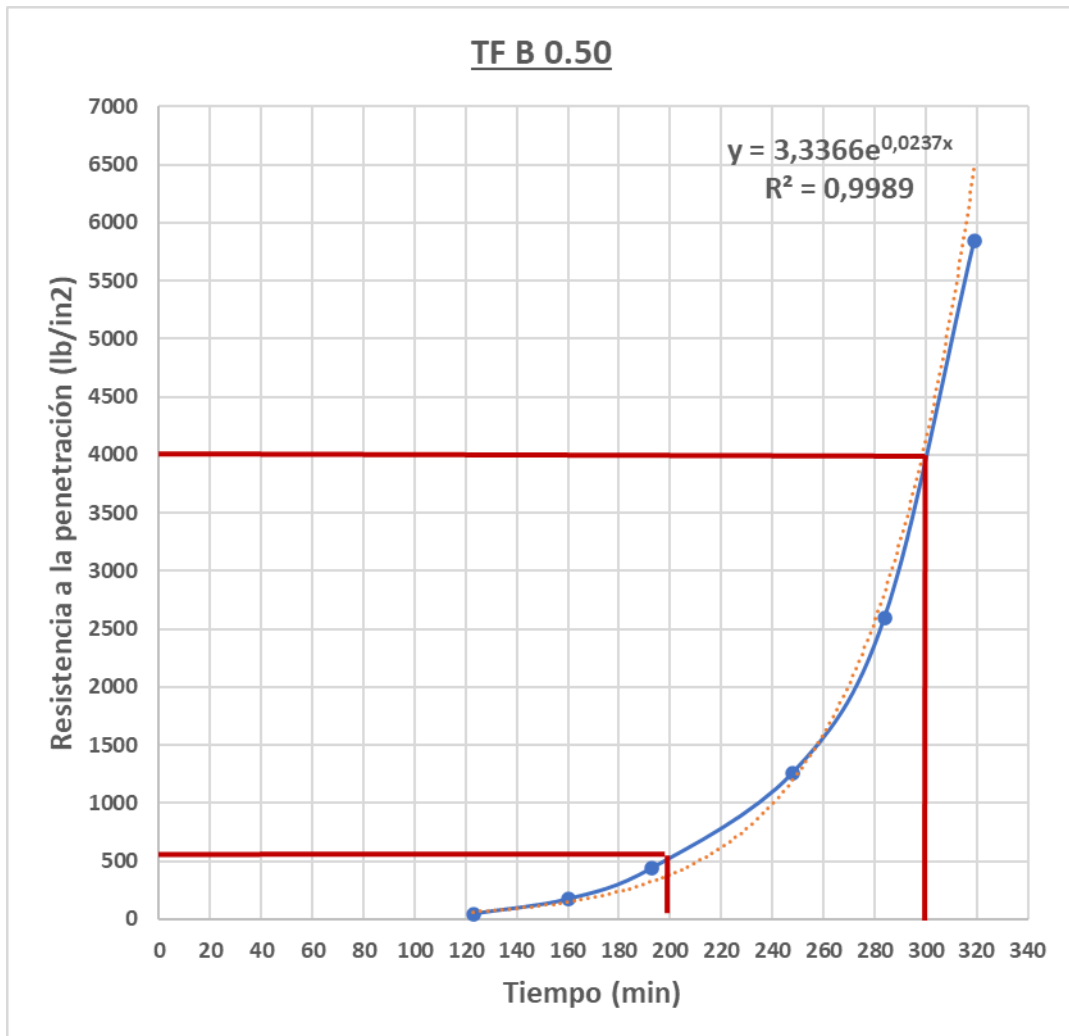
ENSAYO	Unidad	PATRÓN	
		a/c 0.45	a/c 0.50
T.F. Inicial	min	193	203
T.F. Final	min	273	280

TIEMPO DE FRAGUA BACTERIAS (a/c=0,45)						
HORA HI: 8:20	TIEMPO TRANSCURRIDO (min)		AGUJA		FUERZA (lb)	RESISTENCIA (lb/in2)
	PARCIAL	ACUMULADO	NÚMERO	ÁREA (in <sup>2</sup> )		
10:20	120	120	1	1.000	42	42
11:05	45	165	2	0.500	59	118
11:43	38	203	3	0.250	132	528
12:30	47	250	4	0.100	122	1220
13:11	41	291	5	0.050	125	2500
13:43	32	323	6	0.025	138	5520

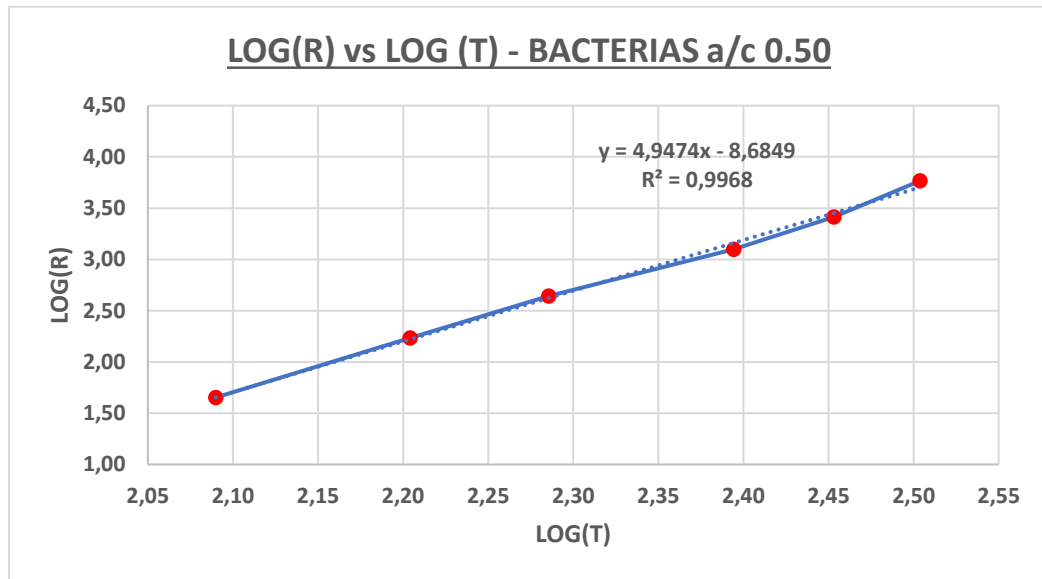
RESISTENCIA (R) (lb/in2)	TIEMPO ACUMULADO (T)	Log (R)	Log (T)
42	120	1.62	2.08
118	165	2.07	2.22
528	203	2.72	2.31
1220	250	3.09	2.40
2500	291	3.40	2.46
5520	323	3.74	2.51



