



**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN**

**“Evaluación del Mucílago de Nopal para Disminuir
las Fisuras Causadas por Retracción Plástica en el
Hormigón”**

Por

Fabrisio Manríquez Novoa

Trabajo de Tesis para optar al Grado de Licenciado en Ciencias de la
Construcción y al Título de Ingeniero Constructor

PROFESOR GUÍA: Juan Egaña Ramos

MARZO, 2018

DEDICATORIA

Esta tesis va especialmente dedicada a mi madre, que fue la única persona que creyó en mi cuando nadie más lo hizo. Agradeciendo su comprensión, cariño y esfuerzo para yo poder llevar a cabo esta experiencia de vida.

“La diferencia entre ganar y perder a menudo consiste en no abandonar y yo... yo no abandoné”

Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a mi familia por apoyarme en todos estos años, desde el comienzo hasta el final de esta etapa, en los momentos más difíciles, en especial a mi madre Omelia, a mi hermana Yasna, las quiero mucho y siéntanse parte de este logro.

A lo largo de mi experiencia como universitario, he tenido muy buenos amigos los cuales me han brindado su apoyo incondicional. Felipe, Sebba, Carlita, Tomás, Doris, Felipe Andrés, les agradezco por ser parte de mi vida, gracias por sus palabras, sus mechoneos, sus retos, sus consejos y por dejarme ser parte de su vida también.

Dar las gracias a mi profesor guía Juan Egaña, por su buena disposición siempre que la necesite, su amabilidad y tiempo entregado para poder realizar esta investigación con éxito.

Dar las gracias a los demás profesores que aportaron sus conocimientos, que se encargaron de contribuir con críticas constructivas, que hicieron crecer esta investigación con un valor agregado. Profesora Patricia Martínez, Profesor Rodrigo Ortiz, Profesora Sara Ojeda, Profesor Fernando Salas y por supuesto a Profesor Víctor Inostroza, por demostrarme su apoyo y confianza desde el momento en que lo conocí aportando con su gran experiencia para prepararme en esta última etapa como estudiante, muchas gracias a todos.

Agradecer también a quienes me ayudaron en la experiencia en laboratorio, don Enrique y don Víctor, por su amabilidad, simpatía y buena disposición.

Mis queridas Emperatriz y Fabiola, gracias por ayudarme siempre con mis dudas, consultas y prestándome la mejor atención, aconsejándome siempre para poder lograr mis objetivos, muchas gracias.

Por último y no menos importante, a mis compañeros y amistades que construí lo largo de mi experiencia como universitario. Muchas personas pasaron por esta etapa, personas valiosas que estuvieron en algún momento en este camino conmigo, a mis primeros amigos Paulina Valle, Paulina Cárdenas, Pamela Araya, Joselín Arancibia, Leo Veliz gracias por su amistad y su compañerismo a lo largo de todo este tiempo. A Juan Novoa y Fabiola Gutiérrez en especial, que gracias a su ayuda y amistad no abandone en ningún momento, gracias amigos míos por aportar con sus conocimiento en mi vida.

También a mis compañeros y nuevas amistades, Pao, Cindy, Cristofer, Fernanda, Miguel, Lore. Gracias por dejar integrarme a ustedes, ayudarme con mis dudas, con sus consejos y por aportar con su cariño a mi vida.

Muchas Gracias a todos.

Índice

ÍNDICE DE TABLAS.....	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
LISTADO DE ABREVIATURAS Y SIGLAS.....	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	13
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.2 HIPÓTESIS	18
1.3 OBJETIVOS.....	18
1.4 ALCANCES	18
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	20
2.1 INTRODUCCIÓN.....	20
2.2 CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN	20
2.3 HORMIGÓN FRESCO.....	23
2.4 HORMIGÓN ENDURECIDO	26
2.5 DURABILIDAD	27
2.6 RETRACCIÓN	28
2.6.1 Tipos de retracción	29
2.6.2 Factores que afectan la retracción	30
2.7 RETRACCIÓN PLÁSTICA	31
2.7.1 Exudación.....	32
2.7.2 Fisuración.....	33
2.8 CURADO Y CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO.....	34
2.9 POLÍMEROS NATURALES	35
2.10 MUCÍLAGO DE NOPAL	36
2.10.1 Generalidades	36
2.10.2 Composición química del mucílago de nopal.....	37
2.10.3 Mucílago de nopal en el Hormigón	38
CAPÍTULO III: DISEÑO EXPERIMENTAL Y METODOLOGÍA A APLICAR	40
3.1 INTRODUCCIÓN.....	40
3.2 PLAN DE TRABAJO	40
3.3 VARIABLES DE ESTUDIO	40
3.3.1 Variables Independientes	41
3.3.2 Variables Dependientes	45
3.3.2.1 Características de los ensayos a realizar	45
3.4 ENSAYO DE FISURACIÓN	49
3.4.1 Metodología de ensayo de fisuración.....	49
3.4.2 Mediciones.....	52

3.4.3	Equipos	52
3.5	FACTORIAL DE ENSAYO	53
4.7	PLAN METODOLÓGICO	54
CAPÍTULO IV: CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES A UTILIZAR		56
4.1	INTRODUCCIÓN.....	56
4.2	MATERIALES A UTILIZAR	56
4.2.1	Cemento.....	56
4.2.2	Agua.....	56
4.2.3	Áridos.....	56
4.2.4	Mucílago de Nopal.....	57
4.2.4.1	Características del aditivo propuesto	57
CAPÍTULO V: DESARROLLO EXPERIMENTAL		60
5.1	INTRODUCCIÓN.....	60
5.2	GRANULOMETRÍA DE ÁRIDOS.....	60
5.2.1	Áridos.....	60
5.2.1.1	Granulometría Grava	61
5.2.1.2	Granulometría Arena	62
5.2.1.3	Árido Combinado (Mezcla de arena y grava)	63
5.2.1.4	Densidades aparentes de los áridos	64
5.3	DISEÑO DEL HORMIGÓN	66
5.4	REALIZACIÓN DE ENSAYOS.....	68
5.4.1	Exudación.....	68
5.4.2	Compresión	70
5.4.3	Fisuración.....	72
5.4.4	Asentamiento de cono.....	74
CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y ANÁLISIS DE ESTUDIO		76
6.1	INTRODUCCIÓN.....	76
6.2	PRIMERA ETAPA: HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO	76
6.2.1	Asentamiento de cono	76
6.2.1.1	Propiedades y resultados	76
6.2.2	Exudación.....	79
6.2.2.1	Propiedades y resultados	79
6.2.3	Fisuración.....	81
6.2.3.1	Propiedades y resultados	81
6.3	SEGUNDA ETAPA: HORMIGÓN EN ESTADO ENDURECIDO.....	88
6.3.1	Generalidades.....	88
6.3.2	Resistencia a la compresión.....	89
CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES		93
7.1	GENERALIDADES	93
7.2	RESULTADOS Y CONCLUSIONES DE LA EXPERIENCIA	93
7.3	USO DEL HORMIGÓN CON ADITIVO DE MUCÍLAGO DE NOPAL	94
7.4	PROPUESTAS FUTURAS INVESTIGACIONES.....	94

BIBLIOGRAFÍA	95
ANEXOS	97
ANEXO N°1: GRANULOMETRÍA	98
ANEXO N°2: CARACTERÍSTICAS DE LOS ÁRIDOS	100
ANEXO N°3: DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN	104
ANEXO N°4: EXUDACIÓN DEL HORMIGÓN	106
ANEXO N°5: FISURACIÓN DEL HORMIGÓN	110

Índice de Tablas

TABLA	PÁGINA
<i>3.1: Adiciones de mucílago de nopal por hormigón</i>	41
<i>3.2: Tabla registro según norma ASTM C 232</i>	46
<i>3.3: Factorial de ensayo</i>	53
<i>4.1: Características del nopal</i>	58
<i>5.1: Granulometría grava</i>	61
<i>5.2: Granulometría arena</i>	62
<i>5.3: Granulometría árido combinado</i>	63
<i>5.4: Características de los áridos</i>	65
<i>5.5: Diseño de hormigones</i>	66
<i>5.6: Dosificación de hormigón para 1 m³</i>	67
<i>5.7: Dosificación de hormigón por colada</i>	67
<i>6.1: Muestra promedio asentamiento en hormigones tipo</i>	77
<i>6.2: Resumen valores de exudación</i>	79
<i>6.3: Comparación de áreas de fisuras en mm²</i>	81
<i>6.4: Numero de fisuras de hormigones tipo</i>	82
<i>6.5: Resultados generales fisuración</i>	83
<i>6.6: Variables estudiadas por hormigón tipo</i>	85
<i>6.7: Hormigón más desfavorable</i>	87
<i>6.8: Resultado resistencia a compresión por cada hormigón tipo en estudio</i>	89

Índice de Figuras

FIGURA	PÁGINA
1.1: <i>Fisura por retracción plástico</i>	14
1.2: <i>Fisura por retracción hidráulica</i>	14
2.1: <i>Fisuras por retracción plástica en losa de hormigón</i>	32
2.2: <i>Migración de agua por exudación</i>	33
2.3: <i>Opuntia ficus indica</i>	36
3.1: <i>Corte de la penca de tuna</i>	42
3.2: <i>Reposo en agua de los cortes de tuna</i>	42
3.3: <i>Primer proceso de filtrado</i>	43
3.4: <i>Segundo proceso de filtrado</i>	44
3.5: <i>Asentamiento de cono de Abrams</i>	47
3.6: <i>Encofrado para utilizar en ensayo de fisuración</i>	50
3.7: <i>Ventilador</i>	50
3.8: <i>Ampolleta infrarroja</i>	50
3.9: <i>Ensayo de fisuración</i>	51
4.1: <i>Mucílago de nopal</i>	57
5.1: <i>Granulometría grava</i>	60
5.2: <i>Granulometría grava (2)</i>	61
5.3: <i>Granulometría arena</i>	62
5.4: <i>Granulometría árido combinado</i>	64
5.5: <i>Equipo para caracterizar los áridos</i>	64
5.6: <i>Ensayo de exudación</i>	68
5.7: <i>Recolección agua de exudación</i>	69
5.8: <i>Moldes ensayo de compresión</i>	70
5.9: <i>Hormigón en molde ensayo de compresión</i>	70
5.10: <i>Probetas para ensayar compresión</i>	71
5.11: <i>Curado de probetas</i>	71
5.12: <i>Hormigón para el ensayo de fisuración</i>	72
5.13: <i>Ensayo de fisuración</i>	73
5.14: <i>Anemómetro utilizado</i>	73
5.15: <i>Termómetro utilizado</i>	73
5.16: <i>Medición fisuras por retracción plástica</i>	74
5.17: <i>Asentamiento de cono</i>	74
6.1: <i>Asentamiento cono de Abrams</i>	77
6.2: <i>Asentamiento cono de Abrams, %</i>	78
6.3: <i>Gráfico cantidad de agua acumulada</i>	80
6.4: <i>Grafico resumen de desarrollo de exudación en el tiempo</i>	80
6.5: <i>Áreas de fisura en cada tipo de hormigón</i>	82
6.6: <i>Cantidad total de fisuras en tipos de hormigón</i>	83
6.7: <i>Disminución porcentual de fisuras en cada tipo de hormigón de acuerdo a su área</i>	84
6.8: <i>Disminución porcentual de fisuras en cada tipo de hormigón de acuerdo a su número</i>	84
6.9: <i>Efecto de la temperatura del hormigón y del aire, la humedad relativa y la velocidad del viento sobre la rapidez de evaporación de la humedad superficial del hormigón</i>	86
6.10: <i>Resistencia a compresión promedio en hormigón tipo</i>	90
6.48: <i>Resistencia relativa a compresión de hormigón tipo en estudio</i>	91

Listado de abreviaturas y siglas

°C: Grados Celsius

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials

ASTM: American Society for Testing and Materials

Dn: Tamaño máximo nominal del árido

E: Módulo de elasticidad

Fc: Resistencia a la compresión

g: Gramos

GP: Hormigón patrón (Hormigón de 300 kgf/cm² sin aditivo)

G30-1: Hormigón de 300 kgf/cm² con 1,3% de mucílago de nopal como aditivo

G30-2: Hormigón de 300 kgf/cm² con 1,95% de mucílago de nopal como aditivo

G30-3: Hormigón de 300 kgf/cm² con 2,6% de mucílago de nopal como aditivo

ICH: Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile

IDIEM: Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales

Kg: Kilogramos

m: Metros

m²: Metros cuadrados

m³: metros cúbicos

mm: Milímetros

Mpa: Mega Pascales

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo evaluar la incorporación de mucílago de nopal como aditivo a la mezcla del hormigón para poder disminuir las fisuras por retracción plástica. El estudio propone determinar su efecto mediante la adición de 3 porcentajes de mucílago de nopal (1,3%; 1,95% y 2,6%) y crear 3 hormigones tipo para poder contrastar resultados mediante los ensayos de *asentamiento según NCh 1019; exudación según ASTM C 232; fisuración, la cual contó con una metodología propia y compresión, según NCH 1037.*

Los resultados obtenidos, permiten afirmar que al añadir el mucílago de nopal como aditivo, se produce una disminución en la exudación del hormigón desde la primera incorporación del aditivo propuesto, llegando a disminuir en un 20% con la adición de 2,6% de mucílago.

Además, se observó que a mayor cantidad de mucílago incorporado, menor es el asentamiento del hormigón y con ello, se apreció un aumento en la cohesión.

En cuanto a lo que respecta el objetivo principal de esta investigación que fue el observar si se generan fisuras por retracción plástica en los hormigones de estudio, se afirma que el mucílago de nopal ayuda a disminuir las fisuras por retracción plástica a medida que se le añade el aditivo, llegando hasta un 100% de disminución de fisuras con la adición de 2,6% de aditivo.

Finalmente, la resistencia mecánica a lo que respecta el ensayo de compresión aumento considerablemente llegando a un 40% sobre la resistencia del hormigón patrón. Valor obtenido en el hormigón de clasificación G30 con una adición de 2,6% de mucílago de nopal.

Queda manifestado en esta investigación que la adición de mucilago de nopal al hormigón como aditivo, presenta beneficios en cuanto a la reducción de fisuras y aumento de resistencia.

Palabras claves: *Mucílago de nopal, retracción plástica, hormigón en estado fresco, aditivo natural, fisuración a edades tempranas.*

Abstract

The objective of this research is to evaluate the incorporation of cactus mucilage as an additive to the concrete mixture in order to decrease the cracks due to plastic shrinkage. The study proposes to determine its effect by adding 3 percentages of cactus mucilage (1.3%, 1.95% and 2.6%) and to create 3 type concretes to be able to contrast results, by means of settlement tests according to NCh 1019 ; exudation according to ASTM C 232; cracking which had its own methodology and compression, according to NCH 1037.

The obtained results allow to affirm that when adding the cactus mucilage as an additive there is a decrease in the exudation of the concrete from the first incorporation of the proposed additive, reaching to decrease by 20% with the addition of 2.6.

In addition, it was observed that the greater the amount of incorporated mucilage, the smaller the settlement of the concrete, but with this an increase in cohesion was appreciated.

Regarding the main objective of this research was to observe if cracks are generated by plastic shrinkage in the study concretes, it is affirmed that the cactus mucilage helps to diminish the cracks by plastic shrinkage as it is added the additive reaching a 100% decrease in cracks with the addition of 2.6% additive.

Finally, the mechanical strength with respect to the compression test increased considerably, reaching 40% on the strength of the standard concrete. Value obtained in G30 concrete with an addition of 2.6% of cactus mucilage.

It is stated in this research that the addition of cactus mucilage to concrete as an additive has benefits in terms of reducing cracks and increasing resistance.

Key words: *Nopal mucilage, plastic shrinkage, fresh concrete, natural additive, cracking at early ages.*

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

El hormigón es uno de los materiales de construcción más utilizados en el mundo para numerosas estructuras. Esto es debido a su bajo costo en el mercado y la fácil disposición de todas las materias primas que lo componen (Puig, 2011).

El proceso de hormigonado cuenta con etapas que se deben seguir. La primera de ellas es elaborar el hormigón con todos sus componentes con la dosificación deseada, luego se vierte dentro del encofrado respectivo. Se realiza la compactación para que la mezcla se distribuya por todos los rincones del encofrado, luego viene el curado del hormigón el cual aporta hidratación y por último el descimbre del hormigón. El proceso de curado, es de gran importancia para la realización de un producto final de calidad, pero también es el responsable de un mal resultado si no se realiza de forma correcta (Gaibur, 2016).

Cabrerizo (2012) afirmó que ante un efecto anormal, las estructuras reaccionan con diferentes señales o signos externos que permiten conocer la enfermedad de una edificación. De la misma manera, pueden orientar sobre las causas que han motivado esas señales o signos externos que podrían provenir de deficiencias en el proyecto, en la ejecución, en el uso, en la conservación de causas de tipo accidental y, por consiguiente, en la mayoría de los casos, no previsible.

Las enfermedades en las estructuras se manifiestan con una sintomatología muy variada (cambios de coloración, degradación, aumento de volumen, óxido de la armadura del hormigón, fisuración, etc.). Ante estos síntomas se debe de establecer un diagnóstico de la enfermedad que padece. En el caso de las estructuras de hormigón reforzado, la fisuración representa uno de los síntomas patológicos más importantes de su comportamiento en servicio, y tal vez por esta razón la fisuración sea actualmente uno de los síntomas más elocuentes de las enfermedades del hormigón reforzado o en masa y que en muchos casos va a permitir al técnico experimentado conocer el motivo que la ha producido y la gravedad que presente este estado en un caso específico (Amariles, 2001)

En todas las construcciones en las que interviene el hormigón aparecen fisuras que pueden manifestarse al cabo de años, semanas o algunos casos horas. Las causas de la fisuración pueden ser muy variadas y su detección no siempre es fácil; sin embargo, su conocimiento es importantísimo para saber por qué se ha producido el fenómeno, al fin de repararlo o aplicar el tratamiento apropiado. La fisuración puede deberse en su totalidad y casi

exclusivamente a las siguientes causas: Retracción, entumecimiento, variaciones de temperatura, excesos de carga, errores de ejecución, asentamientos diferenciales (Cabrerizo, 2012).

Munizaga (2009) definió la retracción como un fenómeno intrínseco del hormigón, que está relacionado con la pérdida paulatina del agua en la mezcla. El fenómeno en cuestión, se refiere a que el hormigón experimenta variaciones de volumen, dilataciones o retracciones durante su vida útil por causas físico químicas. La idea más importante que debe retenerse es que la retracción no es una fuerza impuesta si no que es una deformación impuesta al hormigón que provoca tensiones de tracción.

Cuando el hormigón está en proceso de fraguado o principio de endurecimiento, pueden aparecer fisuras importantes, las que deben tener un tratamiento diferente al de las fisuras del hormigón endurecido, traduciéndose a diferentes retracciones (Figura 1.1 y Figura 1.2). Ambas retracciones producen reducciones de los elementos de la estructura que se traducirán en fisuras, si uno de los elementos se encuentra impedido de deformarse. Se debe tener en cuenta que este fenómeno juega un papel importante, no solo en la rigidez del elemento estructural considerado sino también en el conjunto de la estructura que lo afecta (Cabrerizo, 2012).



Figura 1.1: Fisura por retracción plástica
Fuente: NRMCA, 2008

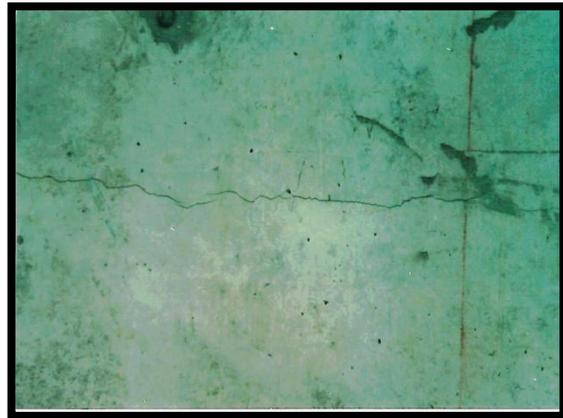


Figura 1.2: Fisura por retracción hidráulica
Fuente: Fisuras no estructural en el hormigón, 2012

Barlow (1993) comenta que la fisuración del hormigón es atribuible a numerosas causas. Pero también puede indicar fallas estructurales significativas o falta de durabilidad. Las fisuras pueden representar la totalidad del daño, pero también pueden señalar problemas de mayor magnitud. Su importancia depende del tipo de estructura, como así también de la naturaleza de la fisuración.

Grant et al. (1993) evaluaron la fisuración por retracción plástica, como la pérdida de humedad muy rápida provocada por una combinación de factores que incluyen las temperaturas del aire y el hormigón, la humedad relativa y la velocidad del viento en la superficie del hormigón. Estos factores pueden combinarse de manera de provocar niveles altos de evaporación superficial tanto en clima caluroso como en clima frío, por otro lado, también se asocia a unas características específicas, tanto de la composición del hormigón, como de la disposición de la armadura.

Esta fisuración actúa sobre la superficie expuesta del hormigón recién colocado provocando un secado rápido antes de que este sea capaz de alcanzar valores de la resistencia que puedan absorber las tensiones internas que se generan. Estas fisuras se forman, en general, sin ningún patrón definido. Pueden ocurrir a causa de la exudación, o de las condiciones ambientales descritas anteriormente.

Son de longitud relativamente corta y suelen ramificarse; su abertura en la superficie es variable pero decrece hacia los estratos inferiores y, en el caso de pavimentos, no siempre los atraviesan totalmente; después de producidas, las fisuras permanecen estabilizadas indefinidamente. Su profundidad va entre milímetros a centímetros; mientras que la anchura se sitúa entre 0,1 a 3 mm.