TIEMPO DE FRAGUA BACTERIAS (a/c=0,50)						
HORA HI: 9:10	TIEMPO TRANSCURRIDO (min)		AGUJA		FUERZA (lb)	RESISTENCIA (lb/in2)
	PARCIAL	ACUMULADO	NÚMERO	ÁREA (in <sup>2</sup> )		
11:13	123	123	1	1.000	45	45
11:50	37	160	2	0.500	86	172
12:23	33	193	3	0.250	110	440
13:18	55	248	4	0.100	126	1260
13:54	36	284	5	0.050	130	2600
14:29	35	319	6	0.025	146	5840



RESISTENCIA (R) (lb/in2)	TIEMPO ACUMULADO (T)	Log (R)	Log (T)
45	123	1.65	2.09
172	160	2.24	2.20
440	193	2.64	2.29
1260	248	3.10	2.39
2600	284	3.41	2.45
5840	319	3.77	2.50



ENSAYO	Unidad	CON BACTERIAS	
		a/c 0.45	a/c 0.50
T.F. Inicial	min	200	200
T.F. Final	min	307	300

## ANEXO 4: ENSAYOS AL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

### 4.1. Resistencia a la compresión:

#### 4.1.1 Concreto patrón a/c 0.45:

N°	Nombre de la muestra	Diámetro (cm)	h (cm)	Carga de rotura (kgf)	Tipo de falla	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	PATRÓN 0.45-7D	10.25	20.10	24572	1	82.1	299
		10.20	20.20				
2	PATRÓN 0.45-7D	10.30	20.20	24760	1	83.1	298
		10.27	20.00				
3	PATRÓN 0.45-7D	10.24	20.32	25061	2	82.5	304
		10.26	20.40				
4	PATRÓN 0.45-7D	10.25	20.25	24319	2	82.8	294
		10.29	20.23				
5	PATRÓN 0.45-7D	10.27	20.27	25238	2	82.6	306
		10.24	20.23				
6	PATRÓN 0.45-7D	10.25	20.19	24471	2	82.8	295
		10.29	20.22				

N°	Nombre de la muestra	Diámetro (cm)	h (cm)	Carga de rotura (kgf)	Tipo de falla	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	PATRÓN 0.45-14D	10.21	20.55	25314	3	81.6	310
		10.18	20.50				
2	PATRÓN 0.45-14D	10.20	20.60	24545	1	81.6	301
		10.18	20.58				
3	PATRÓN 0.45-14D	10.23	20.81	25463	2	82.4	309
		10.25	20.84				
4	PATRÓN 0.45-14D	10.22	20.38	25464	2	81.9	311
		10.20	20.15				
5	PATRÓN 0.45-14D	10.20	20.32	25743	2	81.8	315
		10.21	20.31				
6	PATRÓN 0.45-14D	10.10	20.68	24900	5	80.0	311
		10.09	20.65				

N°	Nombre de la muestra	Diámetro (cm)	h (cm)	Carga de rotura (kgf)	Tipo de falla	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	PATRÓN 0.45-28D	10.21	20.22	27904	2	81.8	341
		10.20	20.18				
2	PATRÓN 0.45-28D	10.20	20.17	28440	2	81.6	349
		10.18	20.19				
3	PATRÓN 0.45-28D	10.03	20.12	27704	3	79.2	350
		10.05	20.15				
4	PATRÓN 0.45-28D	10.18	20.13	28517	2	81.2	351
		10.16	20.17				
5	PATRÓN 0.45-28D	10.22	20.23	27861	3	81.9	340
		10.20	20.24				
6	PATRÓN 0.45-28D	10.19	20.19	28742	3	81.4	353
		10.17	20.17				
7	PATRÓN 0.45-28D	10.20	20.23	28381	3	81.6	348
		10.19	20.20				
8	PATRÓN 0.45-28D	10.21	20.20	28281	3	82.0	345
		10.23	20.18				
9	PATRÓN 0.45-28D	10.20	20.20	27992	5	81.6	343
		10.19	20.22				
10	PATRÓN 0.45-28D	10.21	20.19	28942	2	81.8	354
		10.20	20.17				

**4.1.2 Concreto patrón a/c 0.50:**

N°	Nombre de la muestra	Diámetro (cm)	h (cm)	Carga de rotura (kgf)	Tipo de falla	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	PATRÓN 0.50-7D	10.21	20.22	20320	2	81.8	248
		10.20	20.23				
2	PATRÓN 0.50-7D	10.04	20.45	19377	1	79.6	244
		10.09	20.48				
3	PATRÓN 0.50-7D	10.23	20.31	20957	2	82.3	255
		10.24	20.28				
4	PATRÓN 0.50-7D	10.21	20.37	20982	2	81.8	257
		10.20	20.35				
5	PATRÓN 0.50-7D	10.23	20.34	19866	2	81.9	243
		10.19	20.41				
6	PATRÓN 0.50-7D	10.15	20.51	19961	2	80.8	247
		10.14	20.58				

N°	Nombre de la muestra	Diámetro (cm)	h (cm)	Carga de rotura (kgf)	Tipo de falla	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	PATRÓN 0.50-14D	10.14	20.32	22714	2	81.0	280
		10.17	20.24				
2	PATRÓN 0.50-14D	10.16	20.43	22861	2	81.2	282
		10.17	20.22				
3	PATRÓN 0.50-14D	10.17	20.43	23067	3	81.0	285
		10.14	20.31				
4	PATRÓN 0.50-14D	10.14	20.51	23035	2	80.8	285
		10.14	20.52				
5	PATRÓN 0.50-14D	9.97	20.73	21874	2	77.4	283
		9.88	20.79				
6	PATRÓN 0.50-14D	9.96	20.58	21622	3	78.7	275
		10.06	20.67				