Aparte de su efecto estético y contractual, las fisuras permiten la entrada de humedad y difusión de oxígeno capaces de corroer la armadura y a su vez promover la degradación estructural disminuyendo así, la vida de la misma. Las estructuras con relaciones altas de área superficial/espesor (losas en pavimentos, tableros de puentes, canales de irrigación, túneles, elementos paneles prefabricados, etc.) son el tipo de estructura que resulta más susceptible a sufrir este tipo de fisuración.

Los avances científicos asociados con las construcciones de hormigón se han centrado en el desarrollo de nuevas tipologías de hormigones, como los hormigones autonivelantes, hormigones autocompactantes y los hormigones de alta resistencia. El desarrollo de nuevos aditivos, y el empleo de fibras de refuerzo permiten alcanzar prestaciones capaces de satisfacer los requisitos más ambiciosos (Garín et al., 2012).

Según Aïtcin (1998) el principal factor que ha permitido el desarrollo de nuevos tipos de hormigones es la implementación de aditivos reductores de agua de alto rango. Con estos se ha posibilitado el empleo de razones agua/cemento (A/C) muy bajas (menor a 0.35 en el caso de hormigón de alta resistencia) lo que trae consigo el mejoramiento no sólo de la resistencia a compresión sino de otras propiedades como el módulo de elasticidad, resistencia a la flexión, permeabilidad y resistencia a la abrasión.

A partir del Modelo de Powers (1947) se concluye que a menor A/C, menor es la porosidad capilar. Por otro lado, del mismo modelo se puede observar que a A/C bajas puede no existir suficiente agua para hidratar todo el cemento. De lo anterior se tiene que al momento de mezclado se requiere de una A/C lo más baja posible, pero al cabo de un tiempo cuando el agua se ha acabado se requiere de agua adicional para continuar con la hidratación (Bentz y Snyder, 1999).

En la intención de reducir estas fisuras se puede actuar tanto internamente en el material como en las condiciones externas. Si hablamos de internamente es claro el modificar la mezcla del hormigón adicionando algún tipo de aditivo o fibra para minimizar las fisuras. En el caso de las condiciones externas, suelen plantearse mediante agua, líquido de curado o sistemas alternativos.

Cárdenas et al. (1997) trabajaron con una sustancia llamada mucílago de nopal en mortero de cal. El mucílago de nopal, es la savia extraída de la planta de nopal, la que es usada en varios países como México, España, Estados Unidos, Chile, etc. por sus propiedades aglutinantes en adobes y pinturas, infiltradores de suelo entre otros. Tradicionalmente, se ha empleado de modo similar al yeso en paredes de adobe y de ladrillo; y también como una barrera al agua en el estuco. En caso de aplicarse a una vivienda, este impermeabilizante hecho a base de nopal, protege la construcción de la humedad del ambiente, del agua y de los insectos.

Chandra et al. (1998) investigaron el efecto que tiene el extracto de nopal en las propiedades de mortero y hormigón común. Demostraron que el mucílago de nopal interacciona con los productos de la hidratación del cemento, reduce el tamaño y cantidad de los cristales de hidróxido de calcio. El mucílago de nopal posee propiedades retardantes, lo cual retrasó el desarrollo de la resistencia a edad temprana, pero la resistencia a la compresión a los 28 días fue mayor en los especímenes de referencia, y al sobrepasar los 90 días los especímenes con solución de nopal sobrepasaron notablemente la resistencia alcanzada por los especímenes de referencia.

Cano et al. (2005) continuaron los estudios para utilizar el mucílago de nopal como agente modificador de viscosidad. Fue efectivo para incrementar la viscosidad de la pasta de cemento con lo que también se incrementó su resistencia y redujo su absorción del agua capilar.

García (2007) investigó la incorporación de un aditivo retardante de fraguado con similares características a las que hemos mencionado del mucílago de nopal en mezclas de hormigón con fibra sintética para la reducción de las fisuras por retracción plástica, llegando a la conclusión que si había una mejora de hasta un 50% en la disminución de fisuras ya que el aditivo ayuda a mantener una película de agua en la superficie y las fibras se adhieren al concreto de tal manera que ayudan a que el agua que sale del hormigón por capilaridad no produzcan tensiones que puedan causar las fisuras.

Dado los estudios de aditivos reductores, retardantes y estudios sobre el mucílago de nopal, se distingue la posibilidad de incorporar esta sustancia a la mezcla del hormigón. Las investigaciones sugieren que el mucílago de nopal mejora las características físicas de las pastas de cemento y morteros. Debido a los beneficios que brinda para modificar la viscosidad de soluciones acuosas, se propone extraer el mucílago y la solución viscosa que se obtendría podría ser una opción para ayudar a disminuir las fisuras por retracción plástica.

La cuantificación experimental de la potencial fisuración por retracción plástica no es un tema sencillo, por lo que de los diversos métodos que existen no tienen una aceptación universal. Los ensayos de laboratorio con frecuencia utilizan probetas de menor tamaño, aunque en otras ocasiones se han realizado probetas de grandes dimensiones. En ellas se plantean restricciones según los ejes de las probetas o bien en la superficie de las mismas (San Juan y Moragues, 1994).

En la era actual, se demanda que la producción de cemento y de algunos aditivos químicos se efectúen con el consumo mínimo de energía y que sus subproductos no sean agresivos al medio ambiente. Existen en el mercado diferentes aditivos químicos que permiten mejorar las propiedades del hormigón en estado fresco y sólido (Rixom y Mailvaganam, 1999). Sin embargo, en Chile estos aditivos son de importación y su costo los hacen poco competitivos en nuestro medio. Por lo anterior es necesario sustituir los aditivos químicos producidos sintéticamente por aditivos naturales, con el objetivo de minimizar los contaminantes y costos de producción. Una opción es utilizar polímeros naturales como es el caso del mucílago de nopal, el cual puede contribuir a mejorar las propiedades del hormigón en estado fresco y endurecido.

En Chile, existen unas 1500 hectáreas plantadas con nopal, el 90% de las cuales se encuentra en la localidad del Til Til, distante unos 50 kilómetros al norte de Santiago, y de las cuales sólo se obtienen tunas. Si consideramos su uso en la industria de la construcción, puede tener un impacto social ya que de esta manera se le proporciona un valor agregado a la producción de esta planta y mejorar su rentabilidad en el país. Chile presenta uno de los climas más privilegiados del planeta, si bien esta planta crece en climas áridos y semiáridos, en la región de Valparaíso se cultiva sin ningún problema por lo que existe una amplia disponibilidad de esta planta y por lo tanto es factible su uso de manera económica.

Dadas las justificaciones anteriores nos lleva a la pregunta ¿incluir mucílago de nopal en la mezcla de hormigón con cemento portland puzolánico como aditivo natural, permite la elaboración de un material capaz de reducir la retracción plástica?, es por esto que en esta investigación y aprovechando las características que presenta el mucílago de nopal, es que se pretende elaborar un hormigón y al ejecutar los ensayos correspondientes, permitan dar a conocer si al añadirlo como aditivo natural pueda ser considerada como una solución al problema de las fisuras por retracción plástica.

1.2 Hipótesis

La adición de mucílago de nopal en mezclas de hormigón contribuye a disminuir la exudación y la fisuración por retracción plástica.

1.3 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar la influencia de la adición del mucílago de nopal en la fisuración por retracción plástica de hormigones.

1.4.2 Objetivos específicos

- Caracterizar el comportamiento del hormigón en estado fresco con inclusiones de mucílago de nopal como aditivo.
- Diseñar una metodología para evaluar el efecto del mucílago de nopal como aditivo para contrarrestar las fisuras por retracción plástica de hormigones.

1.4 Alcances

Se utilizarán la planta cactácea opuntia ficus-indica nativas de la localidad de Villa Alemana ubicada en la región de Valparaíso.

Se utilizarán equipos disponibles en los laboratorios de la escuela de Construcción civil de la Universidad de Valparaíso para la realización de ensayos.

Las fisuras por retracción plástica son muy comunes en hormigones con superficies amplias como son losas y pavimento, por lo que se trabajará con hormigón diseñado idealmente para pavimentos, esto para poder simular la realidad de esta patología.

Este estudio está limitado al análisis de hormigones realizados con cemento portland puzolánico grado corriente, cualquier análisis o conclusión resultantes de esta investigación, sobre material cementante sin generalizar, se refiere sólo a este tipo de material.

Tamaño nominal máximo para este estudio es de 20 mm.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción

Se presenta un profundo estudio bibliográfico obteniendo una gran cantidad de información teórica sobre el planteamiento del problema, abarcando los temas más importantes de esta investigación como es la del hormigón, sus características, clasificación de materiales, elaboración, y aditivos para modificar y generar un material de mejores características. También los temas de relevancia en esta investigación como son las fisuras, la retracción plástica del hormigón y la sustancia que se propone para solucionar el problema como es el mucilago de nopal.

2.2 Características del hormigón

2.2.1 Hormigón

El hormigón es una mezcla de dos componentes: áridos y pasta de cemento. La pasta compuesta de cemento portland, agua y aire atrapado o aire incluido intencionalmente, une a los áridos (arena y grava o piedra triturada), para formar una masa compacta pues la pasta endurece debida a la reacción química entre el cemento y el agua. A la mezcla de estos materiales se le puede añadir otros productos para mejorar características determinadas.

Comúnmente, la pasta de cemento constituye entre el 25 al 40% del volumen total del hormigón, por su parte los áridos constituyen del 60 al 75% por lo cual su selección debe hacerse con especial cuidado. Para tener un uso eficiente de la pasta de cemento y agua, es deseable contar con una granulometría continua de tamaños de partículas (Metha, 1998).

2.2.2 Cemento

El cemento según la NCh148 Of 68 "Cemento – Terminología, clasificación y especificaciones generales", es un material pulverizado que por adición de una cantidad conveniente de agua forma una pasta conglomerada capaz de endurecer tanto bajo el agua como en el aire.

Los cementos se obtienen de la molienda de componentes básicos y adiciones entre los que se cuentan yeso, clínker y adiciones (en algunos casos).

El cemento más comúnmente usado para hacer hormigón es el cemento portland, que está compuesto principalmente por silicatos de calcio hidráulicos. Los hidratos de silicato de calcio que

se forman con la hidratación del cemento portland son responsables principalmente de sus características adherentes y son estables en un medio acuoso. El cemento portland básicamente es el resultado de la molienda conjunta de clínker y yeso.

El clínker está compuesto principalmente por materiales calcáreos, como caliza, alúmina y sílice, que se encuentran como arcilla o pizarra. En el proceso de fabricación, la materia prima es molida finamente y mezclada minuciosamente en una determinada proporción, luego es calcinada a altas temperaturas donde el material se sintetiza y se funde parcialmente, formando bolas conocidas como clínker. El clínker a su vez, se enfría y se muele en combinación con un poco de yeso hasta obtener un polvo fino; y finalmente el producto resultante es el cemento portland.

2.2.3 Áridos

El árido utilizado es un material granular compuesto por partículas de origen pétreo de diferentes tamaños, duro y estable, cuyo objetivo básico es constituir un esqueleto inerte para el hormigón. Generalmente se integra mediante dos o más fracciones, cada una de las cuales contiene una gama diferente de tamaños de partículas.

Generalmente los áridos los podemos clasificar en gruesos y finos. Las arenas corresponden a un árido fino y la NCh 163 define como arena al árido que pasa a lo menos el 95% por el tamiz de abertura nominal 5 milímetros. Las gravas corresponden a un árido grueso y la norma ya mencionada la considera como árido que es retenido en un 95% en dicha malla. Su selección es muy importante, ya que no deben contener materiales que puedan causar deterioros como materia orgánica, arcillas y sales entre otros (Zabaleta, 1992).

2.2.4 Agua

El agua en el hormigón es uno de sus componentes principales, condicionando el desarrollo de las propiedades en su estado fresco y en su etapa de endurecimiento. Dentro de las funciones del agua como material componente del hormigón podemos mencionar que contribuye a proporcionar docilidad al hormigón fresco y también hidrata los componentes del cemento.

Los requisitos que debe cumplir el agua de amasado en la mezcla del hormigón están establecidos en la NCh 1498 Of 2012.

2.2.5 Aditivos

Estos son productos (orgánicos e inorgánicos) que, introducidos en pequeñas porciones en el momento de la fabricación del hormigón, permiten modificar algunas de sus propiedades originales, a fin de permitir que sean más adecuados al trabajo que se está efectuando. Facilitan la colocación del hormigón o mortero y reducir los costos de operación. Se presentan en forma de polvo, líquido o pasta y la dosis varía según el producto y el efecto deseado, respetando las indicaciones del fabricante, las dosis varían entre un 0,1% y 5% del peso del cemento.

En la decisión sobre su empleo debe considerarse que su utilización puede ser única alternativa para lograr los resultados deseados y los objetivos pueden lograrse, con mayor economía y mejores resultados, por cambios en la composición o proporciones de mezcla.

Una clasificación de aditivos en función de sus efectos no es fácil debido a que ellos pueden ser clasificados genéricamente o con relación a los efectos característicos derivados de su empleo, pueden modificar más de una propiedad del hormigón, así como los diversos productos que existen en el mercado no cumplen las mismas especificaciones. En la clasificación debe considerarse las múltiples posibilidades derivadas del empleo de aditivos, el constante desarrollo de materiales nuevos o modificadores de los ya conocidos, y la variación de los efectos con los diferentes materiales integrantes del hormigón, son factores que impiden presentar una clasificación demasiado extensa

La NCh 2182 Of 95 –Hormigón y mortero – Aditivos - Clasificación y requisitos, establece los requisitos de los aditivos que se agregan al hormigón y mortero durante su fabricación. Dentro de lo que la norma se refiere, los aditivos se clasifican en los siguientes 8 tipos:

Tipo A: Aditivos plastificantes.

Tipo B: Aditivos retardadores.

Tipo C: Aditivos aceleradores.

Tipo D: Aditivos plastificantes y retardadores.

Tipo E: Aditivos plastificantes y aceleradores.

Tipo F: Aditivos superplastificantes.

Tipo G: Aditivos superplastificantes y retardadores.

Tipo H: Aditivos incorporadores de aire.

Según la recopilación de antecedentes, se describen dos tipos de aditivos los que, dadas sus características, mejoran las características del hormigón y disminuirían el fenómeno de retracción plástica y por lo tanto ayudarían a disminuir las fisuras. Los otros aditivos restantes mencionados anteriormente no son descritos por no ser relevantes en esta investigación.

Los aditivos plastificantes, disminuyen la necesidad de agua para una mezcla de hormigón al reaccionar químicamente con los primeros productos de hidratación, para producir una capa monomolecular en la interfase de agua/cemento que lubrica la mezcla y expone más partículas de cemento para la hidratación. El aditivo tipo A permite que la cantidad de agua se reduzca mientras que mantiene el mismo asentamiento de la mezcla; si la cantidad de agua no se reduce, el aditivo aumentara el asentamiento de la mezcla, y también la resistencia del hormigón porque más del área superficial del hormigón quedara expuesta para la hidratación, ocurre lo mismo para los aditivos tipo D y tipo E.

Los aditivos retardadores, se emplean para retardar el fraguado inicial del hormigón. Un aditivo tipo B o D permiten transportar el hormigón durante un tiempo más largo antes que se presente el fraguado inicial; el fraguado final también se retarda.

Dependiendo de la dosificación y tipo de químicos base en el aditivo, el fraguado inicial se puede retardar durante varias horas o varios días. Un efecto lateral benéfico del retardador de los fraguados inicial y final es un aumento en la resistencia compresiva del concreto. Un aditivo tipo D que se utiliza comúnmente proporciona resistencias más altas a los 7 y 28 días que un aditivo tipo A, cuando se usa en el mismo diseño de mezcla.

2.3 Hormigón fresco

El hormigón fresco es un material esencialmente heterogéneo, puesto que en él coexisten tres fases: la sólida (áridos y cemento), la líquida (agua) y la gaseosa (aire incluido). A su vez, la fase sólida es heterogénea entre sí, ya que sus granos son de naturaleza y dimensión variables.

Muchas de las propiedades exigibles a un hormigón endurecido dependen de las propiedades de éste cuando se encuentra en estado fresco. La característica que debe tener una mezcla fresca dependerá de las características de la estructura a construirse y de los métodos de colocación y compactación disponibles.

2.3.1 Docilidad del hormigón fresco

La docilidad, concepto de difícil definición, puede considerarse como la aptitud de un hormigón para ser puesto en obra con los medios de compactación de que se disponen, siempre que no se produzca segregación o manteniendo su homogeneidad de la mezcla, condición indispensable para un producto de buena calidad. Esta trabajabilidad del hormigón está relacionada con su consistencia, con su homogeneidad en la mezcla, con la trabazón de sus distintos componentes y con la mayor o menor facilidad que la masa presente para eliminar los huecos de la misma (aire ocluido), alcanzando una compacidad máxima. La docilidad depende, entre otros factores, de los siguientes:

- De la cantidad de agua de amasado. Cuanto mayor sea ésta, mayor será la docilidad (hasta cierto límite).
- De la granulometría de los áridos, siendo más dóciles los hormigones cuyo contenido en arena es mayor. Pero por otra parte, a más cantidad de árido fino corresponde más agua de amasado necesaria y, por tanto, menor resistencia. Por ello las relaciones que indicamos no pueden extrapolarse más allá de ciertos límites.
- La docilidad es mayor con áridos redondeados que con áridos procedentes de machaqueo.
- El empleo de un plastificante aumenta la docilidad del hormigón, a igualdad de las restantes características.

2.3.2 Homogeneidad en la mezcla del hormigón fresco

Es la cualidad por la cual los diferentes componentes del hormigón aparecen regularmente distribuidos en toda la masa, de manera tal que dos muestras tomadas de distintos lugares de la misma resulten prácticamente iguales. La homogeneidad de la mezcla se consigue con un buen amasado y, para mantenerse, requiere un transporte cuidadoso y una colocación adecuada.

La homogeneidad de la mezcla puede perderse por segregación (separación de los gruesos por una parte y los finos por otra) o por decantación (los granos gruesos caen al fondo y el mortero queda en la superficie, cuando la mezcla es muy líquida). Ambos fenómenos aumentan con el contenido de agua, con el tamaño máximo del árido, con las vibraciones o sacudidas durante el transporte y con la puesta en obra en caída libre.

2.3.3 Masa específica del hormigón fresco

Un dato de gran interés como índice de la uniformidad del hormigón en el transcurso de una obra, es la masa específica (densidad) del hormigón fresco, sea sin compactar, sea compactado. La variación de cualquiera de ambos valores, que repercute en la consistencia, indica una alteración de la granulometría de los áridos, del contenido en cemento o del agua de amasado, por lo que debe dar origen a las correcciones oportunas. Unos valores medios de la masa específica en función del tamaño máximo del árido.

2.3.4 Tiempo de fraguado

Cement and Concrete Terminology, define al fraguado como la condición alcanzada por una pasta cementicia, mortero u hormigón que ha perdido plasticidad hasta un nivel arbitrario, generalmente medido en términos de la resistencia a la penetración; fraguado inicial se refiere a la primera rigidización; fraguado final se refiere a una rigidez significativa; también, deformación remanente luego de retirada la tensión (Barreda, 2008).

El tiempo de fraguado es un periodo en el cual mediante reacciones químicas del cemento y el agua conducen a un proceso, que mediante diferentes velocidades de reacción, generan calor y dan origen a nuevos compuestos, estos en la pasta de cemento generan que este endurezca y aglutine al agregado de la mezcla de hormigón, y se ponga fuerte y denso, adquiriendo de este modo una cierta resistencia, este tiempo es de suma importancia debido a que nos permite colocar y acabar el hormigón. Típicamente, el fraguado inicial ocurre entre dos y cuatro horas después del hormigonado, y nos define el límite de manejo, o sea el tiempo por el cual el hormigón fresco ya no puede ser mezclado adecuadamente, colocado y compactado, el fraguado final ocurre entre cuatro y ocho horas después del hormigonado, y está definido por el desarrollo de la resistencia, que se genera con gran velocidad.

El fraguado inicial indica el momento en el que la masa ha adquirido tanta rigidez que no puede ser vibrado sin dañar su estructura interna. Por lo tanto, el conocimiento del comportamiento de fraguado del hormigón es esencial, para planear los tiempos de acabado de un pavimento. En la ejecución de la contracción de los pavimentos de hormigón el tiempo de fraguado del hormigón adquiere gran importancia. El aserrado se debe coordinar con el tiempo de fraguado del hormigón. Se debe empezar tan pronto como el hormigón haya endurecido para prevenir que los agregados se desplacen por la sierra (normalmente entre 4 y 12 horas después de endurecido el hormigón).

Los principales factores a tener en cuenta son temperatura/clima, relación agua/cemento (a/c), contenido de cemento/adiciones, tipo de cemento, aditivos, tiempo de adición de los aditivos, mezclado.

2.4 Hormigón endurecido

El hormigón experimenta un endurecimiento progresivo, se transforma de un material plástico a un sólido, evolucionando también las propiedades del hormigón, dependiendo de las características y componentes, además de las condiciones ambientales a las que estará expuesto.

2.5.1 Densidad aparente

La densidad del hormigón se define como el peso por unidad de volumen. Depende de la densidad real y de la proporción en que participan cada uno de los diferentes materiales constituyentes del hormigón. Para los hormigones convencionales, formados por materiales granulares provenientes de rocas no mineralizadas de la corteza terrestre su valor oscila entre 2.35 y 2.55 kg/dm³.

La densidad normalmente experimenta ligeras variaciones con el tiempo, las que provienen de la evaporación del agua de amasado hacia la atmósfera y que en total puede significar una variación de hasta alrededor de un 7% de su densidad inicial.