N°	Nombre de la muestra	Diámetro (cm)	h (cm)	Carga de rotura (kgf)	Tipo de falla	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	PATRÓN 0.50-28D	10.21	20.21	24248	5	82.0	296
		10.22	20.22				
2	PATRÓN 0.50-28D	10.19	20.22	24377	4	81.8	298
		10.22	20.23				
3	PATRÓN 0.50-28D	10.22	20.20	24385	3	82.0	298
		10.21	20.22				
4	PATRÓN 0.50-28D	10.19	20.19	23519	5	81.6	288
		10.20	20.19				
5	PATRÓN 0.50-28D	10.19	20.20	25272	5	81.7	309
		10.21	20.21				
6	PATRÓN 0.50-28D	10.18	20.19	25085	5	81.7	307
		10.22	20.21				
7	PATRÓN 0.50-28D	10.18	20.22	24044	2	81.6	295
		10.21	20.21				
8	PATRÓN 0.50-28D	10.22	20.19	23938	2	81.7	293
		10.18	20.20				
9	PATRÓN 0.50-28D	10.21	20.21	24023	5	81.9	293
		10.21	20.22				
10	PATRÓN 0.50-28D	10.21	20.21	24118	2	81.8	295
		10.20	20.20				



**4.1.3. Concreto adicionado con bacterias a/c 0.45:**

N°	Nombre de la muestra	Diámetro de la	h	Carga de rotura (kgf)	Tipo de falla	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	PATRÓN 0.45-7D	10.00	20.81	23460	2	79.5	295
		10.12	20.60				
2	PATRÓN 0.45-7D	10.09	20.62	22324	5	79.9	279
		10.08	20.55				
3	PATRÓN 0.45-7D	10.20	20.09	23245	3	81.9	284
		10.22	20.12				
4	PATRÓN 0.45-7D	10.20	20.35	24861	2	81.7	304
		10.20	20.34				
5	PATRÓN 0.45-7D	10.10	20.02	23077	2	81.0	285
		10.21	20.12				
6	PATRÓN 0.45-7D	10.18	20.36	23404	3	81.6	287
		10.21	20.25				

N°	Nombre de la muestra	Diámetro de la	h	Carga de rotura (kgf)	Tipo de falla	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	PATRÓN 0.45-14D	10.22	20.34	25886	3	81.9	316
		10.20	20.40				
2	PATRÓN 0.45-14D	10.19	20.10	25362	2	81.6	311
		10.19	20.10				
3	PATRÓN 0.45-14D	10.25	20.21	26265	2	82.2	320
		10.21	20.24				
4	PATRÓN 0.45-14D	10.21	20.25	25405	6	81.7	311
		10.19	20.23				
5	PATRÓN 0.45-14D	10.21	20.21	24996	5	81.9	305
		10.21	20.19				
6	PATRÓN 0.45-14D	10.21	20.24	25992	2	82.0	317
		10.22	20.23				

N°	Nombre de la muestra	Diámetro de la	h	Carga de rotura (kgf)	Tipo de falla	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	PATRÓN 0.45-28D	10.21	20.20	30489	3	81.7	373
		10.19	20.19				
2	PATRÓN 0.45-28D	10.20	20.18	29884	2	81.6	366
		10.18	20.19				
3	PATRÓN 0.45-28D	10.20	20.20	28792	1	81.8	352
		10.21	20.21				
4	PATRÓN 0.45-28D	10.20	20.21	29239	2	81.9	357
		10.22	20.22				
5	PATRÓN 0.45-28D	10.22	20.20	30880	2	82.1	376
		10.23	20.19				
6	PATRÓN 0.45-28D	10.19	20.18	29304	2	81.6	359
		10.20	20.20				
7	PATRÓN 0.45-28D	10.21	20.21	29646	2	82.0	362
		10.22	20.22				
8	PATRÓN 0.45-28D	10.21	20.21	31441	3	81.6	386
		10.17	20.20				
9	PATRÓN 0.45-28D	10.18	20.19	31699	3	81.5	389
		10.19	20.18				
10	PATRÓN 0.45-28D	10.22	20.20	31750	3	82.0	387
		10.22	20.19				

**4.1.4. Concreto adicionado con bacterias a/c 0.50:**

N°	Nombre de la muestra	Diámetro de la	h	Carga de rotura (kgf)	Tipo de falla	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	BACTERIA 0.50-7D	10.19	20.21	22117	2	81.6	271
		10.20	20.20				
2	BACTERIA 0.50-7D	10.06	20.23	20710	2	79.3	261
		10.04	20.21				
3	BACTERIA 0.50-7D	10.19	20.19	21951	3	81.6	269
		10.20	20.18				
4	BACTERIA 0.50-7D	10.18	20.15	20939	2	81.3	258
		10.17	20.16				
5	BACTERIA 0.50-7D	10.15	20.14	20573	3	81.3	253
		10.20	20.18				
6	BACTERIA 0.50-7D	10.17	20.21	20196	2	81.3	248
		10.18	20.21				

N°	Nombre de la muestra	Diámetro de la	h	Carga de rotura (kgf)	Tipo de falla	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	BACTERIA 0.50-14D	10.21	20.20	23561	5	81.8	288
		10.20	20.23				
2	BACTERIA 0.50-14D	10.19	20.21	22916	3	81.7	280
		10.21	20.19				
3	BACTERIA 0.50-14D	10.20	20.22	23951	2	81.9	293
		10.22	20.23				
4	BACTERIA 0.50-14D	10.21	20.23	23243	3	81.6	285
		10.18	20.21				
5	BACTERIA 0.50-14D	10.22	20.19	24126	3	82.0	294
		10.21	20.21				
6	BACTERIA 0.50-14D	10.22	20.22	24615	3	82.0	300
		10.21	20.19				

N°	Nombre de la muestra	Diámetro de la	h	Carga de rotura (kgf)	Tipo de falla	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	BACTERIA 0.50-14D	10.21	20.20	26563	4	81.8	325
		10.20	20.21				
2	BACTERIA 0.50-14D	10.22	20.22	27408	1	82.0	334
		10.21	20.20				
3	BACTERIA 0.50-28D	10.23	20.19	26231	2	82.0	320
		10.20	20.19				
4	BACTERIA 0.50-28D	10.20	20.22	27040	2	81.8	331
		10.21	20.22				
5	BACTERIA 0.50-28D	10.22	20.21	27800	3	82.0	339
		10.22	20.22				
6	BACTERIA 0.50-28D	10.21	20.23	27120	2	82.0	331
		10.22	20.21				
7	BACTERIA 0.50-28D	10.21	20.21	26436	3	81.9	323
		10.21	20.21				
8	BACTERIA 0.50-28D	10.23	20.22	28369	3	82.3	345
		10.24	20.21				
9	BACTERIA 0.50-28D	10.21	20.19	26221	2	82.0	320
		10.22	20.19				
10	BACTERIA 0.50-28D	10.20	20.21	26521	2	81.6	325
		10.19	20.22				