Los hormigones livianos se obtienen por medio de la incorporación de aire, ya sea directamente en la masa del hormigón o incorporada en los áridos utilizando áridos livianos. Su densidad puede alcanzar valores tan bajos como 0.5 kg/dm³ y se utilizan principalmente cuando se desea obtener mayor aislación térmica y acústica que las del hormigón convencional.

Los hormigones pesados se obtienen mediante el uso de áridos mineralizados, cuya densidad real es mayor que la de los áridos normales. Su densidad puede alcanzar valores hasta de 5.0 kg/dm³ y se utilizan principalmente cuando se desea obtener aislamiento contra las partículas radiactivas.

2.5.2 Resistencia

La resistencia es una de las propiedades más importantes del hormigón, principalmente cuando se le utiliza con fines estructurales. El hormigón, en su calidad de constituyente de un elemento estructural, queda sometido a las tensiones derivadas de las sollicitaciones que actúan sobre éste. Si sobrepasan su capacidad resistente se producirán fracturas, primero de origen local y posteriormente generalizadas, que podrán afectar la seguridad de la estructura. Por este motivo, los elementos estructurales deben ser dimensionados de manera que las tensiones producidas no sobrepasen la capacidad resistente del material constituyente, lo cual muestra la importancia de conocer esa característica.

2.5.2.1 Resistencia a la compresión

Puede definirse como la capacidad del hormigón de resistir cargas por unidad de área especificada a los 28 días de edad. Esta se logra mediante el diseño de la mezcla y está en función de la relación agua/cemento, de manera que aumenta la resistencia a la compresión si esta relación disminuye, pero al modificar estos parámetros se puede ver afectada la resistencia a la flexión, resistencia a la tracción y la adherencia acero hormigón.

El procedimiento de ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión del hormigón está establecido en NCh 1037 Of 2009.

2.5.2.2 Resistencia a la tracción

Teóricamente la resistencia a la tracción del hormigón es aproximadamente 1/8 a 1/12 de la resistencia a compresión, pero no existe una relación lineal; la relación de R_t/R_c (R_c : resistencia a la compresión; R_t : resistencia a la tracción) depende de la calidad del hormigón y es menor cuando mayor es R_c (Videla, 2010)

La resistencia a la tracción es necesaria en los casos que se desee determinar la seguridad de una posible fisura, para ellos es necesario tener los datos de ésta. (ICH, 2001)

La resistencia a tracción del hormigón ha sido considerablemente menos estudiada que la resistencia a compresión, en parte debido a la mayor incertidumbre que existe para su determinación.

Esta incertidumbre empieza con la forma de ejecución del ensayo, existiendo dos formas distintas para efectuarlo: por método directo y dos métodos indirectos. Uno por flexión que se mide por ensayo de flexo-tracción y el otro por compresión que se mide por hendimiento.

2.5 Durabilidad

La durabilidad del hormigón es definida como la capacidad que tiene para resistir a la acción del tiempo, los ataques químicos, la abrasión o cualquier otro proceso de deterioro; es decir, el hormigón durable mantendrá su forma original, su calidad y su servicio, cuando se exponga a su medio ambiente (Mehta, 1998).

Ningún material es eternamente durable, como resultados de interacciones ambientales, la microestructura y consecuentemente las propiedades de los materiales cambian con el tiempo. Un

material alcanza el final de su vida de servicio, cuando sus propiedades bajo ciertas condiciones de uso se han deteriorado a tal punto que continuar utilizando tal material se considera inseguro o antieconómico.

Se acepta generalmente que al diseñar estructuras, las características de durabilidad de los materiales considerados deberán evaluarse tan cuidadosamente otros aspectos tales como las propiedades mecánicas y el costo inicial. Cada vez más, los costos de reparación y de sustitución de las estructuras que se requieren por fallas del material, se han convertido en una parte importante del costo del ciclo de vida de una construcción.

Se entiende que existe una íntima relación entre la durabilidad de los materiales y la ecología. La conservación de los recursos naturales haciendo durar más los materiales es, después de todo, una acción ecológica (Mehta, 1998). El mundo necesita un ambiente amigable con el uso de materiales de construcción, debido a que se desea disminuir las emisiones de CO₂, ahorrar la energía de los recursos no renovables, y al mismo tiempo reducir al mínimo la basura producida en el uso de estos materiales (Bremner, 2001).

Absorción capilar

El agua es la causa principal de la degradación de los materiales de construcción. Debido a que penetra en medios porosos, es un medio de transporte para agentes agresivos como los iones cloruro, y a temperaturas bajas se congela. Cuando un material poroso como el hormigón se pone en contacto con un líquido, por ejemplo agua, esta es absorbida dentro de los poros del material por fuerzas capilares. Las fuerzas capilares son determinadas por la tensión superficial del líquido, el ángulo del contacto entre el líquido y las paredes del poro, y el radio de los poros.

El volumen de espacio de poros en el hormigón, a diferencia de la facilidad con la cual un fluido puede penetrarlo, se mide por la absorción; las dos cantidades no están relacionadas necesariamente (Neville, 1999)

2.6 Retracción

La retracción es un fenómeno intrínseco del hormigón, que está relacionado con la pérdida paulatina del agua en la mezcla. El fenómeno en cuestión, se refiere a que el hormigón experimenta variaciones de volumen, dilataciones o contracciones, durante su vida útil por causas físico químicas. La idea más importante que debe retenerse es que la retracción no es una fuerza impuesta sino que es una deformación impuesta al hormigón que provocará tensiones de tracción.

Se pueden identificar básicamente cuatro tipos de retracción, estas son: retracción plástica, retracción autógena, retracción por secado y retracción térmica, estas últimas no se considerarán debido a la irrelevancia que presenta para esta investigación.

2.6.1 Tipos de retracción

a) Retracción Autógena:

La retracción autógena se diferencia de los otros tipos de retracción, por cuanto no es atribuible a pérdida de agua, sino que a la reducción de volumen que esta experimenta al combinarse químicamente con el cemento. El volumen de agua que se combina químicamente es siempre igual a aproximadamente un 23% del peso del cemento y su pérdida de volumen, al pasar a formar parte de los productos de hidratación, del orden del 25% respecto de su volumen inicial. Esta reducción de volumen, de no existir aportes de agua externos que permitan compensarla, da origen a poros de vacío en la masa del hormigón y en consecuencia a fuerzas capilares capaces de generar retracción. El orden de magnitud de la retracción por autodesecamiento, en hormigones normales varía entre 50 y 100 micrones por metro, valor que sin duda resulta secundario respecto de la retracción por secado (Neville, 1999). No obstante lo anterior, algunos resultados más recientes, aparentemente indican que la retracción autógena, medida a partir del instante inmediatamente posterior a la confección del hormigón, puede alcanzar valores superiores a los indicados y adquiere una importancia creciente a medida que se consideren hormigones con menor relación a/c , llegando a ser muy relevante en hormigones confeccionados con una relación a/c inferior a 0,42, ya que bajo este límite no hay agua disponible para que sigan desarrollándose las reacciones de hidratación, lo que implica la existencia de un volumen considerable de poros vacíos, unida a una mayor dificultad para absorber agua desde el ambiente, dada la baja permeabilidad de este tipo de hormigones.

b) Retracción por secado:

La retracción por secado, se produce por la pérdida del agua en poros y capilares en el hormigón. Este fenómeno puede ocasionar en la pasta de cemento retracción de volumen de hasta un 1%. No obstante los áridos agregados reducen estas deformaciones a valores cercanos a un 0,06% (ACI 224. 1R-93), haciendo menos grave este efecto en elementos de hormigón (Brito, 2003). Una pasta de cemento saturada no permanecerá dimensionalmente estable cuando se expone a humedad ambiental por debajo de la saturación, principalmente porque la pérdida del agua físicamente absorbida del H-S-C (fase hidrato de silicato de calcio), resulta en deformación por retracción. En resumen, la deformación de retracción por secado está principalmente relacionada con la remoción de agua absorbida de la pasta de cemento hidratada. La humedad

relativa diferencial entre el hormigón y la del medio ambiente es la fuerza conductora de este fenómeno (Mehta, 1998)

c) Retracción térmica:

La influencia del calor generado en la hidratación del cemento pueden formar fisuras debido principalmente a la baja conductividad del hormigón que hace que exista un gradiente térmico entre el interior de la masa y las superficies, dando lugar a un enfriamiento de las capas externas y, consecuentemente, contracciones de las mismas (mientras el núcleo está aún caliente y dilatado). Aparte del efecto térmico diferencial, hay que considerar el efecto térmico absoluto debido a los cambios de temperatura ambiente sobre elementos estructurales de pequeña sección y gran longitud. La carencia o construcción defectuosa de juntas de dilatación dará lugar a fisuras si el hormigón no puede resistir; debido a su módulo de elasticidad, la deformación que origina el cambio de temperatura (Cabrerizo, 2012).

2.6.2 Factores que afectan la retracción

a) Cemento

Las propiedades del cemento tienen poca influencia sobre la retracción del hormigón. Se ha probado que una retracción mayor en la pasta pura de cemento no significa necesariamente que el hormigón producido con dicho cemento se contraiga más efecto del creep (deformación progresiva). La influencia de la finura del cemento resulta sensible tan solo para la fracción gruesa con partículas más gruesas que $75\ \mu\text{m}$. (No.200), que al tener comparativamente poca hidratación, actúa respectivamente como árido. En los demás casos un cemento más fino no aumentará la retracción del hormigón, aunque la retracción de la pasta pura de cemento si se incrementa (Neville, 1999).

b) Agua

El contenido de agua afecta también a la retracción del hormigón, porque se reduce la cantidad de agregado restrictivo. Por lo tanto, el contenido de agua de la mezcla indicará generalmente la cantidad previsible de retracción, pero el contenido de agua no es un factor primordial (Neville, 1999).

c) Árido

El tamaño y la granulometría del árido por sí solos no afectan la magnitud de la retracción, pero un árido mayor permite usar una mezcla más pobre, y por lo tanto, esto implica una menor

retracción. Si aumenta el tamaño máximo del árido, el contenido de árido grueso se incrementa en el volumen del hormigón, entonces la retracción se reduce (Neville, 1999).

d) Aditivos y adiciones

Los aditivos del hormigón tales como el cloruro de calcio y las adiciones como la escoria granulada y las puzolanas, tienden a incrementar el volumen de los poros finos en el producto de hidratación del cemento, al igual que los aditivos reductores de agua y los retardantes de fraguado que son capaces de afectar una mejor dispersión de las partículas del cemento anhidro en el agua, ya que la retracción en el hormigón está asociada directamente con el agua retenida por los pequeños poros en el rango de 3 a 20 mm, los hormigones que contienen aditivos capaces de refinar los poros, generalmente muestran una retracción más alta (Munizaga, 2009).

e) Geometría del elemento

A una humedad relativa de almacenamiento constante, tanto el tamaño como la forma de un elemento de hormigón determinan la magnitud de la retracción. Es conveniente expresar los parámetros de tamaño y la forma por una simple expresión como el espesor efectivo o espesor teórico, que es igual al área de la sección dividida por el semiperímetro en contacto con la atmósfera (Mehta, 1998).

f) Creep

La relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria del hormigón está en función del tiempo; con el tiempo, el aumento gradual en la deformación unitaria se debe al creep. Por lo tanto, podemos definir el creep como un aumento en deformación unitaria bajo esfuerzo sostenido, y como dicho aumento puede ser varias veces mayor que la deformación unitaria elástica debida a la carga, el creep reviste considerable importancia en la mecánica estructural especialmente en estructuras de hormigón armado y pretensado (Mehta, 1998).

2.7 Retracción plástica

Cuando la pasta de cemento es plástica experimenta una retracción volumétrica, cuya magnitud es del orden de 1% del volumen total del cemento seco (Brito, 2003). Esta reducción se conoce como retracción plástica, porque se presenta mientras el hormigón está todavía en estado plástico, la pérdida de agua por evaporación de la superficie del hormigón agrava la retracción plástica y puede llevar a un agrietamiento superficial (Figura 2.1).

Sin embargo, si se evita por completo la evaporación inmediatamente después de la colocación del hormigón, se elimina el agrietamiento. Por el lado de los materiales, se ha encontrado que la retracción plástica aumenta junto con el contenido de componentes finos en la mezcla de hormigón, de esta forma si agregamos más cemento en la mezcla, si se usa cemento fino o se incorpora polvo de sílice incrementa la tendencia del hormigón a tener fisuras por retracción plástica (Brito, 2003).



Figura N°2.1: Fisuras por retracción plástica en losa de hormigón

Fuente: Agrietamiento por retracción plástica, Herrera (2007)

2.7.1 Exudación

La exudación del hormigón fresco es un fenómeno que se produce por el ascenso de parte del agua de amasado de una mezcla de hormigón durante el tiempo que dura su fraguado hacia la superficie.

Los componentes del hormigón fresco vertido contienen materiales de distintas densidades y se produce una tendencia a la decantación de áridos más pesados, y un ascenso del agua, menos densa.

La exudación es una forma de segregación de los componentes de una mezcla de hormigón fresco en la que el agua tiende a elevarse hacia la superficie del hormigón como consecuencia de la incapacidad de los áridos de arrastrarla con ellos al irse compactando.

Al ascender, el agua crea en la superficie del hormigón una capa delgada, débil y porosa que no tiene resistencia ni es durable. El agua que va llegando a la superficie generalmente se va evaporando de una forma lenta, pero si la evaporación es más rápida que la velocidad de su migración del interior hacia la superficie se crearan fisuras de retracción plástica.

La pérdida del agua por exudación tiene una parte positiva que es la de reducir la relación agua/cemento del hormigón con una repercusión favorable sobre las resistencias. Sin embargo, al migrar desde el interior, el agua va creando unos conductos capilares que disminuyen impermeabilidad al hormigón y que lo hacen poco durable, de modo especial frente a las heladas; esto es especialmente importante en el caso de pavimentos y en general, en aquellos elementos en los que predomina la superficie superior sobre el volumen.

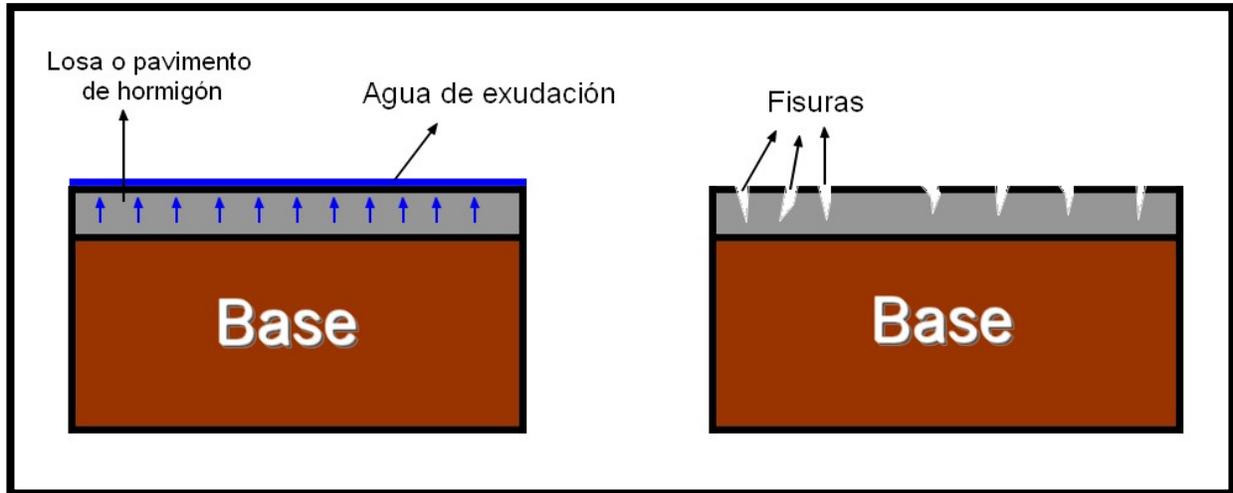


Figura N°2.2: Migración de agua por exudación

Fuente: Elaboración propia, 2017

Dentro de las primeras 2 horas de edad, la retracción superficial del hormigón está restringida por el resto del hormigón que aún se mantiene estable dimensionalmente. Esta restricción genera tensiones de tracción que el hormigón no puede soportar ya que está en estado endurecido y se fisura.

2.7.2 Fisuración

La fisuración por retracción plástica del hormigón ocurre cuando este se halla aun en estado plástico, y durante las primeras horas en que ha sido colocado. En general, se presenta en condiciones ambientales extremas, como altas temperaturas, bajas humedades y altas velocidades de viento, lo que origina la rápida evaporación del agua de la superficie del hormigón. Esta evaporación de agua ocasionada por el sol y viento, provoca la retracción en la superficie del hormigón, sometiéndola a grandes esfuerzos internos en una etapa en la que aún no ha alcanzado la suficiente resistencia a la tensión para soportarlos, y por lo tanto esta superficie se fisura.

Las principales características de estas fisuras consisten en que se presentan posicionadas en forma errática, sin seguir un orden determinado; son de longitud relativamente corta y suelen ramificarse; su abertura en la superficie es variable pudiendo llegar a 3 mm o más; sin embargo su abertura decrece hacia los estratos inferiores y, en el caso de pavimentos, no siempre los atraviesan totalmente; después de producidas, las fisuras permaneces estabilizadas indefinidamente.

Las fisuras por retracción plástica son antiestéticas; sin embargo, raramente afectan la resistencia y durabilidad de los pisos y los pavimentos. No obstante, si a través de estas ingresan sustancias perjudiciales pueden afectar el desempeño de la estructura y disminuir su durabilidad. Por lo tanto, es importante controlar, evaluar y evitar la aparición de fisuras por retracción plástica para lograr estructuras más durables que aseguren un ciclo de servicio aceptable con el menor costo de mantenimiento, lo que nos da motivo a realizar esta investigación.

El mecanismo de generación de fisuras por contracción plástica es el siguiente:

- El agua de exudación aparece en la superficie.
- La evaporación del agua es mayor que la velocidad del agua en exudación.
- La superficie del hormigón se seca.
- La superficie del hormigón trata de contraerse.
- El hormigón húmedo trata de resistir la retracción
- Se generan esfuerzos en el hormigón plástico.
- Se forma la fisura de retracción plástica.

Las fisuras por retracción plástica que no llegan a 1 mm de abertura pueden tratarse en obra simplemente aplicando una lechada de cemento escobillándola contra las fisuras y, después de cerradas, aplicando una membrana de curado. Para fisuras que sean antiguas, debe procederse a una limpieza de aire a presión y aplicar, a lo largo de la fisura, una resina de baja viscosidad en forma gravitacional, operación que debe repetirse hasta comprobar que la grieta este colmatada (Egaña, 2014).

2.8 Curado y condiciones de almacenamiento

El curado prolongado con humedad retrasa la retracción, pero el efecto del curado sobre la magnitud de retracción a largo plazo es pequeño, aunque bastante complejo. En lo que se refiere a la pasta de cemento, el curado prolongado provoca una retracción final mayor, pero la pasta se vuelve más fuerte con el tiempo y resulta capaz de resistir la tendencia a contraerse sin fisurarse.

Un hormigón bien curado se contrae más rápidamente a partir del cese del curado, que uno con menor curado y, por lo tanto, los esfuerzos que se presentan después, debido al creep, son menores; además, un hormigón más resistente posee un grado menor de creep. Estos factores pueden contrarrestar la alta resistencia a la tracción del hormigón bien curado y producir fisuramiento. En resumen puede afirmarse que la duración del periodo de curado no es un factor importante en la retracción final y agrietamiento del hormigón. La magnitud de la retracción es en gran parte independiente de la velocidad del secado, salvo en los casos en que se transfiere un hormigón sumergido en agua a un ambiente de muy poca humedad, donde puede producirse la fractura (Neville, 1999).

Por lo tanto el hormigón colocado en aire "seco" (no saturado) se retrae, pero se expande en agua o en aire con humedad relativa del 100%, siempre que no exista retracción autógena.

2.9 Polímeros naturales

Un polímero (del griego poly, muchos; meros, parte, segmento) es una sustancia cuyas moléculas son, por lo menos aproximadamente, múltiplos de unidades de peso molecular bajo. La unidad de peso molecular bajo es el monómero. Si el polímero es rigurosamente uniforme en peso molecular y estructura molecular, su grado de polimerización es indicado por un numeral griego, según el número de unidades de monómero que contiene; así, hablamos de dímeros, trímeros, tetrámero, pentámero y sucesivos.

Los polímeros se producen por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas denominadas monómeros que forman enormes cadenas de las formas más diversas. Mucho antes de que existieran los plásticos y los polímeros sintéticos, remontándonos a los mismos orígenes de la tierra, la naturaleza se valía de los polímeros naturales para hacer posible la vida.

Lo que distingue a los polímeros de los materiales constituidos por moléculas de tamaño normal son sus propiedades mecánicas. En general, los polímeros tienen una excelente resistencia mecánica debido a que las grandes cadenas poliméricas se atraen. Las fuerzas de atracción intermoleculares dependen de la composición química del polímero y pueden ser de varias clases (Caballero, 2008).

2.10 Mucílago de nopal

2.10.1 Generalidades

El nopal además de su alto valor nutricional, en la actualidad es uno de los polímeros naturales más utilizados, que cuando se le extrae el mucílago (solución viscosa) es utilizado en diferentes campos de la industria. En algunos países, los granjeros utilizan mucílago del cactus para purificar el agua potable (López, 2000). Otro uso tradicional es para mejorar la pintura de casa. Un extracto de cactus fue probado para mejorar la infiltración del agua en suelos. El género del opuntia pertenece a la familia de Cactácea y es también conocido como la planta o nopal de la pera del cacto (Figura 2.3). Esta cosecha abundante se distribuye en las regiones áridas y semiáridas de muchos países: Argentina, Perú, Chile, Bolivia, Brasil, Estados Unidos, España, Italia, África, Israel, África, México, entre otros. La planta se utiliza principalmente para la producción de la fruta de tuna, aunque en algunos países también se utiliza como vehículo para el consumo humano o para el forraje. (Sáenz, 2004).



Figura N°2.3: Opuntia ficus-indica

Fuente: Elaboración propia, 2017

2.10.2 Componentes del Nopal

Como la mayoría de los miembros de este género carece de hojas nomofilas, los segmentos o cladodios en que se divide, son tallos capaces de ramificarse, emitiendo flores y frutos. Estos tallos son planos, ovales y de color verde medio. Poseen dos clases de espinas, reunidas en los gloquidios (especie de cojincillos) de las areolas, unas largas y duras, y otras cortas y finas con aspecto veloso.

Las flores, en forma de corona, nacen de las areolas en los bordes de los segmentos. Florece una vez al año y tanto el fruto como la flor pueden ser de diversos colores, desde el amarillo al rojo.

El fruto tiene una cáscara gruesa, espinosa, y con una pulpa abundante en pepas o semillas. El fruto maduro es una baya de forma ovalada con diámetros de entre 5,5 y 7 cm, una longitud de 5 cm a 11 cm y un peso variable entre 43 y 220 g.

El mucílago es un carbohidrato complejo, parte de la fibra dietética. Entre una de las propiedades más importantes de este vegetal está el conservar el agua incluso bajo condiciones climáticas desfavorables, debido a la presencia de mucílagos que al formar redes moleculares tridimensionales son capaces de retener grandes cantidades de agua (Cárdenas et al, 1998). Por debajo de la cutícula que cubre una penca u hoja de nopal, se encuentra una sustancia en forma de pulpa (gel), la cual está conformada de células que contienen mono- o di-sacáridos, los cuales interactúan y producen polisacáridos (Chandra et al., 1998).

El mucílago es un polisacárido fibroso, de una forma altamente ramificada, compuesto por un contenido alto en azúcares. Esta molécula es muy larga y compleja, es pegajosa y por lo tanto poco manejable, para una *Opuntia ficus-indica*, cada molécula del mucílago puede contener por encima de 30,000 subunidades de azúcares, o residuos.

2.10.2 Composición química del mucílago de nopal

Diversos investigadores, refiriéndose no siempre a la misma especie, han estudiado la composición química del mucílago de nopal, los resultados concuerdan en lo siguiente: Los azúcares más abundantes tienen cinco o seis átomos de carbono y poseen los siguientes: arabinosa, galactosa, ramnosa, xilosa y ácido irónico (Amin et al 1970). Se han visto que los derivados del azúcar difieren mucho en el cactus y no muestra ningún orden sistemático de composición. También se encontró en el nopal la presencia de fructosa, sacáridos y maltosa. Así de esta manera el gel del cactus contiene polisacáridos de varios tipos y composición, así como proteínas (Chandra, 1998). El mucílago de nopal es un polisacárido compuesto por 20% de D-galactosa, 44% de L-arabinosa, 7% de L-ramnosa, 22% de D-xilosa y 7% de ácido galacturónico.

2.10.3 Mucílago de nopal en el Hormigón

Torres (2010) con un equipo de profesionales en la ciudad de Querétaro, México estudiaron el uso del mucílago de nopal en materiales de construcción. Torres detalla que el primer paso fue probar el nopal y sábila (Aloe vera) deshidratados en los materiales de construcción, principalmente por sus elementos como el potasio (K), magnesio (Mg), carbono (C), oxígeno (O) y principalmente el calcio (Ca), que es básico para la elaboración del cemento.

El método experimental consistía en caracterizar estos materiales, principalmente pastas, morteros y hormigones, para ver cómo actuaban el nopal y la sábila en ellos.

Torres, anunció que, tras los procesos de investigación en laboratorio, se pudo concluir que las adiciones de nopal y sábila deshidratados disminuyen la trabajabilidad de pastas y morteros, aparentemente, porque coagulan parte del agua de mezclado, además de que la resistencia de este material aumenta con la edad.

La segunda fase de esta investigación, de acuerdo con el doctor Andrés Antonio Torres Acosta, fue identificar la mejora de la durabilidad en materiales base cemento cuando se añade el nopal en forma coloide (mucílago), así como determinar si las propiedades electroquímicas de los aceros embebidos en estos materiales base cemento tenían alguna modificación.

Después de diferentes pruebas de laboratorio, se concluyó que las adiciones del mucílago de nopal mejoraron la durabilidad del mortero al disminuir el transporte de agua dentro del material y aumentaron su resistencia.

CAPÍTULO III

DISEÑO EXPERIMENTAL Y METODOLOGÍA A APLICAR

CAPÍTULO III: DISEÑO EXPERIMENTAL Y METODOLOGÍA A APLICAR

3.1 Introducción

En el presente capítulo se detalla el diseño experimental que permite analizar el comportamiento de los hormigones en estado fresco cuando se le agrega el aditivo estudiado. Utilizando el mezclado convencional y en etapas, se fabricarán hormigones con distinto porcentaje de mucílago de nopal como aditivo, directamente proporcional al peso del cemento (Ver tabla n°3.1).

3.2 Plan de trabajo

El plan de trabajo a seguir considera la definición de las variables dependientes e independientes para luego diseñar un hormigón con clasificación G30 (NCh 170 Of 2016) como es comúnmente utilizado para las construcciones de losas y pavimentos donde es usual encontrarse con fisuras por retracción plástica. Para hacer un análisis comparativo, se requiere hacer un hormigón patrón (sin aditivo) y otros con aditivo en distintas dosis que son mencionadas más adelante, con el fin de entender los cambios o beneficios que surgen de la adición del mucílago de nopal.

Esta etapa, corresponde a la de diseño en donde se señala la metodología de extracción del mucílago de la planta de nopal para ser utilizada como aditivo. La variación de las dosis que se incorporaran en el hormigón será partiendo de la base recomendada por los fabricantes de aditivos líquidos, los cuales recomiendan una dosis de 750 ml por 100 kilogramos de cemento. A partir de esta referencia y sabiendo que el mucílago de nopal es una sustancia natural sin modificaciones químicas, se incrementó en un 100% la dosis por kilogramo de cemento, y se formaron otras muestras con un valor mayor y menor al de referencia. (Ver tabla n°3.1)

3.3 Variables de estudio

Los ensayos a realizar se harán con hormigones con clasificación G30, para los cuales se utilizará un árido normalizado para reducir el grado de heterogeneidad en la distribución

granulométrica de las partículas del árido. Lo que se irá variando, será el porcentaje de aditivo que se agregara a la mezcla del hormigón, para poder tener una visión mayor del fenómeno de fisuración. Se hará un hormigón patrón y otros tres con la misma dosificación (tabla n°3.1) pero con una adición distinta del aditivo para ir tanteando las modificaciones a las características físicas y mecánicas del hormigón.

3.3.1 Variables Independientes

La variable independiente en este caso es la adición de mucilago de nopal en los hormigones de prueba. Se trabajara con 3 porcentajes de mucilago de nopal por kilogramo de cemento como un aditivo convencional (tabla n°3.1).

Tabla N° 3.1: Adiciones de mucilago de nopal por hormigón

VARIABLE INDEPENDIENTE				
HORMIGÓN	GP	G30-1	G30-2	G30-3
ADITIVO POR KG DE CEMENTO	0%	1,3%	1,95%	2,6%

Fuente: Elaboración Propia, 2017

3.3.1.1 Extracción y cantidad de mucílago de nopal

a) Extracción

Para la extracción del mucílago de la planta de nopal fue necesario crear una metodología lo más rápida y precisa posible ya que es un polímero natural el cual puede descomponerse por agentes del ambiente. El método siguió una serie de procesos que se describen a continuación:

Se obtuvo pencas de la planta *Opuntia Ficus-Indica*, de la ciudad de Villa Alemana, la cual cuenta con el clima perfecto para la sobrevivencia de este cactus.

Las pencas fueron limpiadas y cortadas en cuadrados de 5cm x 5cm como se muestra en la figura n° 3.1

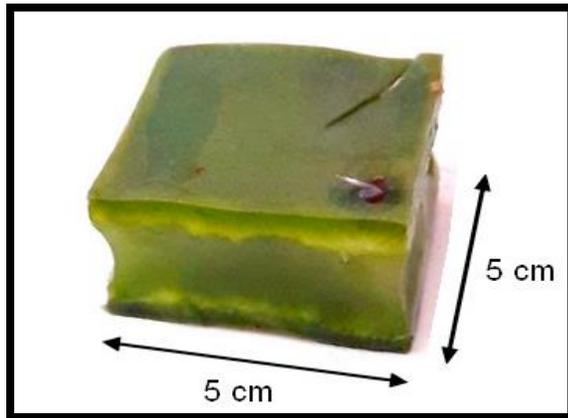


Figura N° 3.1: Corte de la penca de tuna

Fuente: Elaboración Propia, 2017

Para hacer el proceso más rápido y extraer un concentrado de esta sustancia se dejó reposar 5 kg de cortes de penca en un recipiente con solo 500 cc de agua potable (Figura n°3.2).



Figura N° 3.2: Reposo en agua de los cortes de tuna

Fuente: Elaboración Propia, 2017

Se dejó reposar por 10 horas, donde ya había empezado el proceso de desprender el mucílago formando una solución con el agua. Para poder obtener un concentrado mayor del mucílago, se decidió cortar la piel de las piezas de la planta de nopal para solo dejar la parte interna que es muy parecido a un gel endurecido que ya por el tiempo que estuvo en agua se ablandó.

Se introdujo todo el material a una licuadora y se decidió por licuar el interior de los cortes de la planta de nopal creando una solución bastante más concentrada que los otros intentos por poder obtener el mucílago de una forma más convencional como es la solución para pintura.

Mediante un colador se filtraron las partículas sólidas de la solución resultante, dando pie a una sustancia más limpia.



Figura N° 3.3: Primer proceso de filtrado

Fuente: Elaboración Propia, 2017

Luego de tener la solución filtrada se procedió a filtrarla nuevamente de cualquier elemento que se haya pasado en el primer proceso. El proceso de filtración de las partículas suspendidas en el fluido, esta vez consistió en usar un medio poroso que retuvo las partículas para obtener un filtrado sin sólidos. Para la filtración del mucílago de nopal se utilizó un paño, para impedir el paso de partículas sólidas.



Figura N° 3.4: Segundo proceso de filtrado

Fuente: Elaboración Propia, 2017

Se obtuvo un resultante de mucílago de nopal de 3,6 litros para esta experiencia, resultando un rendimiento de mucílago de nopal de 0,72 litros por kg de penca. La sustancia resultante se almacena en botellas de vidrio cerradas para su utilización en esta investigación.

Nota: Se probaron otros métodos para extraer el mucílago de nopal del cactus, las cuales fracasaron por formar una solución bastante disuelta con agua, lo que no tendría sentido en esta investigación donde queremos obtener un aditivo de calidad para probarlo en el hormigón. No se mencionarán los métodos en esta investigación por no haber sido las escogidas para la experiencia.

b) Dosis de mucílago de nopal propuesto

Como se menciona en el plan de trabajo, partiendo de la base recomendada por los fabricantes de aditivos líquidos, se recomienda una dosis de aditivo de 750 ml por 100 kilogramos de cemento. A partir de esta referencia y sabiendo que el mucílago de nopal es una sustancia natural sin modificaciones químicas, se incrementó en un 100% la dosis por kilogramo de cemento, y se formaron otras muestras con un valor mayor y menor al de referencia (Ver tabla n°3.1).

3.3.2 Variables Dependientes

Ensayos de exudación, fisuración, asentamiento plástico y resistencia a la compresión proporcionarán los datos y los resultados con los cuales se busca responder las interrogantes y objetivos de la investigación.

3.3.2.1 Características de los ensayos a realizar

a) Procedimiento de ensayo de exudación

Con este ensayo se determina la cantidad relativa de agua de amasado que exuda de una muestra de hormigón fresco en un hormigón patrón y otro con la incorporación del mucílago de nopal

➤ Extracto de la norma ASTM C 232

Este método de ensayo se refiere a la determinación de la cantidad de agua de amasado que exuda desde una muestra de hormigón recién mezclado. La norma considera dos métodos para realizar el ensayo; en este extracto solo se incluirá uno; el método A, que considera compactación de la muestra mediante apisonado.

El método entrega los procedimientos que han de emplearse para determinar el efecto de variables tales como la composición, tratamiento ambiente u otros factores de influencia sobre la exudación del hormigón. También puede emplearse para determinar el desempeño de algún producto o tratamiento con relación a su efecto sobre la exudación del hormigón.

Método A: Para una muestra compactada por apisonado

- Poner el recipiente sobre una superficie horizontal, libre de vibraciones perceptibles, a una temperatura ambiente de entre unos 18 a 24°C.
- Inmediatamente después de nivelada la superficie, limpiar el exterior del molde, registrar la hora y determinar la masa del recipiente y sus contenidos.
- Colocar el recipiente con hormigón sobre una superficie horizontal, firme, libre de vibraciones y cubrir el recipiente para prevenir la evaporación del agua exudada.
- La cubierta deberá mantenerse colocada a lo largo de todo el ensayo, excepto cuando se haga la extracción del agua.
- Extraer con la jeringa el agua que se ha depositado en la superficie, a intervalos de 10 minutos durante los primeros 40 minutos del ensayo y, posteriormente, a intervalos de 30 minutos hasta que cese la exudación.

- Para facilitar la colección del agua, inclinar cuidadosamente y lentamente el recipiente, colocando un apoyo de unos 500 mm de espesor debajo de un lado del recipiente en posición horizontal, sin agitarlo.
- Después de cada extracción, transferir el agua a la probeta graduada.
- Finalmente registrar la cantidad de agua acumulada después de cada transferencia.

Tabla N° 3.2: Tabla de registro según norma ASTM C 232

LECTURA	TIEMPO
TIEMPO DE PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	0 MIN
1° LECTURA	10 MIN
2° LECTURA	20 MIN
3° LECTURA	30 MIN
4° LECTURA	40 MIN
5° LECTURA	70 MIN
6° LECTURA	100 MIN
7° LECTURA	130 MIN
8° LECTURA	160 MIN

Fuente: Elaboración Propia, 2017

b) Procedimiento para ensayo de asentamiento

Cuando se esté hormigonando, el hormigón se mantiene en estado fresco y con ello se debe otorgar una docilidad adecuada, para el uso que uno desee darle. El asentamiento del hormigón se mide mediante la NCh of 1019 Of. 2009

Este ensayo permite medir la docilidad del hormigón fresco por la disminución de altura que experimenta, no siendo válido para asentamientos inferiores a 2 cm o mayores a 18 cm.

El procedimiento consiste en:

- Colocar el molde sobre la plancha de apoyo horizontal, ambos limpios y humedecidos con agua.

- Pararse sobre las pisaderas del cono evitando el movimiento del molde durante el llenado.
- Llenar el molde en tres capas de aproximadamente igual volumen, apisonada cada una de ellas con 25 golpes de la varilla-pisón de la siguiente manera:
- Apisonar la capa inferior en toda su profundidad.
- La mitad de los golpes se darán alrededor del perímetro con la varilla-pisón ligeramente inclinada.
- Seguir con el resto de los golpes con la varilla-pisón en posición horizontal, las capas intermedia y superior deben apisonarse penetrando hasta la capa subyacente.
- Durante el apisonado de la última capa mantener permanentemente en exceso de hormigón sobre el borde superior del molde.
- Finalizada la compactación de la capa superior enrasar la superficie haciendo girar la varilla-pisón.
- Limpiar el hormigón derramado en la zona adyacente al molde.
- Cargar las asas con las manos y dejar libre las pisaderas.
- Levantar el molde suavemente en dirección vertical sin perturbar el hormigón.
- Colocar el molde al lado del hormigón moldeado y tomar lectura en el eje central, con una aproximación de 0,5 cm, como se aprecia en la figura n°3.5

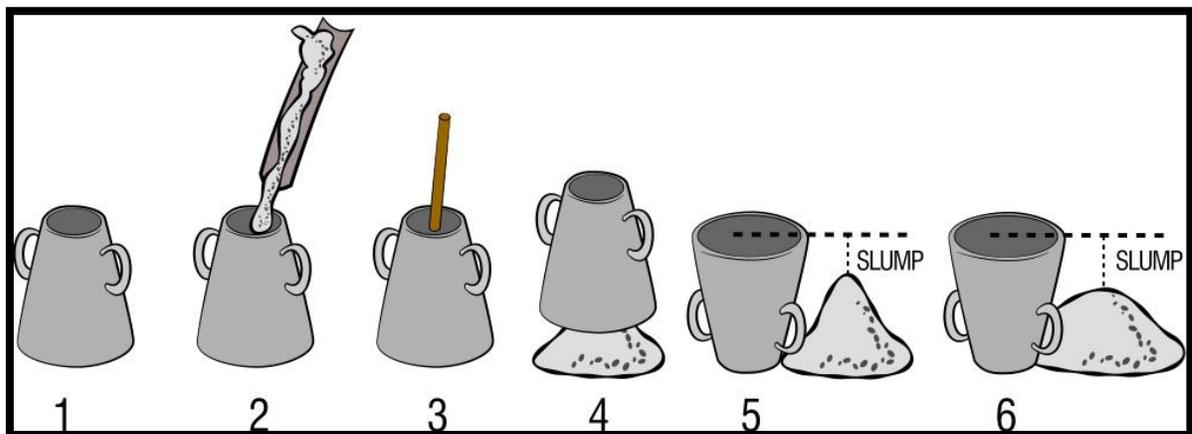


Figura N° 3.5: Asentamiento del cono de Abrams

Fuente: Ciencia y cemento, 2013

c) Procedimiento del ensayo de compresión

La resistencia a la compresión es una de las propiedades más destacadas del hormigón propiamente tal, siendo este un factor importante para definir su calidad.

En la NCh 1037 Of. 2009 está definido el procedimiento para efectuar el ensayo de resistencia a la compresión del hormigón.

El procedimiento de ensayo, estipulado por la NCh 1037, se describe a continuación en forma resumida:

➤ Medición de las probetas

Probetas cilíndricas: se miden dos diámetros perpendiculares entre si aproximadamente a media altura, y a la altura de la probeta en dos generatrices opuestas antes de refrentar, aproximado a 1mm. Se determina la masa del cilindro antes de refrentar, aproximadamente a 50 gr.

Probetas cubicas: se coloca el cubo con la cara de llenado verticalmente. Se miden los anchos de las 4 caras laterales del cubo aproximadamente media altura, y las alturas de las caras laterales, aproximando a 1 mm. Se determina la masa del cubo, aproximado a 50 gr.

➤ Ensayo

Se deben limpiar las superficies de contacto de las placas de carga y de la probeta, colocando está en la máquina de ensayo alineada y centrada. Las probetas cubicas se colocan con la cara de llenado verticalmente y las cilíndricas asentadas en una de sus caras planas refrentadas. Al acercar la placa superior de la máquina de ensayo se la debe asentar sobre la probeta de manera de obtener un apoyo lo más uniforme posible. La carga debe aplicarse en forma continua y sin choques a velocidad uniforme, de forma tal que la rotura se alcance en un tiempo igual o superior a 100 segundos y que la velocidad de aplicación de carga no sea superior a 3,5 (Kgf/cm²/seg). Finalmente se registra la carga máxima expresada en Kgf.

d) Procedimiento del ensayo de fisuración

Por ser parte del tema principal de esta investigación, la metodología de este ensayo usado para este estudio, se le dará más relevancia en el punto 3.4 *Ensayo de fisuración*.

3.4 Ensayo de fisuración

El ensayo de fisuración del hormigón en estado plástico, es un ensayo que no tiene una aceptación universal por lo relativo que pueden ser sus resultados ante las distintas condiciones en que se ve expuesto. Si bien, existen referencias en donde se han empleado métodos para crear distintos ensayos y se obtienen resultados concretos, no son de aceptación total.

En esta investigación se creó una metodología para poder realizar este ensayo de tal manera de poder observar la variación física que tendrá el hormigón al aplicar el mucílago de nopal como aditivo.

Las fisuras por retracción plástica, son muy propias de hormigones con grandes superficies como son las losas y pavimentos. Estas se forman con ayuda de sollicitaciones externas como son la velocidad del viento y la temperatura ambiente que ayudan a la evaporación de agua que emigra a la superficie de estas estructuras ayudando a la retracción y así formando las fisuras.

Se expondrá los hormigones creados en este estudio a estas sollicitaciones extremas para poder formar fisuras y ver la influencia del mucílago de nopal para contrarrestarlas o disminuirlas mediante las dosis de adición anteriormente mencionadas.

3.4.1 Metodología de ensayo de fisuración

La metodología para la elaboración de este ensayo consiste en la fabricación de un molde hecho de madera de roble para poder encofrar el hormigón a estudiar. Las dimensiones de este molde son de 60 x 40 x 6 cm. Las dimensiones antes mencionadas son para dar una superficie amplia como suelen ser los pavimentos y losas. La altura del molde corresponde a tres veces el valor del tamaño máximo nominal de esta investigación que es de 20 mm.