## 4.2: Resistencia a la tracción – compresión diametral:

### 4.2.1. Muestra patrón:

MUESTRA	FECHA BASEADO	FECHA ENSAYO	D (cm)	ALTURA (cm)		CARGA (kg)	RESIS. A LA TRACCIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )
M1 P 0.45	19/01/2023	16/02/2023	10.21	20.21	20.19	9490	29.28
			10.20				
			10.23				
M2 P 0.45	19/01/2023	16/02/2023	10.17	10.18	20.22	8894	36.53
			10.20				
			10.22				
M3 P 0.45	19/01/2023	16/02/2023	10.21	20.17	20.15	9400	29.07
			10.23				
			10.19				
M4 P 0.45	19/01/2023	16/02/2023	10.15	20.20	20.22	9984	30.89
			10.19				
			10.20				
M5 P 0.45	19/01/2023	16/02/2023	10.22	20.21	20.20	10008	30.89
			10.21				
			10.19				
M6 P 0.45	19/01/2023	16/02/2023	10.20	20.19	20.20	9816	30.34
			10.21				
			10.19				

MUESTRA	FECHA BASEADO	FECHA ENSAYO	D (cm)	ALTURA (cm)		CARGA (kg)	RESIS. A LA TRACCIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )
M1 P 0.50	25/01/2023	22/02/2023	10.11	20.20	20.19	7876	24.61
			10.10				
			10.06				
M2 P 0.50	25/01/2023	22/02/2023	10.21	20.21	20.18	7989	24.73
			10.18				
			10.16				
M3 P 0.50	25/01/2023	22/02/2023	10.12	20.22	20.20	8193	25.33
			10.23				
			10.21				
M4 P 0.50	25/01/2023	22/02/2023	10.22	20.20	20.21	8681	26.81
			10.19				
			10.20				
M5 P 0.50	25/01/2023	22/02/2023	10.23	20.19	20.18	9112	28.15
			10.21				
			10.19				
M6 P 0.50	25/01/2023	22/02/2023	10.18	20.19	20.22	8288	36.40
			10.16				
			1.18				

**4.2.2. Muestra adicionada con bacterias:**

MUESTRA	FECHA BASEADO	FECHA ENSAYO	D (cm)	ALTURA (cm)		CARGA (kg)	RESIS. A LA TRACCIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )
M1 B 0.45	27/01/2023	24/02/2023	10.15	20.22	20.21	10116	31.34
			10.18				
			10.17				
M2 B 0.45	27/01/2023	24/02/2023	10.21	20.19	20.21	10380	32.09
			10.19				
			10.18				
M3 B 0.45	27/01/2023	24/02/2023	10.20	20.21	20.19	10579	32.68
			10.19				
			10.22				
M4 B 0.45	27/01/2023	24/02/2023	10.19	20.19	20.22	10679	32.98
			10.20				
			10.22				
M5 B 0.45	27/01/2023	24/02/2023	10.18	20.19	20.21	10950	33.88
			10.18				
			10.20				
M6 B 0.45	27/01/2023	24/02/2023	10.22	20.20	20.19	10213	31.50
			10.21				
			10.23				

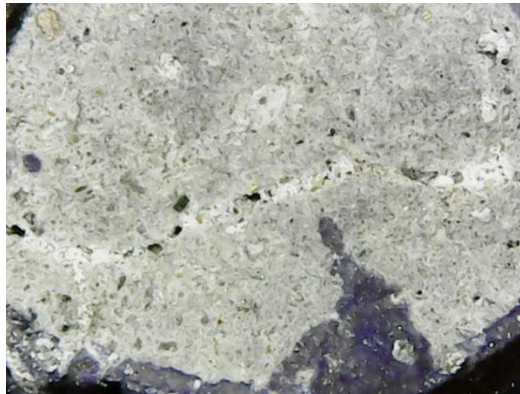
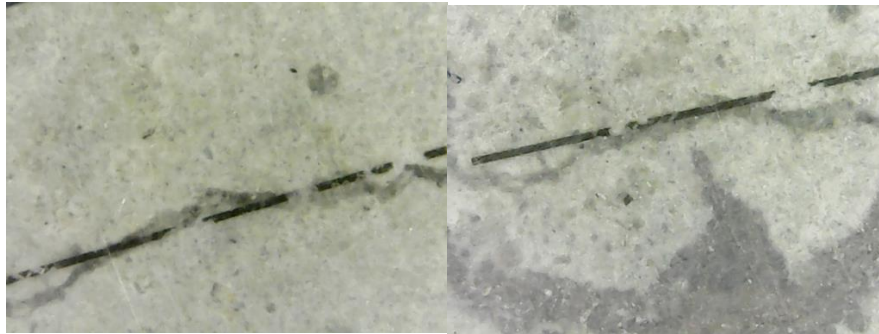
MUESTRA	FECHA BASEADO	FECHA ENSAYO	D (cm)	ALTURA (cm)		CARGA (kg)	RESIS. A LA TRACCIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )
M1 B 0.50	8/02/2023	8/03/2023	10.22	20.20	20.21	9492	29.27
			10.21				
			10.22				
M2 B 0.50	8/02/2023	8/03/2023	10.23	20.19	20.19	8711	26.88
			10.21				
			10.21				
M3 B 0.50	8/02/2023	8/03/2023	10.20	20.20	20.21	10622	32.81
			10.19				
			10.21				
M4 B 0.50	8/02/2023	8/03/2023	10.20	20.22	20.19	10865	33.52
			10.23				
			10.21				
M5 B 0.50	8/02/2023	8/03/2023	10.22	20.18	20.19	9872	30.51
			10.21				
			10.19				
M6 B 0.50	8/02/2023	8/03/2023	10.23	20.19	20.22	9688	29.87
			10.22				
			10.21				

### 4.3: Resumen de ensayos a compresión y tracción compresión diametral

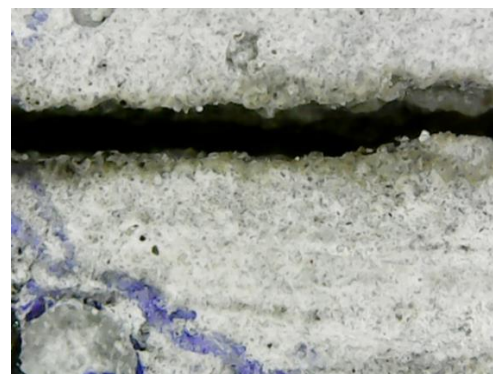
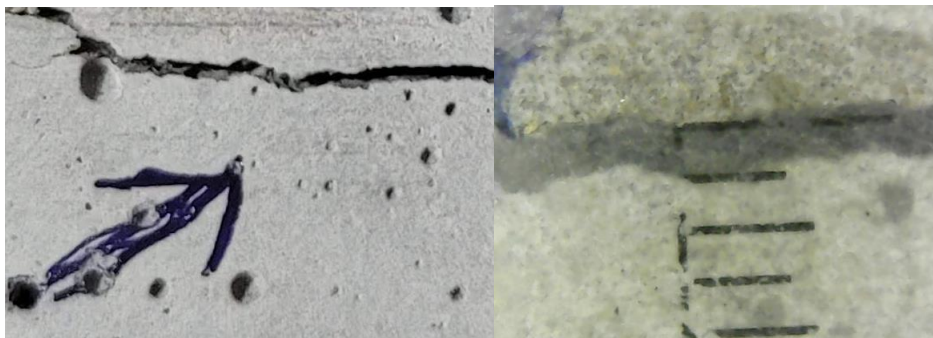
ENSAYO	Días	Cantidad de muestras	Unidad	PATRÓN	
				a/c 0,45	a/c 0,5
Resistencia a la compresión	7	6	kg/cm <sup>2</sup>	299.33	249.00
	14	6	kg/cm <sup>2</sup>	309.50	281.67
	28	10	kg/cm <sup>2</sup>	347.40	297.20
Compresión Diametral	28	6	kg/cm <sup>2</sup>	31.17	27.67

ENSAYO	Días	Cantidad de muestras	Unidad	CON BACTERIAS	
				a/c 0,45	a/c 0,5
Resistencia a la compresión	7	6	kg/cm <sup>2</sup>	289.00	260.00
	14	6	kg/cm <sup>2</sup>	313.33	290.00
	28	10	kg/cm <sup>2</sup>	370.70	329.30
Compresión Diametral	28	6	kg/cm <sup>2</sup>	32.40	30.48

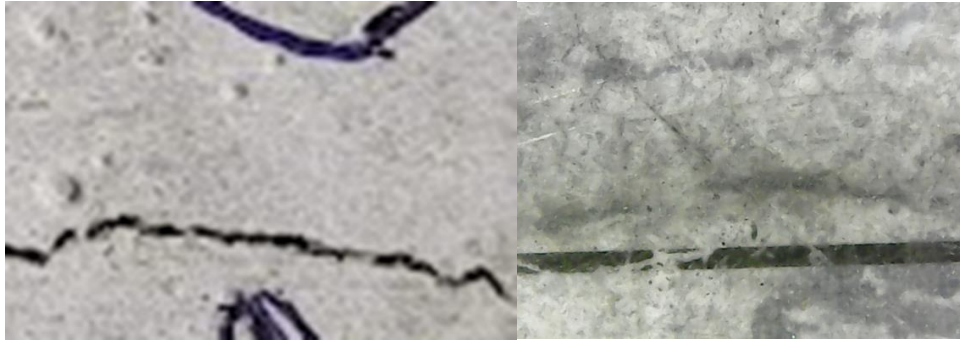
## ANEXO 5: FOTOS DE FISURAS



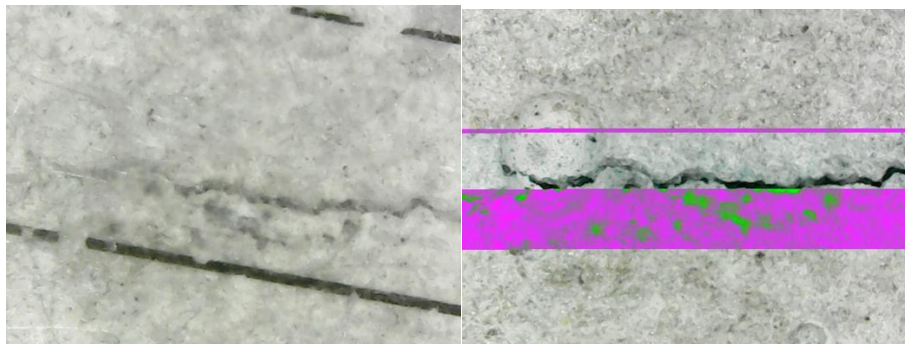
Evaluación de la fisura 1(B) –  $a/c = 0.45$



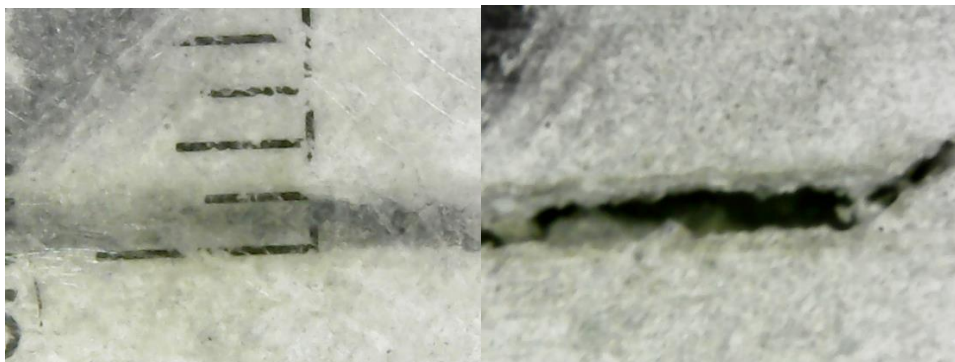
Evaluación de la fisura 2(B) –  $a/c = 0.45$