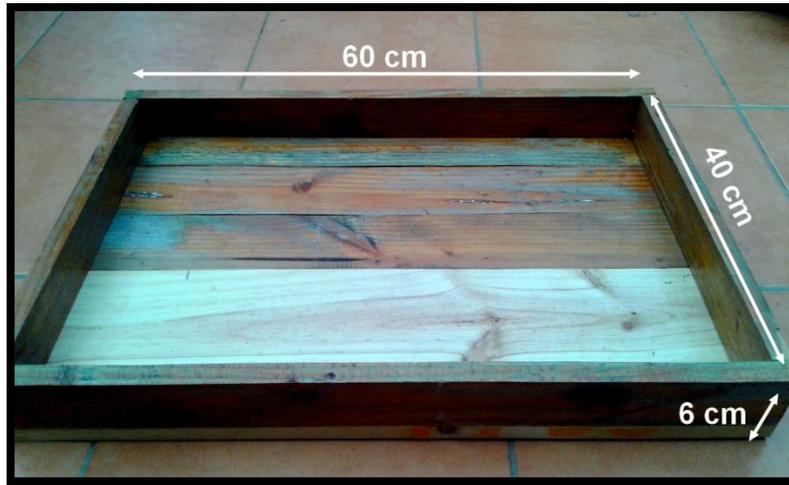


Figura N° 3.6: Encofrado para utilizar en ensayo de fisuración

Fuente: Elaboración propia, 2017

El encofrado debe estar sobre una superficie libre de vibraciones perceptibles, para poder dejar el hormigón empiece su proceso de fraguado.

El hormigón es puesto en el encofrado, se le toma la temperatura y luego pasa por un proceso de vibrado y enrasado para dejar la superficie lisa y poder observar con mayor facilidad el fenómeno de retracción plástica y las fisuras causadas por este fenómeno.

Se expondrá al hormigón a dos solicitaciones que son cruciales en este ensayo que son el viento y temperatura. Para ello fue necesario utilizar una fuente de viento como es un ventilador con una velocidad de viento promedio de 15 km/hr y una fuente calórica como es una ampolleta infrarroja de 250 watts que produce una temperatura promedio de 35 °C medidos con un anemometro. (Figura N°3.7 y 3.8 respectivamente).



Figura N° 3.7: Ventilador

Fuente: Elaboración propia, 2017



Figura N° 3.8: Ampolleta infrarroja

Fuente: Elaboración propia, 2017

El ventilador se pondrá a 30 cm de la probeta y la luz se pondrá a 10 cm sobre la superficie del hormigón. Al tener las solicitaciones para exponer al hormigón, se crea un túnel para que el calor de la ampolleta se concentre en el espacio donde está el hormigón ya que estará actuando también el viento del ventilador el cual también será importante en el proceso de evaporación de agua de la superficie del hormigón.

Ya con estos tres componentes se puede formar el ensayo de fisuración propuesto en esta investigación (ver Figura n°3.9).

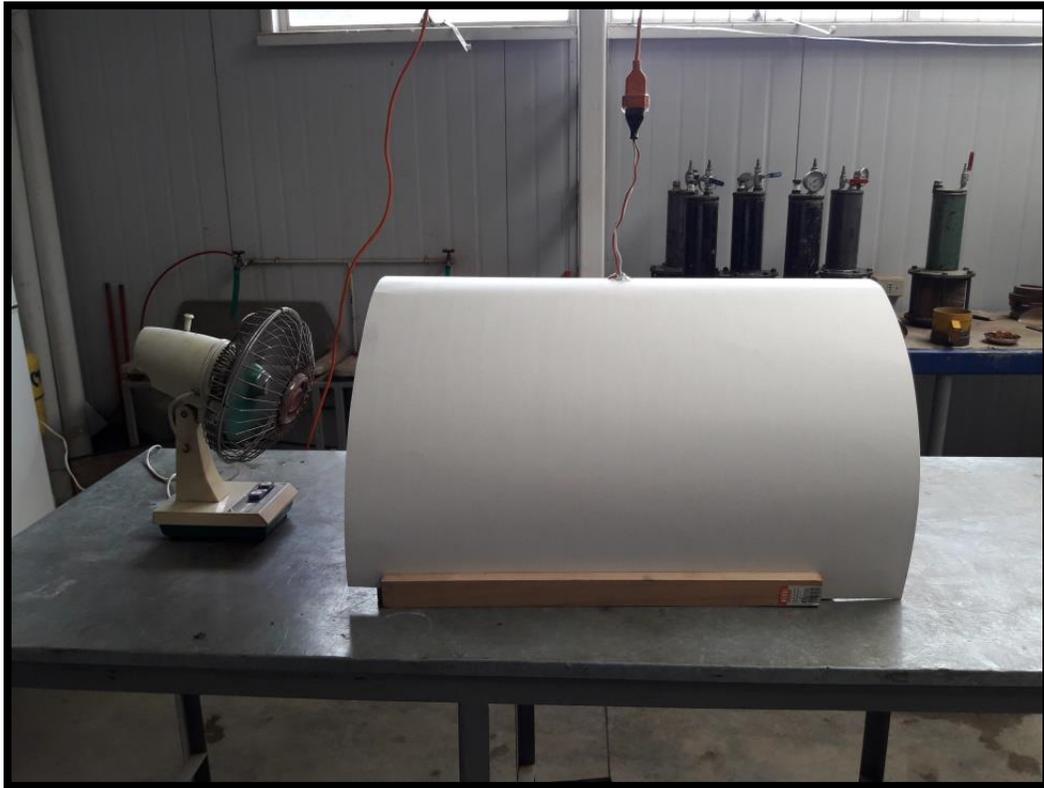


Figura N° 3.9: Ensayo de fisuración

Fuente: Elaboración propia, 2017

3.4.2 Mediciones

La metodología para evaluar los resultados será de la siguiente manera:

- Ya cuando el hormigón está en su encofrado se toma la temperatura del hormigón. Se vibra y se empareja la superficie con una llana. Se monta túnel y la luz. Se debe tomar la hora inicial con todos sus componentes funcionando.
- Se mide la velocidad del viento en la entrada y en la salida del túnel con un anemómetro.
- Se mide temperatura que otorga la ampolleta infrarroja con el ventilador encendido.
- Este procedimiento se hace cada una hora durante las cuatro horas que dura el ensayo.
- Se toma registro fotográfico en caso de formarse fisuras en la superficie del hormigón
- Con un fisurometro se podrá medir las dimensiones de la fisura.
- El resultado del ensayo de fisuración será la apreciación visual final a la cuarta hora de la medición donde se podrá ver si existe fisuración o no en el hormigón patrón y en los hormigones de prueba.
- Se medirá el área de las fisuras resultantes y se compararan con las del hormigón patrón en dimensiones y en cantidad.

3.4.3 Equipos

Para el ensayo de fisuración será necesario contar con los siguientes equipos

- Llana
- Ventilador (Velocidad de viento promedio de 15 km/h)
- Ampolleta infrarroja de 250 Watts. (promedio de 35°C.)
- Anemómetro
- Termómetro
- Huincha de medir
- Fisurometro
- Lupa
- Regla metálica

3.5 Factorial de ensayo

Tabla N° 3.3: Factorial de ensayo

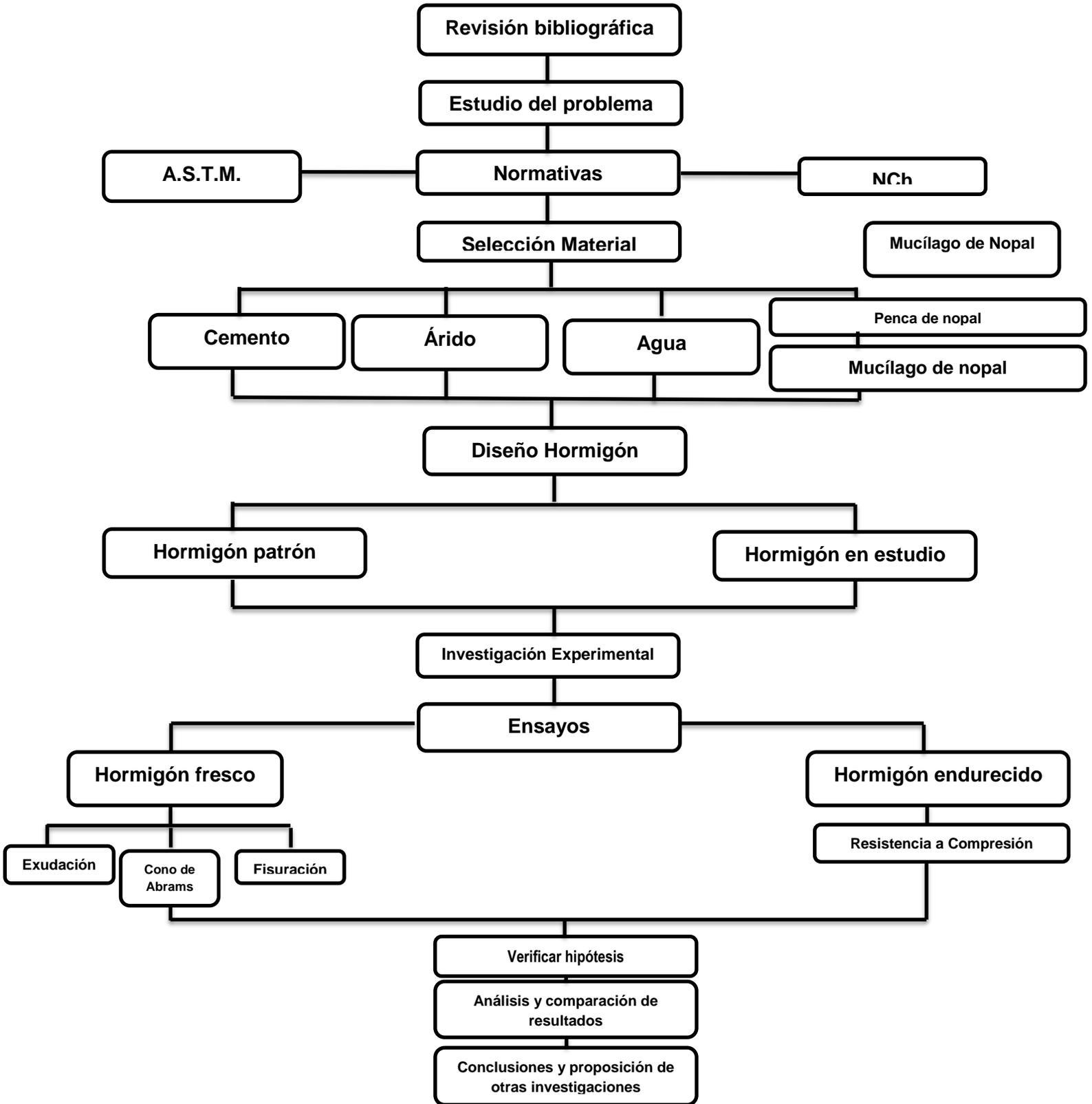
VARIABLES DEPENDIENTES				
NOMENCLATURA	GP	G30-1	G30-2	G30-3
% ADITIVO	0%	1,30%	1,95%	2,60%
ENSAYOS				
FISURACIÓN	x x x	x x x	x x x	x x x
EXUDACIÓN	x x x	x x x	x x x	x x x
AS. DE CONO	x x x	x x x	x x x	x x x
RESIST. A LA COMP.	x x x	x x x	x x x	x x x

Fuente: Elaboración Propia, 2017

Nota: "x" equivale a 1 probeta

Con la factorial de ensayo podemos apreciar que se harán 48 pruebas para los cuatro ensayos a realizar.

4.7 Plan metodológico



CAPÍTULO IV

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES A UTILIZAR

CAPÍTULO IV: CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES A UTILIZAR

4.1 Introducción

Los materiales que se utilizan en esta investigación serán de origen nacional y se manipularán en el laboratorio de hormigón de la Universidad de Valparaíso, tomando en cuenta la información de los proveedores en el caso del cemento a utilizar.

4.2 Materiales a utilizar

4.2.1 Cemento

El cemento empleado en el trabajo experimental corresponde a cemento comercial producido por una planta cementera nacional y está elaborado según la norma NCh148 of 68. El cemento utilizado es de portland puzolánico grado corriente.

4.2.2 Agua

El agua utilizada para este trabajo experimental es potable. Se usa bajo las condiciones establecidas bajo la NCh 1498 Of. 2012

Nota: No se someterá a ningún tipo de ensayo para determinar sus características.

4.2.3 Áridos

Los áridos que se utilizan en esta investigación son gravilla y arena. Los ensayos de densidad aparente, densidad real y absorción de árido grueso y árido fino son realizados conforme a lo establecido en las normas NCh1116.Of2008, NCh1117.Of2010 y NCh1239.Of2009, respectivamente.

4.2.4 Mucílago de Nopal

Nombre: Mucílago de nopal

Origen: Extracción de la plata *Opuntia ficus-indica*



Figura N°4.1: Mucílago de nopal

Fuente: Propia, 2017

4.2.4.1 Características del aditivo propuesto

Rodríguez et al (2007) estudiaron el mucílago de nopal *Opuntia Ficus- Indica* deshidratado para conocer sus propiedades fisicoquímicas, para ello evaluaron cuatro porciones de nopal de 60, 100, 150 y 200 g. obteniendo como resultado las siguientes características:

Tabla N° 4.1: Características del nopal

Características	Nopal 60	Nopal 100	Nopal 150	Nopal 200
<i>Humedad</i>	4.06±0.02	5.02±0.14	6.21±0.16	7.31±0.03
<i>Proteína</i>	14.22±1.23	13.10±1.11	12.87±1.10	11.39±1.24
<i>Grasa</i>	3.00±0.03	2.87±0.03	2.53±0.02	1.96±0.02
<i>Fibra soluble</i>	25.22±1.26	18.21±1.11	15.87±1.12	14.91±1.09
<i>Fibra insoluble</i>	29.87±1.35	33.21±1.24	37.15±1.23	41.65±1.32
<i>Ceniza</i>	18.41±1.64	19.61±1.34	22.40±1.23	23.24±1.17
<i>calcio</i>	1.35±0.04	1.76±0.05	2.71±0.06	3.30±0.08
<i>Fosforo</i>	0.38±0.01	0.34±0.01	0.33±0.01	0.29±0.01
<i>Sodio</i>	0.21±0.004	0.17±0.004	0.12±0.003	0.12±0.003
<i>Oxalato de calcio</i>	7.95±0.82	3.47±0.37	5.73±0.64	3.94±0.26
<i>Potasio</i>	5.52±0.14	6.84±0.15	6.46±0.14	6.02±0.13
<i>Relación Ca/P</i>	3.60	6.39	8.24	11.33
<i>Ph nopal fresco</i>	4.41±0.30	4.14±0.15	4.35±0.26	4.28± 0.50
<i>Ph nopal deshi.</i>	4.26±0.14	4.07±0.30	4.31±0.35	4.35± 0.20

Fuente: Physicochemical Characterization of Nopal Pads (Opuntia ficus indica) and Dry Vacuum Nopal Powders as a Function of the Maturation, Rodríguez – García (2007)

En la tabla n°4.1 se muestra las 4 porciones mencionadas anteriormente y los resultados en porcentaje con sus márgenes de error respectivamente.

CAPÍTULO V

DESARROLLO EXPERIMENTAL

CAPÍTULO V: DESARROLLO EXPERIMENTAL

5.1 Introducción

Este capítulo presenta la etapa operativa que implica todo el trabajo que se desarrolla en el laboratorio para determinar las variables descritas en el capítulo n°3. Este consiste en describir todo el proceso para caracterizar los áridos, el cual permite la determinación de la dosificación del hormigón patrón. Luego se describen los procesos relacionados con la fabricación, colocación, desmolde, curado y almacenamiento de las probetas para los ensayos.

Todos los resultados que se obtengan tendrán relación directa con los capítulos anteriores, en donde se formularon los conceptos, materiales y estructuración a realizar. Se desarrollara cada uno de los procesos que tienen vínculo con los ensayos que se dispondrán a ejecutar, dándole especial énfasis al ensayo de fisuración y exudación.

5.2 Granulometría de áridos

5.2.1 Áridos

En lo que respecta a los áridos a utilizar como son la arena y grava, estarán enmarcados con lo establecido por la NCh 165 Of. 2009 y la NCh 163 Of. 2013, donde se instaure el tamizado y la determinación de la granulometría.



Figura N° 5.1: Granulometría Grava, Tamiz en mm.

Fuente: Elaboración propia, 2017

5.2.1.1 Granulometría Grava

Este procedimiento fue ejecutado de acuerdo a lo establecido por la NCh 165 Of. 2009 y la 163 Of. 2013, el cual se realiza en el laboratorio de hormigón de la Universidad de Valparaíso, conforme a los estándares antes mencionados.

La siguiente tabla muestra el promedio de 3 ensayos realizados para determinar la granulometría de la grava.

Tabla N° 5.1: Granulometría Grava

GRANULOMETRÍA GRAVA				
MUESTRA PROMEDIO				
TAMIZ		MUESTRA	% QUE PASA	
ASTM	TAMIZ (mm) - NCH163 OF 2013		LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
3/4	19	99	90	100
3/8	9,5	33	20	55
4	4,75	4	0	10
BAJO 4		0	0	5
MÓDULO DE FINURA		6,64		

Fuente: Elaboración Propia, 2017

En la figura 5.2 muestra la banda granulométrica recomendada para la grava y el resultado del árido ensayado.

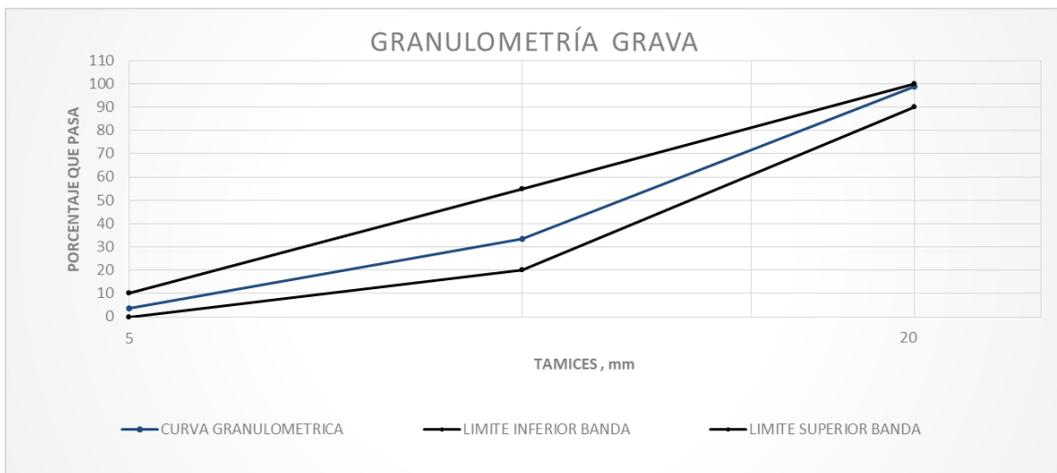


Figura N° 5.2: Granulometría Grava.

Fuente: Elaboración propia, 2017

5.2.1.2 Granulometría Arena

Este procedimiento fue ejecutado de acuerdo a lo estipulado en la NCh 165 Of. 2009 y la NCH 163 Of. 2013. La siguiente tabla presenta la granulometría realizada al promedio de 3 ensayos en la arena.

Tabla N° 5.2: Granulometría Arena

GRANULOMETRÍA ARENA					
MUESTRA PROMEDIO					
TAMIZ		% QUE PASA		BANDA GRANULOMETRICA NCH163OF2013	
ASTM	TAMIZ (mm) - NCH163 OF 2013	MUESTRA	CORREGIDO	LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
3/8	9,5	100		100	100
4	4,75	82	100	95	100
8	2,36	64	80	80	100
16	1,18	54	67	50	85
30	0,6	47	59	25	60
50	0,3	35	43	5	30
100	0,15	5	6	0	10
MODULO DE FINURA		3,12	2,5		

Fuente: Elaboración Propia, 2017

En la figura N° 5.3 presenta la granulometría corregida y la banda granulométrica recomendada por la norma para la arena.

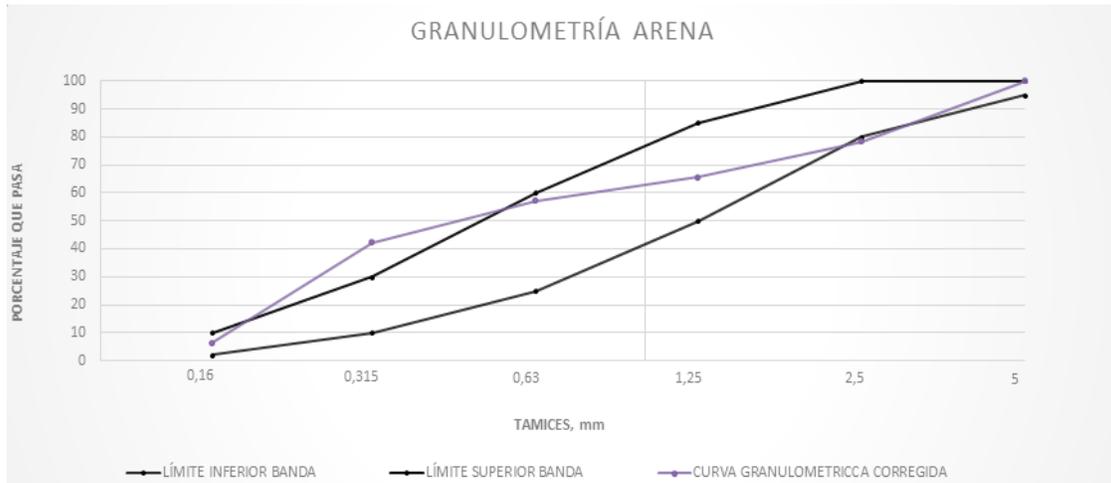


Figura N° 5.3: Granulometría Arena.

Fuente: Elaboración propia, 2017

5.2.1.3 Árido Combinado (Mezcla de arena y grava)

Con los valores de los porcentajes que pasan de la grava y la arena, se determina las proporciones de áridos mezclados, conforme al siguiente cálculo:

$$4G + 82A = 40(G+A); \text{ Con } G+A = 1$$

$$36G - 42A = 0$$

$$G = \frac{42A}{36 + 42}$$

$$G = 0,54 = 54\%$$

$$A = 0,46 = 46\%$$

Dónde,

G: Grava (Árido Grueso)

A: Arena (Árido fino)

La siguiente tabla brinda el árido combinado, con el cual se determina las proporciones de arena y grava a utilizar en la dosificación de los hormigones en estudio.

Tabla N° 5.3: Granulometría árido combinado

GRANULOMETRÍA ÁRIDO COMBINADO										
TAMIZ		% QUE PASA		54%	46%	% QUE PASA	% QUE PASA ACUM. (NCH163 Of 2013)			
ASTM	TAMIZ (mm) - NCH163 OF 2013	GRAVILLA	ARENA	ÁRIDO GRUESO (AG)	ÁRIDO FINO (AF)	(AG + AF)	CURVA 1	CURVA 2	CURVA 3	CURVA 4
1 1/2	37,5	100	100	54	46	100	100	100	100	100
1	25	100	100	54	46	100	100	100	100	100
1/2	19	99	100	53	46	99	100	100	100	100
3/8	9,5	33	100	18	46	64	45	55	65	75
4	4,75	4	82	2	38	40	30	35	42	48
8	2,36		64	0	30	30	23	28	35	42
16	1,18		54		25	25	16	21	28	34
30	0,6		47		22	22	9	14	21	27
50	0,3		35		16	16	2	3	5	12
100	0,15		5		2	2	0	0	0	2
MÓDULO DE FINURA						5,03				

Fuente: Elaboración propia, 2017

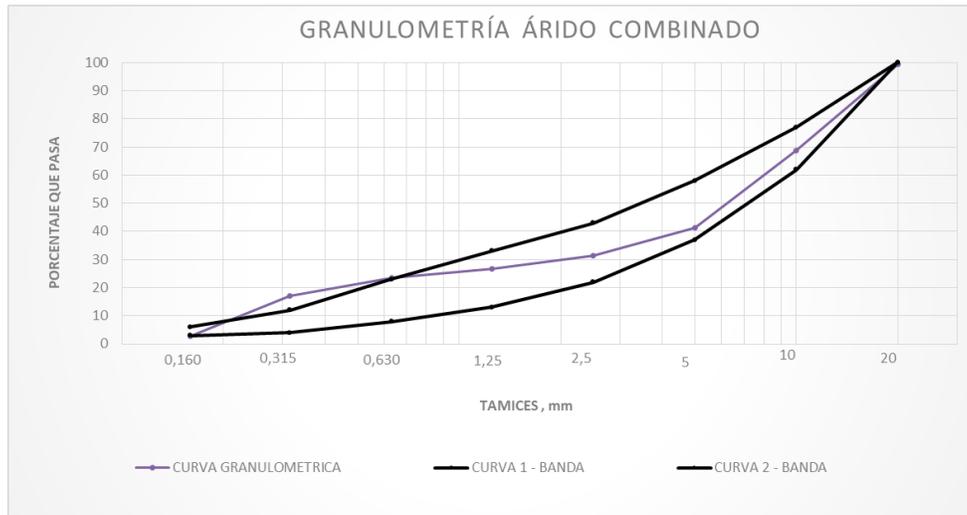


Figura N° 5.4: Granulometría árido combinado

Fuente: Elaboración propia, 2017

5.2.1.4 Densidades aparentes de los áridos

La densidad aparente en los áridos se define como la densidad en que se considera el volumen de macizo de las partículas de un árido, más el volumen de los poros y de los huecos. Este volumen corresponde a la capacidad de la medida que contiene.

Los ensayos a efectuar a los áridos para poder obtener las densidades aparentes tanto en la arena como en la grava, se realizan según la NCh 1116 Of. 2008. Con este ensayo se puede determinar la densidad aparente suelta y la densidad aparente compactada.



Figura N° 5.5: Equipo para caracterizar los áridos.

Fuente: Elaboración propia, 2017

La siguiente tabla, muestran los resultados obtenidos en laboratorio frente a las densidades de los áridos fino y grueso de esta investigación.

Tabla N° 5.4: Características de los áridos

Árido	ρ_{as} (Kg/m³)	ρ_{ac} (Kg/m³)	ρ_{Rsss} (Kg/m³)	ρ_{RS} (Kg/m³)	ρ_N (Kg/m³)	α %
Arena	1747	1864	2745	2719	2792	1,0
Grava	1570	1646	2668	2635	2724	1,3

Fuente: Elaboración propia, 2017

- ρ_{as} : Densidad aparente suelta
- ρ_{ac} : Densidad aparente compartada
- ρ_{Rsss} : Densidad real superficialmente seca
- ρ_{RS} : Densidad real seca
- ρ_N : Densidad neta
- α %: Absorción

5.3 Diseño del hormigón

Hormigón propuesto para estudio: G 30 (90) 20 8 (Ver tabla n°5.5)

Tabla N° 5.5: Diseño de hormigones

DISEÑO DE HORMIGONES	
CARACTERIZACIÓN	G30 (300 Kg/cm ²)
TIPO CEMENTO	CEMENTO PORTLAND - PUZOLÁNICO
GRADO CEMENTO	GRADO CORRIENTE
NIVEL DE CONFIANZA	90%
T.M.N DEL ARIDO	20 mm.
ASENTAMIENTO	BASE 8 cm. (TOLERANCIA ± 2 cm.)
DOSIFICACIÓN	MÉTODO IDIEM

Fuente: Elaboración propia, 2017

Mediante el método IDIEM se dosifica el hormigón propuesto, obteniendo:

- Nivel de confianza 90 % → $t = 1,282$
- Se estimara una dispersión $S = 3,5 \text{ Mpa} = 35 \text{ Kg/cm}^2$

Utilizando la fórmula de resistencia media requerida (f_r)

$$f_r = f_c + t \times S \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

Resulta;

$$f_r = 300 + 1,282 \times 35 = 345 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

Ya con este valor se puede definir la dosis de cemento estimada en función de f_r .

- a) 410 Kg/cm³ de cemento grado corriente.

Siguiendo la dosificación planteada mediante el método IDIEM se logra obtener la dosificación deseada para 1 m³ (Tabla N°5.6)

Tabla N° 5.6: Dosificación de hormigón

MATERIAL	DOSIFICACIÓN PARA 1 m ³	DOSIFICACIÓN POR COLADA DE 0,04 m ³
CEMENTO	410 Kg	16,4 Kg
ARENA	856 kg	34,24 Kg
GRAVA	1005 kg	40,2 Kg
AGUA	0,19 m ³ = 190 L	0,0076 m ³ = 7,6 L
RELACIÓN A/C	0,46	0,46

Fuente: Elaboración Propia, 2017

En la tabla n°5.7 se puede apreciar la dosificación por colada del hormigón a realizar. Esta dosificación hace 40 litros de mezcla de hormigón. Se hará un total de 12 coladas para tener mayor precisión en los resultados y cumpliendo con la cantidad total de hormigón a utilizar. El total de aditivo utilizado en los ensayos propuestos es de 2,240 litros.

Tabla N° 5.7: Dosificación de hormigón por colada

HORMIGÓN	CEMENTO (KG)	ÁRIDO FINO (KG)	ÁRIDO GRUESO (KG)	AGUA (m ³)	ADITIVO (m ³)	COLADA (m ³)
GP	16,4	34,24	40,2	0,0076	0	0,04
GP	16,4	34,24	40,2	0,0076	0	0,04
GP	16,4	34,24	40,2	0,0076	0	0,04
G30-1	16,4	34,24	40,2	0,0076	0.0002132	0,04
G30-1	16,4	34,24	40,2	0,0076	0.0002132	0,04
G30-1	16,4	34,24	40,2	0,0076	0.0002132	0,04
G30-2	16,4	34,24	40,2	0,0076	0,0003198	0,04
G30-2	16,4	34,24	40,2	0,0076	0,0003198	0,04
G30-2	16,4	34,24	40,2	0,0076	0,0003198	0,04
G30-3	16,4	34,24	40,2	0,0076	0,0004264	0,04
G30-3	16,4	34,24	40,2	0,0076	0,0004264	0,04
G30-3	16,4	34,24	40,2	0,0076	0,0004264	0,04
TOTAL	196,8	410,88	482,4	0,0912	0,0022386	0,48

Fuente: Elaboración Propia, 2017

5.4 Realización de ensayos

Para la preparación de las probetas fue necesario describir cada etapa por ensayo como se puede ver a continuación.

5.4.1 Exudación

➤ Preparación

Se cerciora de que la superficie del molde de volumen de 10 litros este limpia, seca y libre de corrosión.

➤ Llenado

El llenado del recipiente es por etapas, se llenan tres capas de igual volumen compactándolas cada una con 8 golpes empleando una barra pisón.

➤ Enrasar y registrar

La superficie del coronamiento del cilindro debe quedar perfectamente enrasada utilizando una barra pisón. Luego limpiar la superficie externa en su totalidad y registrar la masa del recipiente y la hora.



Figura N° 5.6: Ensayo de exudación

Fuente: Elaboración propia, 2017

➤ Extracción del agua

Colocar el recipiente en una superficie plana y libre de vibraciones, a una temperatura ambiente que puede oscilar entre los 18° a 24°C. Finalizando con la extracción del agua de amasado utilizando una jeringa a intervalos de 10 minutos durante los primeros 40 minutos del ensayo y, posteriormente, a intervalos de 30 minutos hasta que cese la exudación.



Figura N° 5.7: Recolección agua de exudación

Fuente: Elaboración propia, 2017

5.4.2 Compresión

Su colocación es en molde cilíndricos de 15 cm de diámetro y 30 de altura. Se llenaran 3 por hormigón tipo (GP, G30-1, G30-2, G30-3).



Figura N° 5.8: Moldes ensayo de compresión

Fuente: Elaboración propia, 2017

➤ Compactación

La compactación se realiza una vez depositado el hormigón tipo en el molde especificado hasta sobrepasar la rasante, para así introducir el vibrador en el centro y en los costados manteniendo una constante en su movimiento dentro de la mezcla hasta que la lechada aflore. Luego con un platacho se procede a retirar el excedente terminando con un enrazado con llana.



Figura N° 5.9: Hormigón en molde de ensayo de compresión

Fuente: Elaboración propia, 2017

➤ Desmoldar

Concluido un tiempo de 24 horas se procede al desmolde de las probetas, procurando que estas no se golpeen para evitar imperfecciones en sus dimensiones.



Figura N° 5.10: Probetas para ensayar compresión

Fuente: Elaboración propia, 2017

➤ Curado

Una vez concluida la etapa de desmoldar las probetas, estas se sumergen en agua saturada con cal en un periodo de 7 días corridos. Ya acabado ese tiempo se retiran y se colocan en un lugar fresco, no exponiéndolos a ningún tipo de ambiente que pueda alterar su normal proceso de curado. Terminando los 28 días se dispone a ensayar.

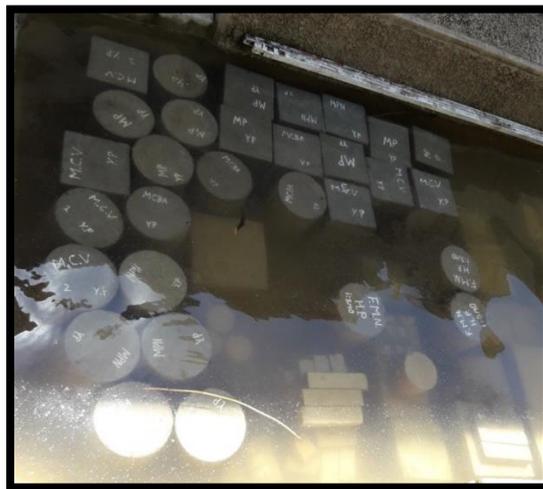


Figura N° 5.11: Curado de probetas

Fuente: Elaboración propia, 2017

5.4.3 Fisuración

Su preparación consiste en depositar el hormigón tipo en el molde rectangular de dimensiones 40 x 60 x 6 cm. y ensayar de inmediato.

➤ Compactación

La compactación se realiza una vez depositado el hormigón al molde especificado hasta sobrepasar la rasante, para así introducir el vibrador en el centro y en los costados manteniendo una constante en su movimiento dentro de la mezcla hasta que la lechada aflore. Luego con un platacho se procede a retirar el excedente terminando con un alisado con llana.



Figura N° 5.12: Hormigón para ensayo de fisuración

Fuente: Elaboración propia, 2017

➤ Ensayo

Ya con el proceso de compactación listo, se procede a ensayar el hormigón, dejando las solicitaciones en su lugar para interactuar con el hormigón, se mide durante 4 horas los efectos que pueda ver en estado plástico.

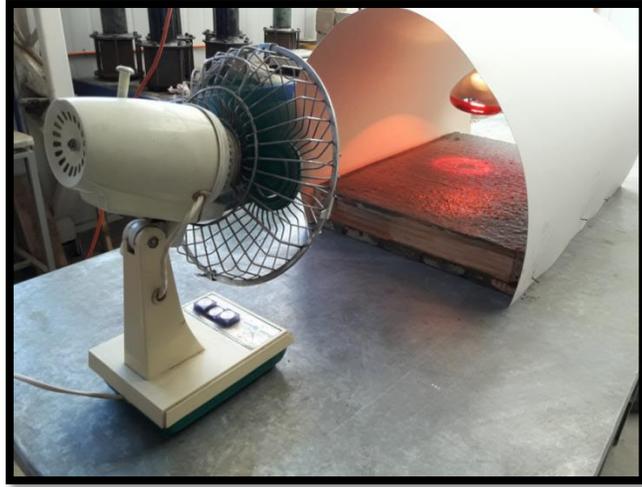


Figura N° 5.13: Ensayo de fisuración

Fuente: Elaboración propia, 2017

Se toma las variables cada 4 horas, mediante un anemómetro para medir velocidad del viento del ventilador y la temperatura dentro del túnel del ensayo elaborado.



Figura N° 5.14: Anemómetro utilizado

Fuente: Elaboración propia, 2017



Figura N° 5.15: Termómetro utilizado

Fuente: Elaboración propia, 2017

. Como se mencionó en la elaboración del ensayo de fisuración en el capítulo 3, la toma de datos se dará cada una hora. Luego de pasadas las 4 horas se toman las observaciones pertinentes y se desecha el hormigón ya que no es necesario el hormigón en estado endurecido por no ser relevante en esta investigación.

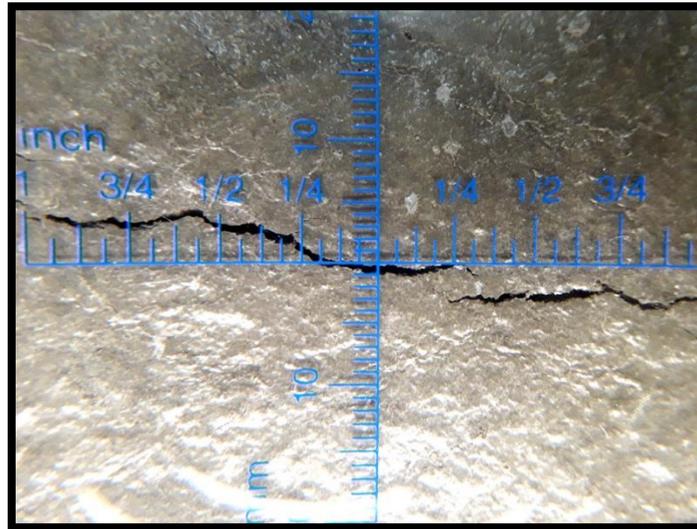


Figura N° 5.16: Medición fisuras por retracción plástica

Fuente: Elaboración propia, 2017

5.4.4 Asentamiento de cono

Cuando se está hormigonando, el hormigón se mantiene en estado fresco y con ello se debe otorgar una docilidad adecuada, para el uso que uno desee darle. El asentamiento del hormigón se mide mediante la NCh of 1019 Of. 2009

Este ensayo permite medir la docilidad del hormigón fresco por la disminución de altura que experimenta, no siendo válido para asentamientos inferiores a 2 cm o mayores a 18 cm.



Figura N° 5.17: Asentamiento de cono

Fuente: Elaboración propia, 2017

CAPÍTULO VI

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE ESTUDIO

CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y ANÁLISIS DE ESTUDIO

6.1 Introducción

En este capítulo se presenta el análisis de los resultados obtenidos experimentalmente en el laboratorio. Cumplido previamente con lo estipulado en los capítulos 3, 4 y 5.

Se conoce el proceder del análisis desde la fabricación del hormigón hasta el desarrollo del mismo, donde se perseguirá obtener la medición de las probetas desde ensayos en su estado fresco como en su estado endurecido, siendo este ensayo a los 28 días, elaborado con cada muestra cómo se indicó en el capítulo anterior.

Este capítulo se compondrá de dos partes, los resultados de los ensayos en el hormigón en estado fresco y los resultados de los ensayos en hormigón en estado endurecido.

6.2 Primera etapa: Hormigón en estado fresco

6.2.1 Asentamiento de cono

6.2.1.1 Propiedades y resultados

Mediante el orden que plantea el estudio, se muestra en la tabla n°6.1 los valores obtenidos en cuanto al asentamiento del hormigón en estado fresco, detallando las cantidades de mucílago de nopal incorporadas a cada colada.

Tabla N° 6.1: Muestra promedio asentamiento en hormigones tipo

TIPO DE HORMIGÓN	ASENTAMIENTO	
	CM	%
GP	7,5	100
G30-1	6,5	87
G30-2	6	80
G30-3	5	67

Fuente: Elaboración propia, 2017

Como se muestra en la tabla n°6.1 el asentamiento del hormigón fue disminuyendo ligeramente con cada adición de mucilago de nopal, lo cual indica que está dentro del rango $5 \leq a \leq 12$ que corresponde a un hormigón de características plásticas.

En la figura n°6.1 se observa gráficamente los distintos asentamientos logrados por cada tipo de hormigón.

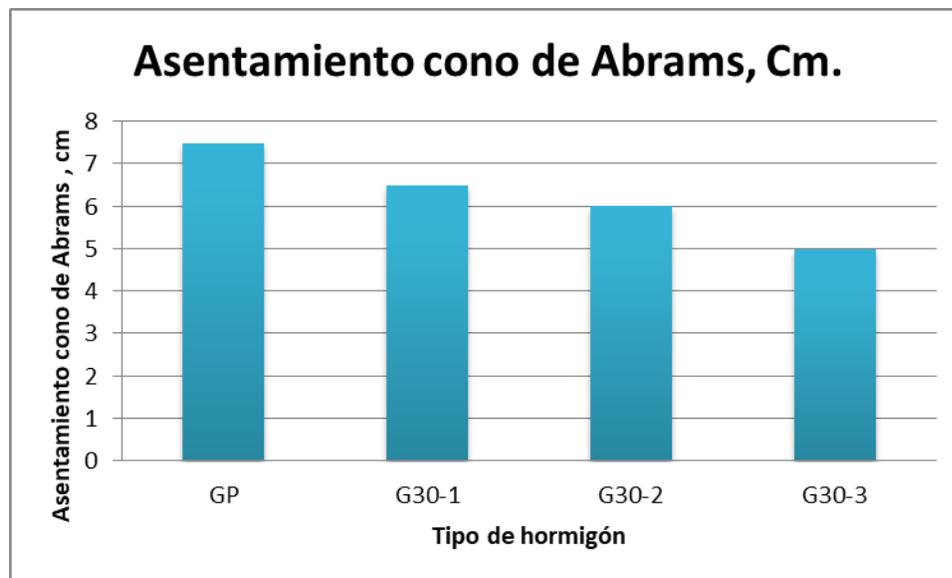


Figura N° 6.1: Asentamiento cono de Abrams

Fuente: Elaboración propia, 2017

En el grafico se trasluce que, a medida que se incorpora más mucilago de nopal a la mezcla, menor es el asentamiento que se logra.

La figura n°6.2 muestra los asentamientos en un gráfico que muestra los porcentajes con respecto al hormigón patrón de cada una de las dosis empleadas de mucilago de nopal por hormigón tipo.

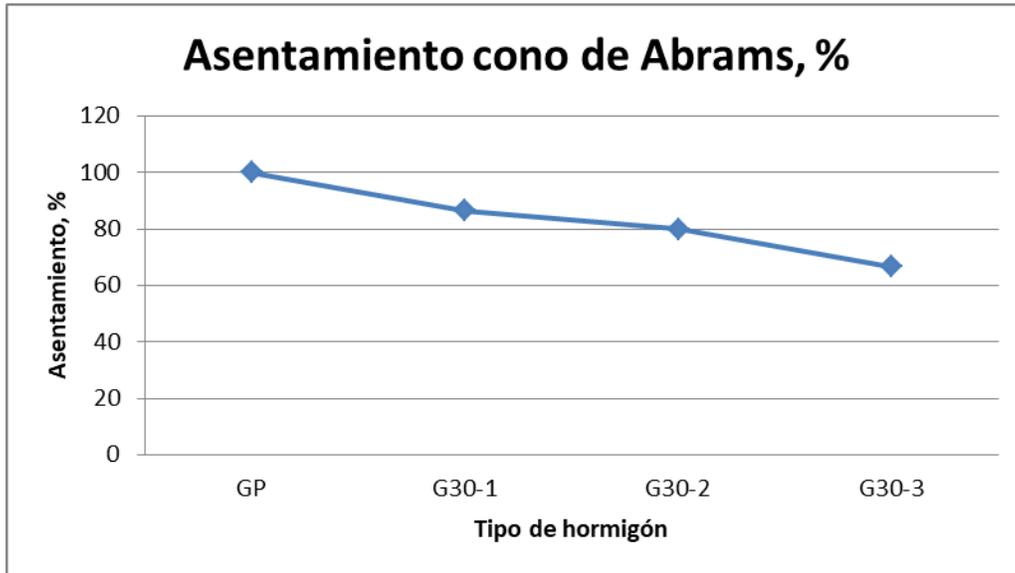


Figura N° 6.2: Asentamiento cono de Abrams, %

Fuente: Elaboración propia, 2017

Se distingue de este grafico las variaciones de cada asentamiento con respecto del hormigón patrón, este obteniendo un 100% con un 7,5 cm de asentamiento, enseguida sigue el hormigón G30-1 que se le adiciona 1,3% de aditivo, obteniendo un 87%, luego con un 80 % el G30-2 adicionándole 1,95% de aditivo y finalmente con un 60% el G30-3 adicionando 2,6% de aditivo.