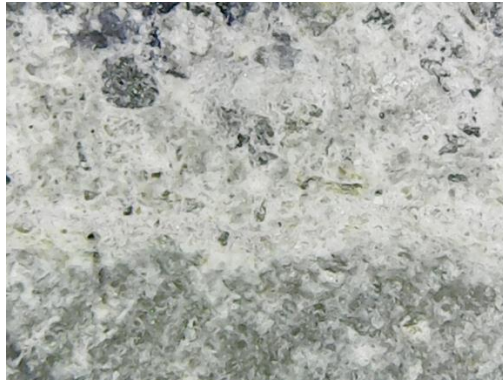
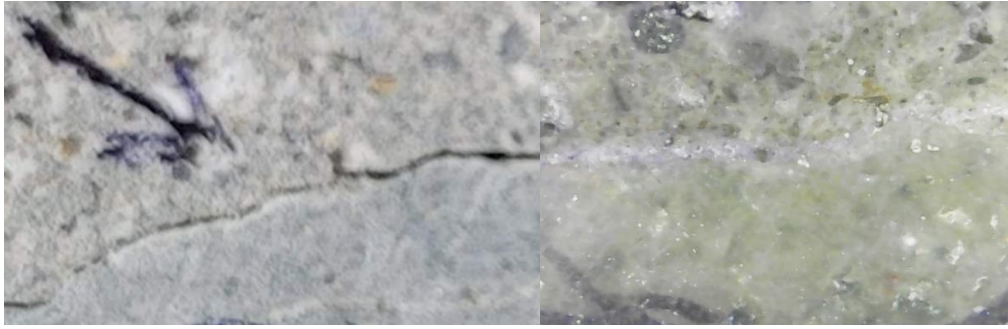
Evaluación de la fisura 3(B) –  $a/c = 0.45$



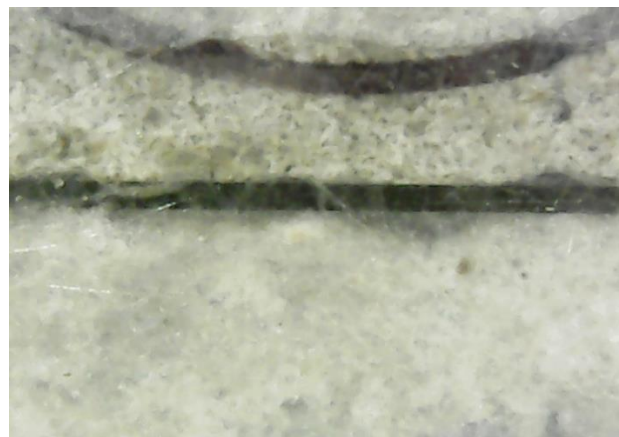
Evaluación de la fisura 4(B) –  $a/c = 0.45$