Nota: Los porcentajes de aditivos son relacionados al peso del cemento.

6.2.2 Exudación

6.2.2.1 Propiedades y resultados

En esta etapa del estudio se presentan los detalles de los valores obtenidos en virtud de la experiencia.

Definidos los parámetros establecidos para encontrar las dosis de mucilago de nopal por muestra, se procede a realizar la prueba enmarcada por la norma ASTM C 232, método A, ya definida la base, se procede a ejecutar los ensayos para concluir resultados.

Las cantidades determinadas por la dosificación, en cuanto a cemento, agua y áridos, se mantuvieron fijas, teniendo como variable la cantidad de mucilago de nopal incorporada a la muestra elaborada de 40 litros, exceptuando la del hormigón patrón (sin aditivo).

Analizando el compendio punto por punto y según los datos obtenidos en este estudio, se pueden relacionar una tabla resumen que da a conocer los resultados absolutos y porcentajes adquiridos en función del experimento, con ello se puede dar una mayor claridad al cuadro estudiado, resumiendo los detalles de esta investigación con respecto a la exudación.

Tabla N° 6.2: Resumen de valores de exudación

HORMIGÓN	MUCÍLAGO DE NOPAL	EXUDACIÓN	
		ABSOLUTO (ml)	RELATIVA (%)
GP	0%	61,5	100
G30-1	1,3%	58	94
G30-2	1,95%	54	88
G30-3	2,6%	49	80

Fuente: Elaboración propia, 2017

De la tabla anterior se trasluce el siguiente gráfico:

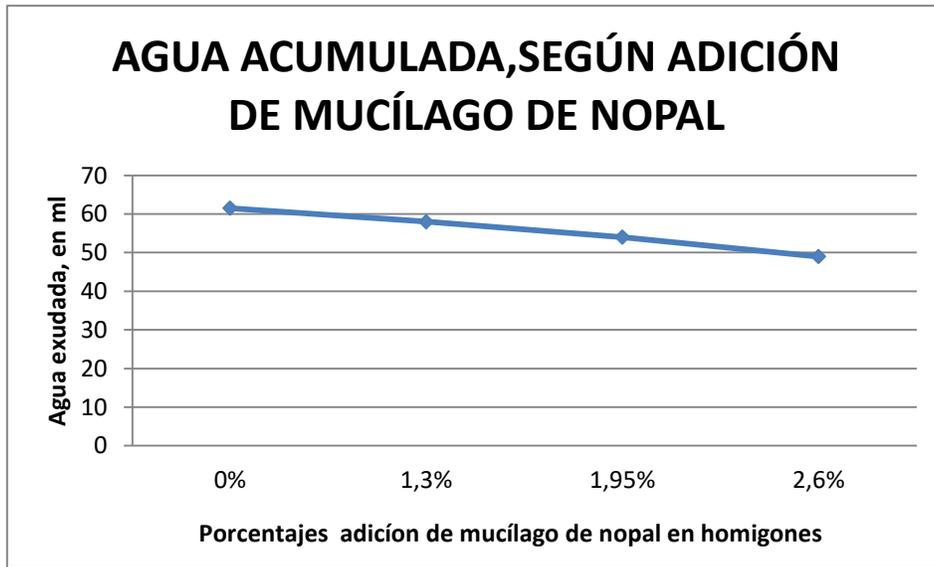


Figura N° 6.3: Gráfico agua acumulada, en ml vs adición de mucílago de nopal

Fuente: Elaboración propia, 2017

Si observamos el gráfico se deja ver que la adición del mucílago de nopal da indicios que disminuye la exudación y la retrasa. Observando en la tabla resumen, existe un cambio en cuanto a que el agua que emerge a la superficie es menor en comparación con la del hormigón patrón.

Se desprende de las comparaciones expuestas que cada dosis empleada de mucílago de nopal, puede retrasar la exudación y mantener por más tiempo el hormigón en estado plástico.

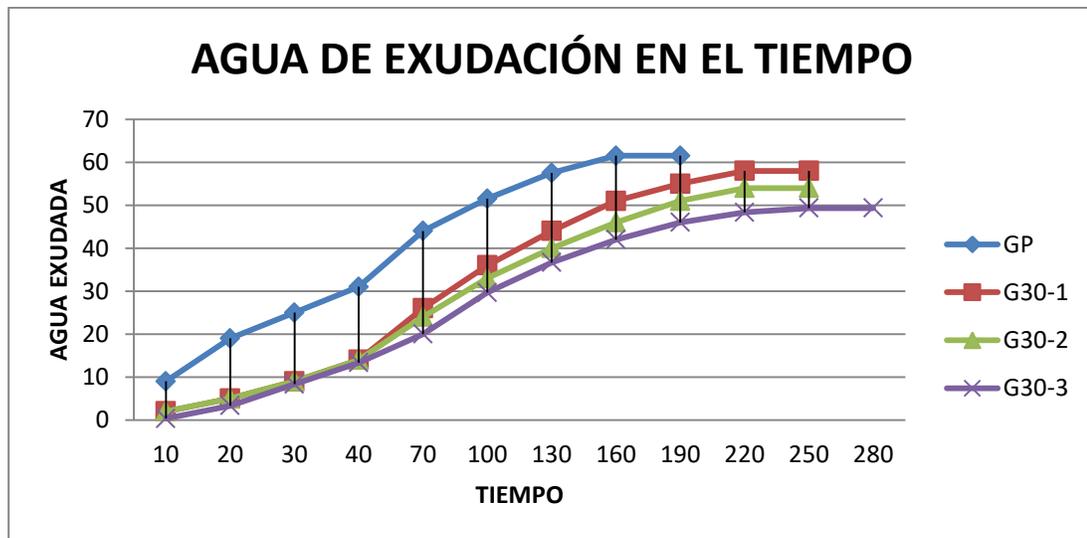


Figura N° 6.4: Gráfico resumen de desarrollo de exudación en el tiempo

Fuente: Elaboración propia, 2017

Se desprende de las comparaciones expuestas, que cada dosis de mucílago de nopal resulta concluyente a la hora de expeler la exudación, quedando demostrado en la Figura 6.4, donde se aprecia una disminución de un 20% de agua de amasado en la superficie del hormigón G30-3, el cual contiene la mayor dosis de mucílago de nopal.

6.2.3 Fisuración

6.2.3.1 Propiedades y resultados

Definida la metodología a ocupar, se toman las variables relevantes para poder determinar que hormigón estaba en condiciones más desfavorables, en cuanto al riesgo de fisuración y contrastarlo con los resultados obtenidos en el ensayo de fisuración con la adición de mucílago de nopal. También se comparan las fisuras obtenidas en el ensayo, de tal manera de ver el área afectada en cada hormigón tipo.

Se realizaron 3 ensayos por cada hormigón tipo haciendo un total de 12 ensayos los cuales se describirán a continuación.

En la tabla n°6.3 se observa las áreas de fisuras que afectan las probetas de ensayo. Se observa que el hormigón patrón es el más afectado dentro del ensayo, pero a medida que se le va agregando mucílago de nopal en los porcentajes descritos en capítulos anteriores se disminuyen las fisuras hasta neutralizarlas completamente.

Tabla N° 6.3: Comparación de áreas de fisuras en mm²

TIPO DE HORMIGÓN	PROBETA 1 mm²	PROBETA 2 mm²	PROBETA 3 mm²	TOTAL mm²
GP	115,97	150,4	198,53	464,9
G30-1	44,17	74,83	141,03	260,03
G30-2	22,4	40,7	53,2	116,3
G30-3	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia, 2017

Si observamos los resultados del ensayo de fisuración a lo que respecta el registro visual, podemos sin lugar a dudas notar que existe una variante importante de los hormigones tipo. Se puede apreciar que forzando las sollicitaciones de velocidad de viento y temperatura se produjo en el hormigón patrón fisuras de retracción plástica. Pero a medida que se le va agregando el aditivo propuesto se van disminuyendo llegando a la neutralización de ellas como se puede apreciar en las pruebas en el hormigón G30-3.

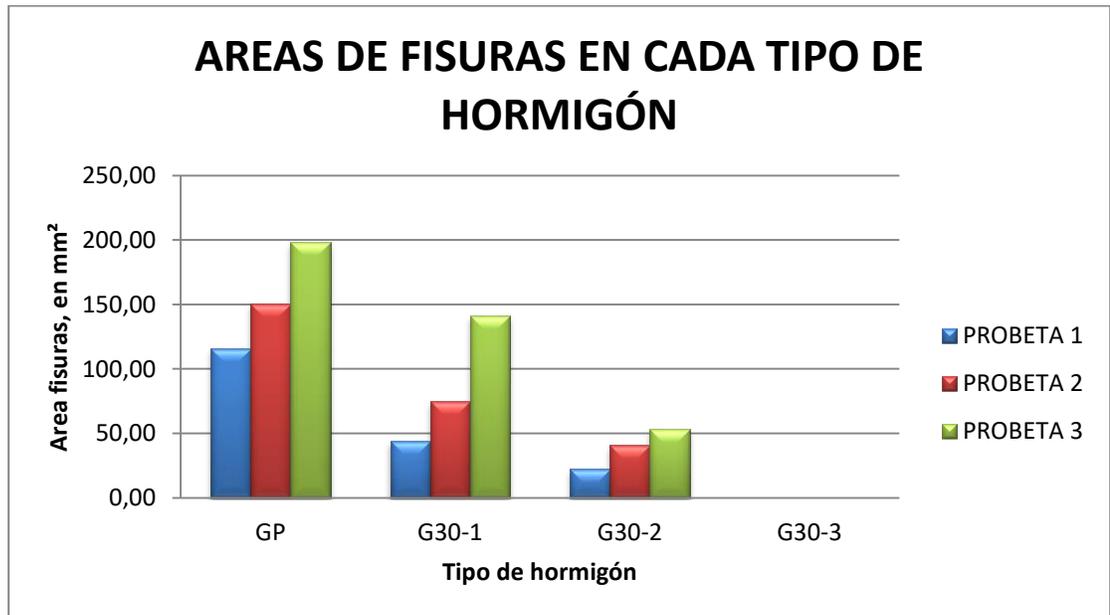


Figura N° 6.5: Áreas de fisuras en cada tipo de hormigón

Fuente: Elaboración propia, 2017

Tabla N° 6.4: Número fisuras en hormigones tipo

TIPO DE HORMIGÓN	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	TOTAL
	n°	n°	n°	n°
GP	4,0	4,0	3,0	11,0
G30-1	2,0	2,0	2,0	6,0
G30-2	2,0	1,0	1,0	4,0
G30-3	0,0	0,0	0,0	0,0

Fuente: Elaboración propia, 2017

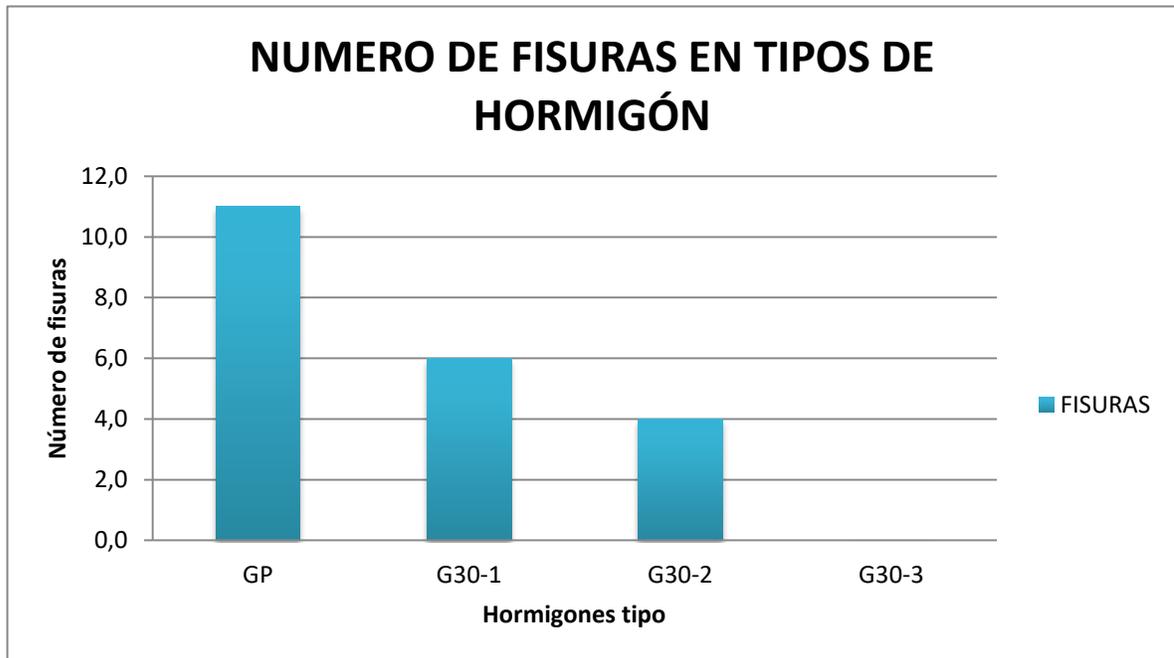


Figura N° 6.6: Cantidad total de fisuras en tipos de hormigón

Fuente: Elaboración propia, 2017

Tabla N° 6.5: Resultados generales fisuración

TIPO DE HORMIGÓN	PROBETA 1 FISURAS		PROBETA 2 FISURAS		PROBETA 3 FISURAS		TOTAL FISURAS			
	N°	mm ²	N°	mm ²	N°	mm ²	N°	mm ²	% EN N°	% EN ÁREA
GP	4	115,97	4	150,4	3	198,53	11	464,9	100	100
G30-1	3	44,17	2	74,83	2	141,03	6	260,03	54,55	55,93
G30-2	1	22,4	2	40,7	1	53,2	4	116,3	36,36	25,02
G30-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia, 2017

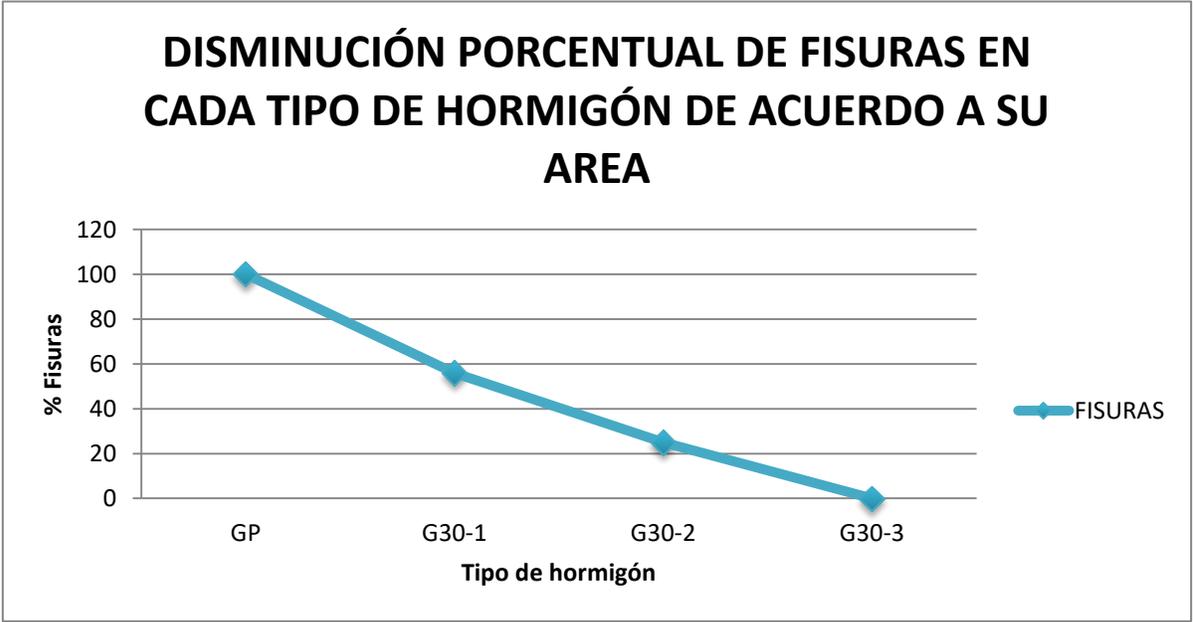


Figura N° 6.7: Disminución porcentual de fisuras en cada tipo de hormigón de acuerdo a su área

Fuente: Elaboración propia, 2017

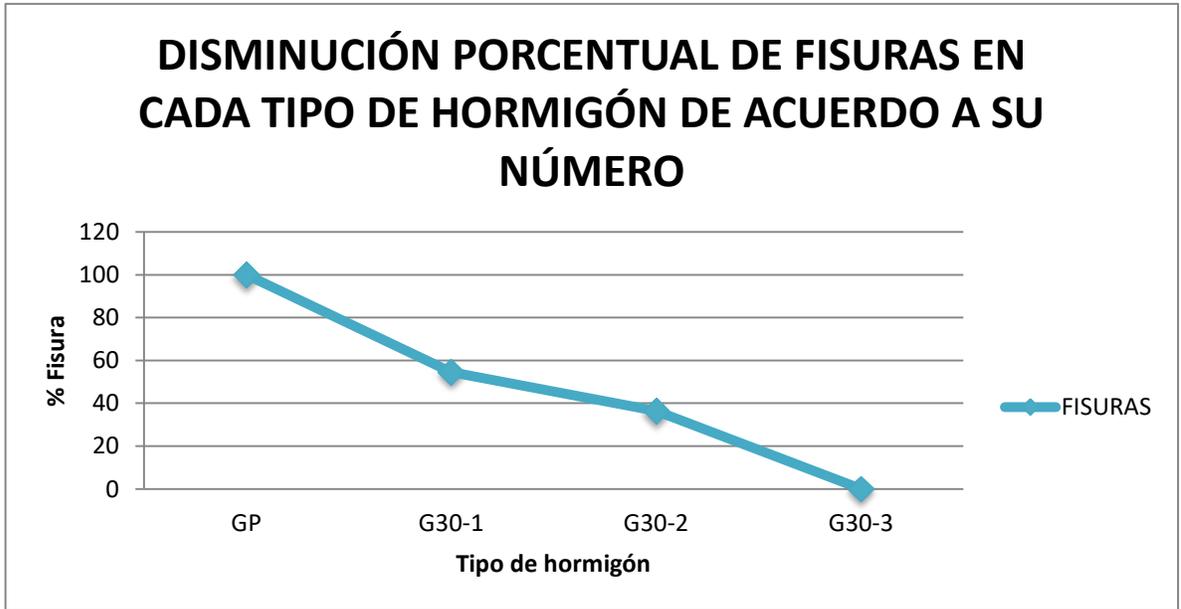


Figura N° 6.8: Disminución porcentual de fisuras en cada tipo de hormigón de acuerdo a su número

Fuente: Elaboración propia, 2017

Se desprende de las figuras n°6.7 y n° 6.8 que existe una disminución en el área y la cantidad de fisuras respectivamente.

Se deja en evidencia que se al agregar la última dosis estudiada de mucílago de nopal, este ayuda al hormigón a no producirse fisuras por retracción plástica.

Tabla N° 6.6: Variables estudiadas por hormigón tipo

VARIABLES	GP	G30-1	G30-2	G30-3
TEMPERATURA DEL AIRE, °C	26,7	27,3	26,5	26,5
TEMPERATURA DEL HORMIGON, °C	22	21	22	21
HUMEDAD RELATIVA, %	86	88	83	83
VELOCIDAD DE VIENTO, Km/h	12	12	12	12

Fuente: Elaboración propia, 2017

Las variables descritas anteriormente, afectan la rapidez de evaporación del agua en la superficie de hormigón, lo que trae consigo la posible generación de fisuras por retracción plástica. En esta investigación, si bien se tomaron las variables por cada tipo de hormigón, no es posible poder determinar la rapidez de evaporación de agua, por no presentar las características propias de este fenómeno, que son una baja humedad relativa y una alta temperatura del hormigón.

La Norma ACI 305 y la NCh 170 Of 2016, describen el poder determinar la rapidez de evaporación de la humedad superficial cuando se produce el hormigonado en clima caluroso, donde la temperatura del hormigón esta sobre los 30°C y la humedad relativa es menor al 60%. Ahí es donde los datos obtenidos se pueden introducir a un gráfico universal (figura n° 6.9) para determinar la rapidez de evaporación de agua en la superficie del hormigón y evitar posible fisuramiento de este.