Evaluación de la fisura 5(B) –  $a/c = 0.45$

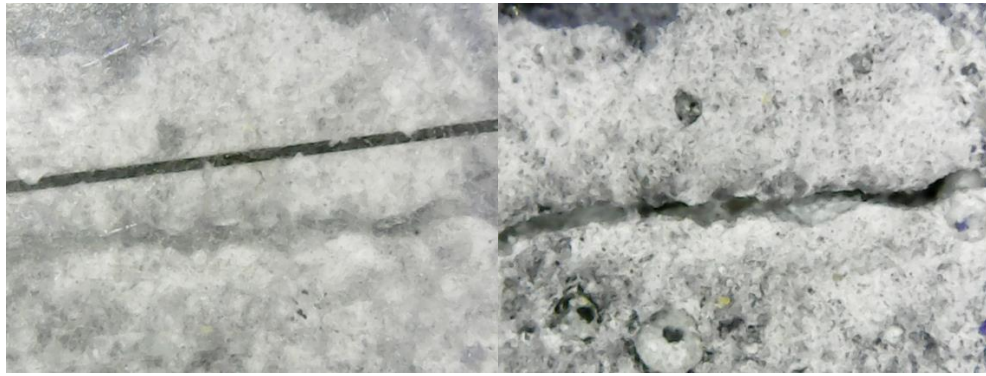


Evaluación de la fisura 1(B) –  $a/c = 0.50$

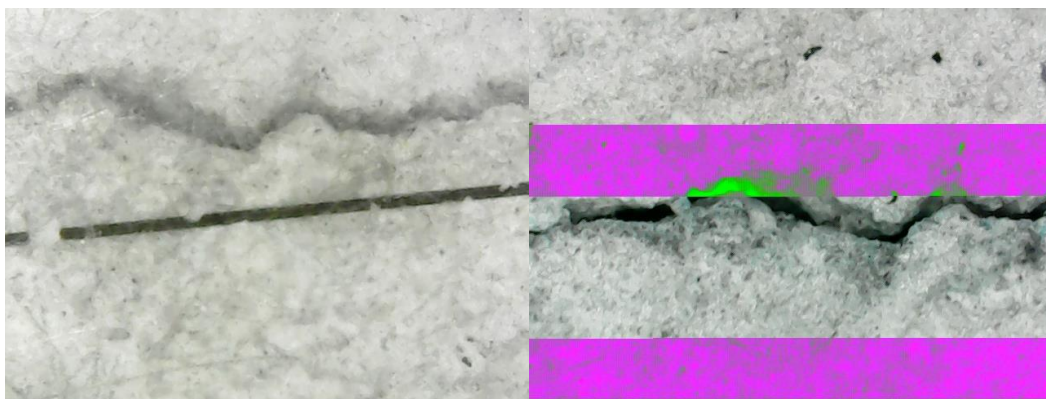


Evaluación de la fisura 2(B) –  $a/c = 0.50$

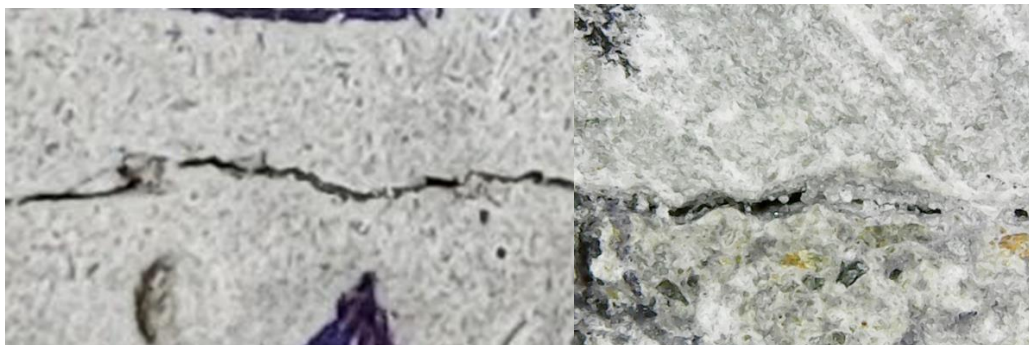




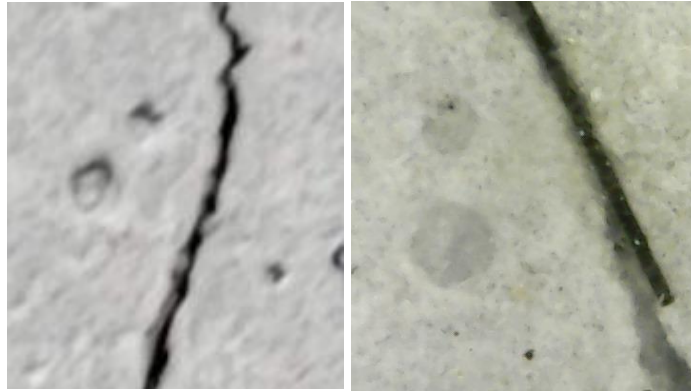
Evaluación de la fisura 3(B) –  $a/c = 0.50$



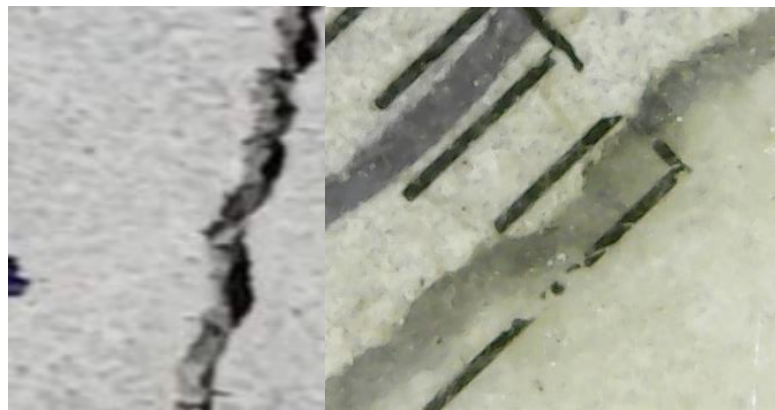
Evaluación de la fisura 4(B) –  $a/c = 0.50$



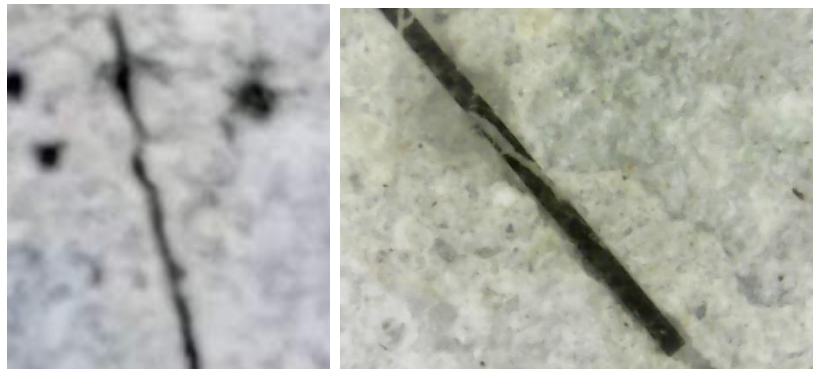
Evaluación de la fisura 5(B) –  $a/c = 0.50$



Evaluación de la fisura 1(P) -  $a/c = 0.45$



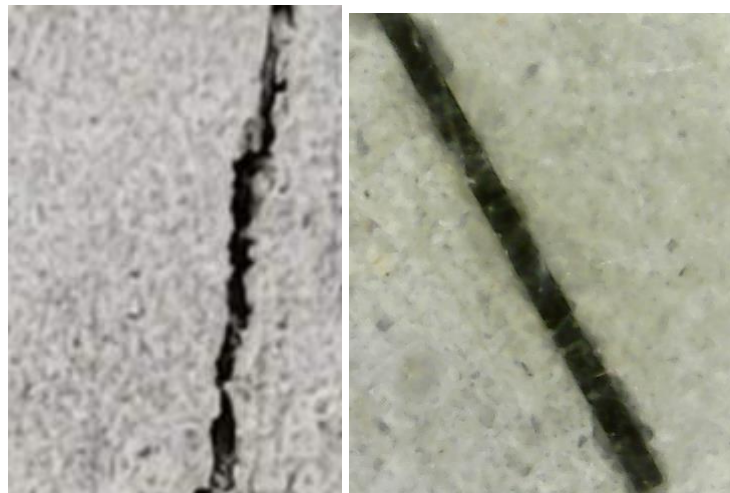
Evaluación de la fisura 2(P) -  $a/c = 0.45$



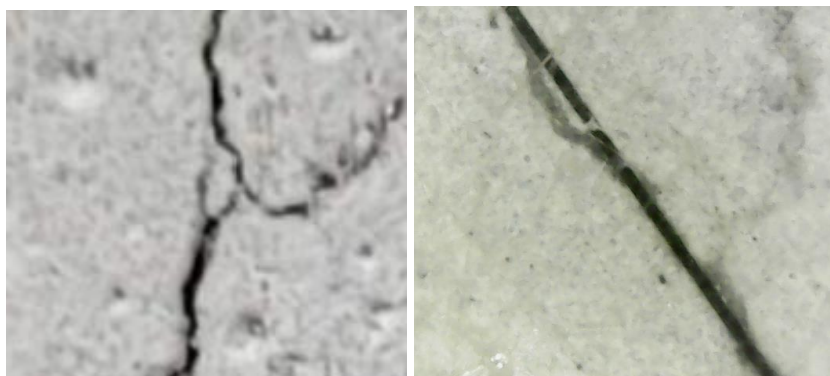
Evaluación de la fisura 3(P) -  $a/c = 0.45$



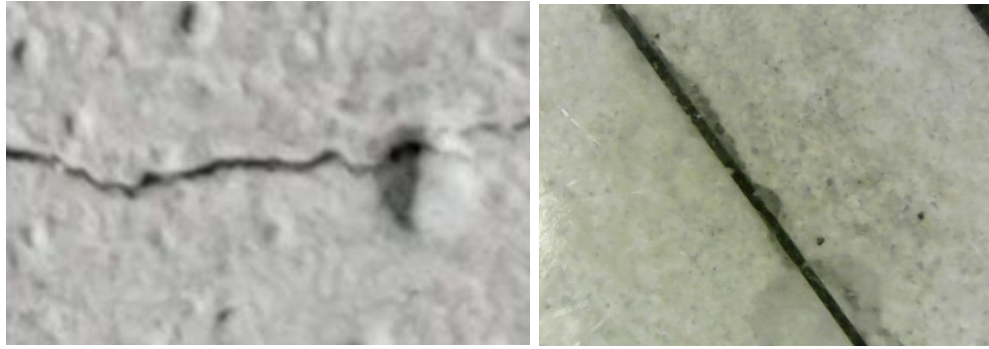
Evaluación de la fisura 4(P) -  $a/c = 0.45$



Evaluación de la fisura 1(P) -  $a/c = 0.50$



Evaluación de la fisura 2(P) -  $a/c = 0.50$



Evaluación de la fisura 3(P) -  $a/c = 0.50$



Evaluación de la fisura 4(P) -  $a/c = 0.50$

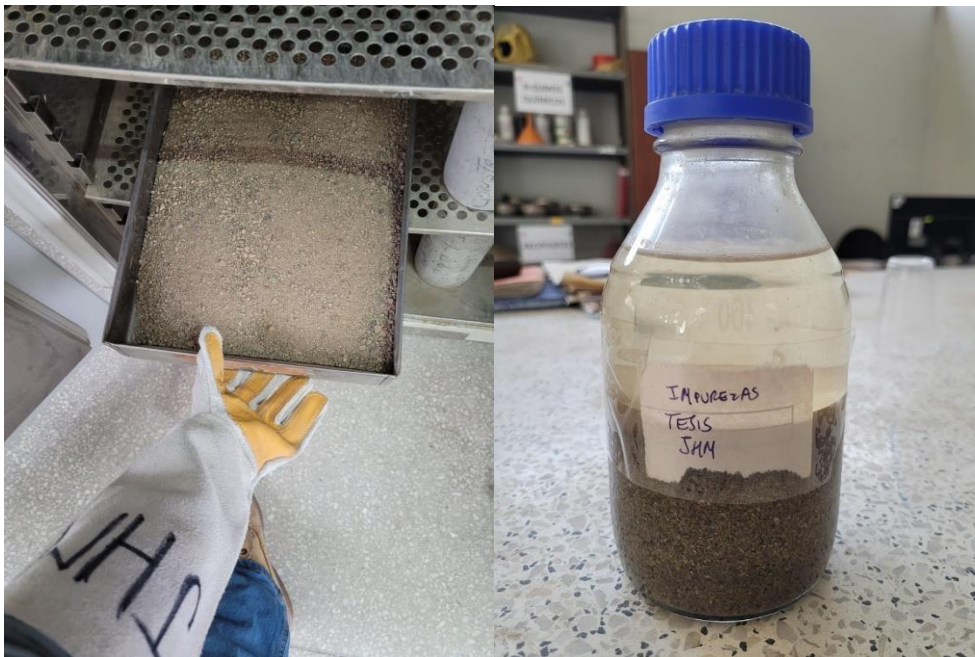
## ANEXO 6: PANEL FOTOGRÁFICO



Cuarteo de la piedra y arena de la cantera Difamás.



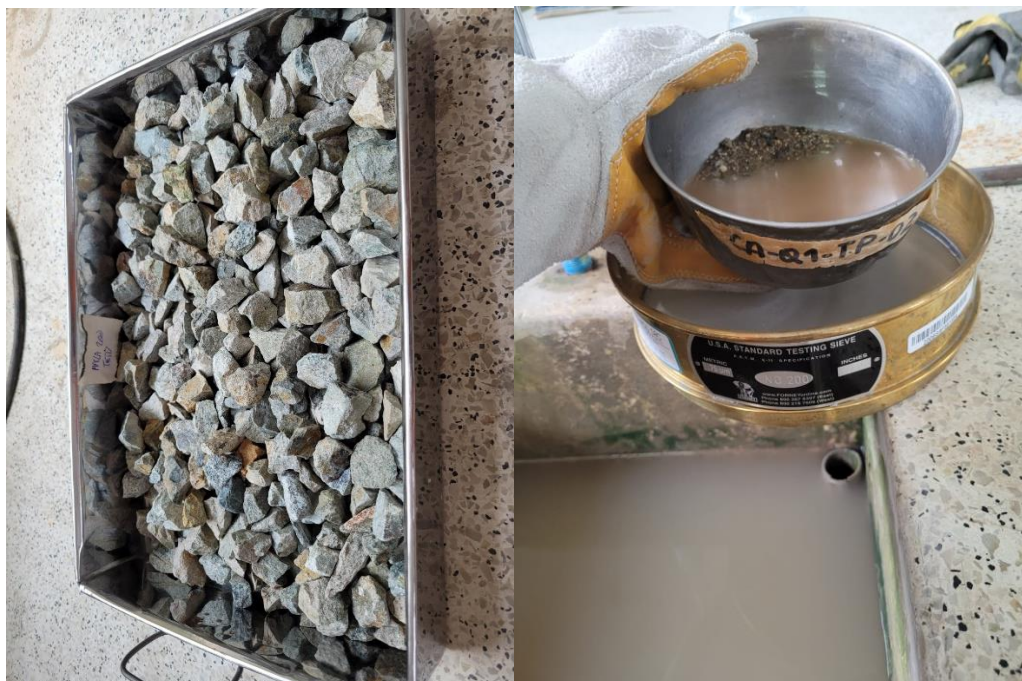
Tamices utilizados para análisis granulométrico del agregado fino y agregado grueso.



Material al horno y análisis de impurezas orgánicas.



Muestras lavadas para durabilidad y abrasión.



Malla 200 para el agregado fino y grueso.



Malla 200 y Peso Específico.



Máquina de los ángeles para ensayo de abrasión.





Medición del PE del nitrato de calcio en perlas y preparado de solución.



Pesaje de material para vaciado y engrase de moldes.



Preparación de muestras y tanda de vaciado.



Muestras previas al vaciado con bacterias.



Adición de nitrato de calcio y bacterias a la mezcla de concreto.



Ensayo de exudación y tiempo de fragua.



Elaboración de probetas de concreto.



Vaciado y desmoldado de muestras de concreto.



Muestras previas al curado.



Medida del slump.



Rotura de probetas a compresión.



Rotura interior de probeta.



Compresión diametral de probetas.





Rotura por compresión diametral.