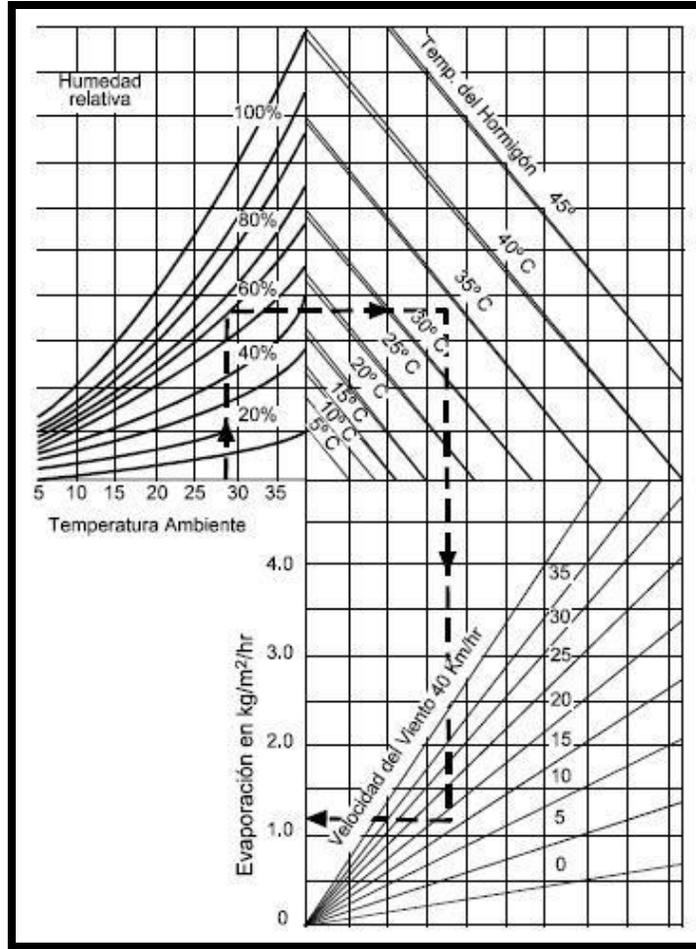


Figura N° 6.9: Efecto de la temperatura del hormigón y del aire, la humedad relativa y la velocidad del viento sobre la rapidez de evaporación de la humedad superficial del hormigón

Fuente: ACI 305, 2006

El grafico presenta una ayuda para poder controlar el hormigonado en terreno, donde el tiempo es caluroso y es posible generarse fisuras en el hormigón. No fue el caso en esta investigación, ya que fue una experiencia en laboratorio, donde el hormigonado fue en clima normal y donde se busca solamente determinar el efecto del mucílago de nopal en el hormigón con respecto a las fisuras, forzando las solicitaciones más importantes para que se generen las fisuras en el hormigón en estado plástico, que fue aumentar la velocidad de viento y la temperatura del aire para secar su superficie y generar fisuras como paso en el hormigón patrón. Sin embargo, a simple vista, se puede analizar las variables obtenidas para poder determinar que hormigones son los más desfavorables en esta experiencia.

Tabla N° 6.7: Hormigón más desfavorable

N°	HORMIGÓN MÁS DESFAVORABLE
1	G30-2
2	G30-3
3	HP
4	G30-1

Fuente: Elaboración propia, 2017

Como se aprecia en la tabla n°6.15, están los hormigones más desfavorables de acuerdo a las variables mencionadas, las cuales corresponden a velocidad de viento, humedad relativa del aire, temperatura del aire y temperatura del hormigón. Si bien, no poseen características como para formar fisuras por su humedad relativa y temperatura del hormigón, gracias al aumento de velocidad de viento y temperatura del aire se pudo manejar la situación para poder generar fisuras, apreciándose que el hormigón patrón estaba dentro de los menos desfavorables y fue el que más fisuras obtuvo. En cambio, el G30-2 que es el más desfavorable del grupo de hormigones, gracias a la incorporación de mucílago de nopal, obtuvo menos fisuras que el hormigón patrón.

Los resultados con la adición de mucílago de nopal como aditivo en las imágenes del ensayo de fisuración nos muestran que aunque las variables sean desfavorables, el mucílago de nopal ayuda a no generar retracciones que generen fisuras.

6.3 Segunda etapa: Hormigón en estado endurecido

6.3.1 Generalidades

En esta etapa se evalúan los hormigones tipo en estado endurecido mediante su resistencia mecánica. Para ello, se decide medir su resistencia a la compresión.

Si bien este ensayo no contribuye al objetivo principal que busca determinar si el mucílago de nopal disminuye las fisuras por retracción plástica, se decidió seguir con una línea investigativa para determinar si el mucílago de nopal en las cantidades mencionadas en el capítulo 4 puedan afectar a su resistencia.

Los resultados que se obtendrán de esta etapa, vendrán proporcionados por el laboratorio de hormigón, que cuenta con los equipos necesarios para el desarrollo de esta experiencia.

6.3.2 Resistencia a la compresión

Se presentaran los resultados que se obtuvieron por el ensayo a compresión que, como se mencionaba en capítulos anteriores, serán tres probetas cilíndricas de 30 cm de altura y 15 cm de diámetro, las cuales terminando el periodo de curado de 28 días se procederá a ensayar dentro del marco normativo que nos indica la NCh 1037 Of. 2009.

Tabla N° 6.8: Resultados resistencia a compresión por cada hormigón tipo en estudio.

HORMIGÓN TIPO	Resistencia Compresión	Promedio	Resistencia Relativa	Desviación Estandar	Coefficiente de variación
	(Kgf/cm ²)	(Kgf/cm ²)	(%)	(Kgf/cm ²)	(%)
GP	304,3	302,3	100	1,95	0,60
	300,4				
	302,2				
G30-1	334,2	330,2	109,2	3,78	1,17
	329,6				
	326,7				
G30-2	375,7	379,5	125,5	3,40	1,05
	380,4				
	382,3				
G30-3	425,2	424,4	140,4	3,81	1,18
	427,8				
	420,3				

Fuente: Elaboración propia, 2017

El siguiente grafico representa los valores obtenidos de las resistencias medias a compresión a los 28 días de edad.

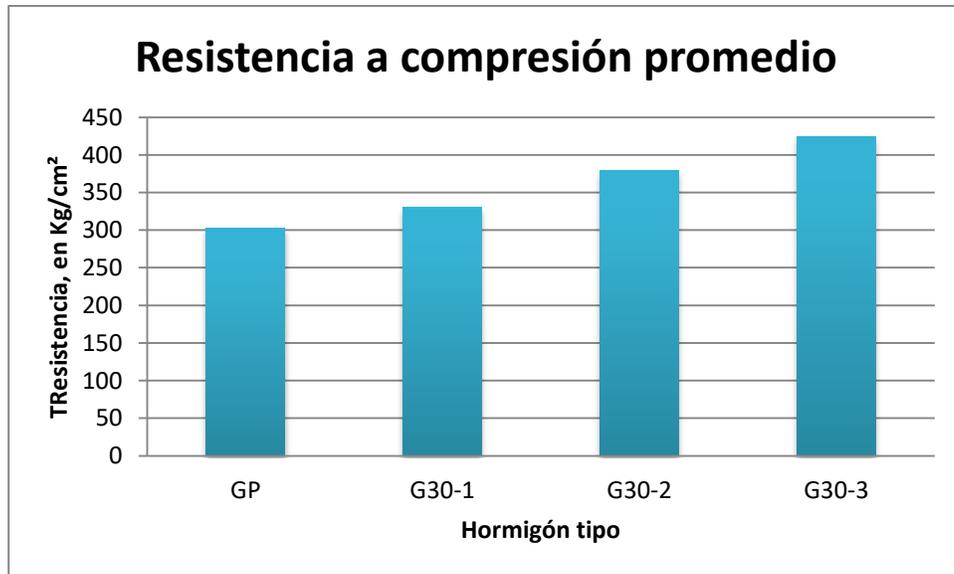


Figura N° 6.10: Resistencia a compresión promedio en hormigón tipo.

Fuente: Elaboración propia, 2017

Se desglosa de la figura N° 6.10, que según los valores experimentales llevados a cabo en laboratorio, se aprecia un beneficio en cuanto a este tipo de esfuerzo, con ello podemos concluir un aumento en su resistencia a compresión. Se visualiza según los resultados obtenidos un aumento considerable y gradual en los hormigones con adiciones de mucílago de nopál. Elevando su resistencia a compresión de los hormigones tipo G30-1, G30-2 y G30-3 en un 9,2%, 25,5% y en un 40,4% respectivamente.

A continuación se observan los porcentajes definidos por la resistencia relativa a compresión. Todos los valores están en relación porcentual con el hormigón patrón.

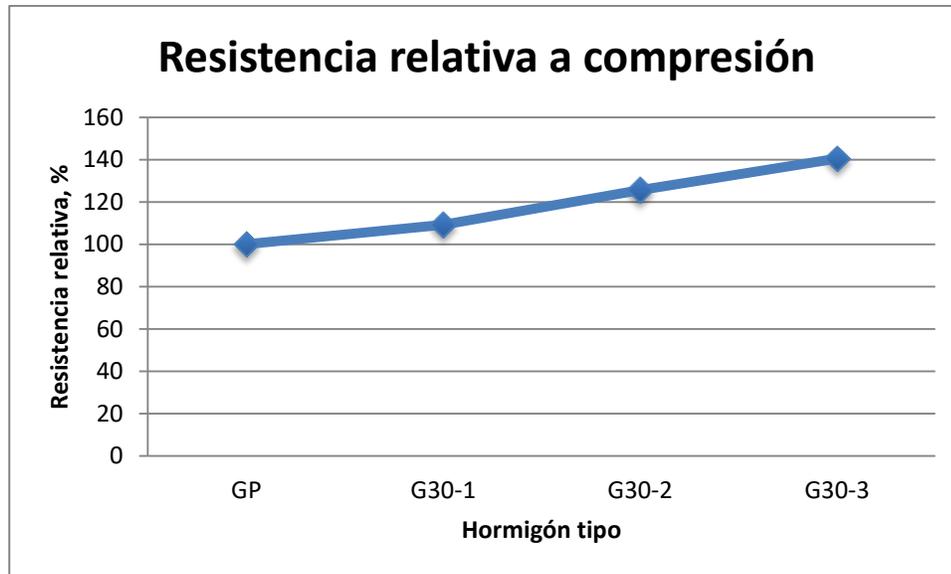


Figura N° 6.11: Resistencia relativa a compresión de hormigones tipo

Fuente: Elaboración propia, 2017

De la figura 6.11 podemos distinguir un gráfico que demuestra que existe un aumento en la resistencia de los hormigones tipo sobre el hormigón patrón. Se trasluce que al agregar mayor dosis de mucílago de nopal, la resistencia va en aumento si comparamos la resistencia del hormigón G30-1 y G30-3.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES

7.1 Generalidades

En este capítulo se da por concluida la experiencia, en donde se dan respuestas a los objetivos planteados y a la hipótesis que dio origen a esta tesis, basándose en los resultados obtenidos en la experiencia realizada.

7.2 Resultados y conclusiones de la experiencia

De acuerdo a los resultados obtenidos en esta experiencia se pueden inferir las siguientes conclusiones:

La incorporación de mucílago de nopal determina una ligera disminución del asentamiento del hormigón que es proporcional a la dosis de mucílago de nopal incorporado. Sin embargo, se observó que la mezcla se sigue manteniendo trabajable.

El efecto del mucílago de nopal sobre la exudación del hormigón es considerable. Con dosis de 2,6% del peso del cemento la exudación se reduce prácticamente en un 20%.

En general, la incorporación de mucílago de nopal en los hormigones fue fundamental en el proceso de disminuir las fisuras por retracción plástica. En la visualización de fisuras se pudo corroborar la hipótesis de tal manera de llegar, con la dosis de 1,95% de aditivo, a disminuir las fisuras en un 76,55% de acuerdo a su área y con un 63,64% de acuerdo al número de fisuras con respecto al hormigón patrón. Con la dosis máxima de esta experiencia que era de 2,6% de aditivo, las fisuras disminuyeron en su totalidad.

La adición de mucílago de nopal como aditivo tuvo una reacción beneficiosa en cuanto al ensayo a compresión del hormigón. La incorporación de este aditivo determinó un aumento considerable a su resistencia a la compresión, que puede considerarse un descubrimiento que le da mayor importancia a este estudio ya que en el mejor de los casos la resistencia aumento en un 40,4 % sobre la resistencia del hormigón patrón.

Como conclusión final ha quedado demostrada que, la adición de mucílago de nopal al hormigón como aditivo, presenta beneficios en cuanto a reducción de fisuras y aumento de resistencia.

7.3 Uso del hormigón con aditivo de mucílago de nopal

Los principales usos que se le puede adjudicar este aditivo son múltiples, dentro de los cuales figuran:

- Pavimentos.
- Pisos de hormigón en centros de distribución.
- Pisos industriales.
- Pisos de bodega.
- Losas.
- Elementos prefabricados en hormigón.

7.4 Propuestas futuras investigaciones

- Indagar en otro tipo de baba de cactus, que genere discusión en la parte técnica y mecánica.
- Variar los porcentajes descritos en esta investigación.
- Variar el tamaño máximo nominal del árido.
- Mejorar el sistema empleado para el ensayo de fisuración contrastando resultados con el utilizado en esta investigación.

Bibliografía

- Aïtcin, C.** (1998). *High-performance concrete*. First ed. modern concrete technology ed. e.f. spon. vol. 5: e & fn spon, 592.
- Amin, E., Awad, O.,** (1970). *The mucilage of Opuntia Ficus indica*. Carbohydrate Research 15,159-16.
- Amariles, G.** (2001). *Estudio de la vulnerabilidad sísmica del tanque 23 perteneciente al sistema de distribución de la red de acueducto de la ciudad de Manizales*. (Especialista en estructuras), Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales, Colombia.
- Barlow, P.** (1993). *Causas, Evaluación y Reparación de Fisuras en Estructuras de Hormigón*.
- Barreda, M** (2008). *Tiempo de fraguado del hormigón*, Universidad tecnológica nacional Facultad regional la plata, Argentina.
- Bentz, D. P., & Snyder, K. A.** (1999). *Protected paste volume in concrete: Extension to internal curing using saturated lightweight fine aggregate*. Cement and Concrete Research, 29(11), 1863-1867.
- Bremner, T.** (2001). *Environmental aspects of concrete: Problems and solutions*. Invited paper for the plenary session of the 1st All Russian Conference on Concrete and Reinforced Concrete.
- Brito, Á.** (2003). *Recomendaciones para el control del agrietamiento por retracción en muros y losas de hormigón armado*. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile.
- Caballero, F.** (2008). *Secado, absorción de agua y difusión de cloruros en concreto conteniendo extracto de nopal*. Santa Cruz xoxocotlán, Mexico.
- Cabrerizo F.** (2012). *Fisuras en el hormigón*, universidad del valle.
- Cano Barrita, P. F de J., Alcántara Hernández, R. M., Chávez Valenzuela, D., Ruiz García, S., Álvarez Soto, H.,** (2005). *Cactus extract as a low-cost viscosity enhancing admixtures for self-consolidating concrete*, en proceso.
- Cárdenas, A., Higuera-Ciapara, I., & Goycoolea, F. M.** (1997). *Rheology and Aggregation of Cactus (Opuntia ficus-indica) Mucilage in Solution*. In journal of the professional association for cactus development (Vol. 2, pp. 152-159)
- Chandra, S., eklund, I., & r., v. r.** (1998). *Use of cactus in mortars and concrete, cement and concrete research*. In (Vol. 28, pp. 41-51).
- Egaña, J.** (2014). Ass. Hormigones. *Tratamiento de grietas. Pavimentos ampliación plataforma estacionamiento de aviones. Aeropuerto AMB Método para dosificar hormigones*.
- Gaibur, K.** (2016). *Evaluación de la influencia de adición de viruta de acero respecto a las propiedades físicas y mecánicas en la retracción hidráulica del hormigón*.

- García, P.** (2007). *Verificación de la dosificación de fibras sintéticas para neutralizar las fisuras causadas por contracción plástica en el concreto.*
- Garín et al,** (2012). *Influence of concrete curing on concrete compressive strength: an experimental study.*
- Grant et al.,**(1993). *Causas, evaluación y reparación de fisuras en estructuras de hormigón.*
- ICH,** (2001) *Comité durabilidad del hormigón.*
- López, E.** (2000). *Utilización de productos naturales en la clarificación de aguas para consumo humano.* Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería Química. ISPJAE. Universidad de la Habana. La Habana.
- Metha, K, Monteiro Paulo.** (1998). *Estructura, propiedades y materiales,* México.
- Munizaga, G.** (2009). *Fisuración por retracción en hormigones: influencia del tipo de cemento.*
- Neville, A.** (1999). *Tecnología del concreto,* Instituto Mexicano del Cemento y Concreto A.C., México.
- Powers, T.** (1947). *A discussion of cement hydration in relation to the curing of concrete, in proceedings of the highway research board, washington dc.* p. 178-188
- Puig, C.** (2011). *Comportamiento mecánico del hormigón con fibras metálicas.*
- Rixom, R.** (1999). *Chemical Admixtures for Concrete.* Routledge.
- Rodríguez, G.** (2007). *Physicochemical Characterization of Nopal Pads (Opuntia ficus indica) and DRY Vacuum Nopal Powders as a Function of the Maturation.* Plant Foods Hum Nutr Vol. 62, pp. 107-102.
- Sáenz, C.** (2004). *Compuestos funcionales y alimentos derivados de Opuntia spp.* p. 211-222. In: Esparza, G., Valdez, R. y Méndez, S. eds. *El Nopal, Tópicos de actualidad.* Universidad Autónoma de Chapingo, México.
- San Juan, M.A., and Moragues, A.,** *Model for predicting plastic shrinkage of polypropylene reinforced mortars,* J. Mat. Sci. (29) (1994) 2821-2825.
- Torres, A.** (2010). *Propiedades del nopal para mejorar la durabilidad de materiales de construcción,* Instituto Mexicano Del Transporte.
- Videla, C.** (2010). *Curso de Tecnología del Hormigón.* Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.
- Zabaleta, H.** (1992). *Compendio de Tecnología del Hormigón (2° Edición).* Editorial: Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile. Santiago, Chile.

ANEXOS

ANEXOS DE LA EXPERIENCIA

ANEXO N°1: GRANULOMETRÍA

Granulometría arena (muestras)

Se tomaron tres muestras diferentes de arena a las cuales se le realizó la granulometría, el detalle de los resultados obtenidos se muestra a continuación:

Muestra N°1

Tamaño de la muestra: 500 gr.

Temperatura de secado de la muestra: 110 ± 5 °C

MUESTRA 1								
TAMIZ		PESO RETENIDO	% RETENIDO		%	%	% BANDAS GRANULOMETRICAS NCH163OF2013	
ASTM	TAMIZ (mm) - NCH163 OF 2013	gramos	PARCIAL	ACUMULADO	QUE PASA	QUE PASA CORREGIDO		
3/8	9,5	1,5	0	0	100		100	100
4	4,75	113	22	23	77	100	95	100
8	2,36	92,9	18	41	59	76	80	100
16	1,18	52,9	11	52	48	62	50	85
30	0,6	32,0	6	58	42	54	25	60
50	0,3	53,9	11	69	31	40	5	30
100	0,15	135,2	27	96	4	5	0	10
BAJO 100		21,2	4	100	0			
MASA REAL		502,3						
MASA INICIAL		502,5						
ERROR		0,04%						

MUESTRA 2								
TAMIZ		PESO RETENIDO	% RETENIDO		%	%	% BANDAS GRANULOMETRICAS NCH163OF2013	
ASTM	TAMIZ (mm) - NCH163 OF 2013	gramos	PARCIAL	ACUMULADO	QUE PASA	QUE PASA CORREGIDO		
3/8	9,5	0	0	0	100		100	100
4	4,75	64	13	13	87	100	95	100
8	2,36	82	16	29	71	81	80	100
16	1,18	52	10	40	60	69	50	85
30	0,6	35	7	47	53	61	25	60
50	0,3	72	14	61	39	45	5	30
100	0,15	167	33	95	5	6	0	10
BAJO 100		27	5	100	0			
MASA REAL		499,9						
MASA INICIAL		500						
ERROR		0,02%						

MUESTRA 3								
TAMIZ		PESO RETENIDO	% RETENIDO		%	%	% BANDAS GRANULOMETRICAS NCH163OF2013	
ASTM	TAMIZ (mm) - NCH163 OF 2013	gramos	PARCIAL	ACUMULADO	QUE PASA	QUE PASA CORREGIDO		
3/8	9,5	0	0	0	100		100	100
4	4,75	90	18	18	82	100	95	100
8	2,36	93	19	36	64	77	80	100
16	1,18	52	10	47	53	65	50	85
30	0,6	35	7	54	46	56	25	60
50	0,3	60	12	66	34	42	5	30
100	0,15	141	28	94	6	7	0	10
BAJO 100		30	6	100	0			
MASA REAL		500						
MASA INICIAL		500						
ERROR		0,04%						

Granulometría Grava (muestras)

Se tomaron tres muestras diferentes de gravilla a las cuales se le realizó la granulometría, el detalle de los resultados obtenidos se muestra a continuación:

Muestra N°1

Tamaño de la muestra: 8.000 gr.

Temperatura de secado de la muestra: 110 ± 5 °C

MUESTRA 1							
TAMIZ		PESO RETENIDO	% RETENIDO		%	% %	
ASTM	TAMIZ (mm) - NCH163 OF 2013	gramos	PARCIAL	ACUMULADO	QUE PASA	BANDA GRANULOMETRICA	
2"	50	0	0,00	0,00	100,00	100	100
1 1/2	37,5	0	0,00	0,00	100,00	100	100
1	25	0	0,00	0,00	100,00	100	100
3/4	19	102,1	1,28	1,28	98,72	90	100
3/8	9,5	6609,3	82,62	83,90	16,10	20	55
4	4,75	1280,9	16,01	99,91	0,09	0	10
BAJO 4		7,4	0,09	100,00	0,00	0	5
MASA REAL (gr)		7999,7					
MASA INICIAL (gr)		8009					
ERROR		0,12%					

MUESTRA 2							
TAMIZ		PESO RETENIDO	% RETENIDO		%	% %	
ASTM	TAMIZ (mm) - NCH163 OF 2013	gramos	PARCIAL	ACUMULADO	QUE PASA	BANDA GRANULOMETRICA	
2"	50	0	0,00	0,00	100,00	100	100
1,5	37,5	0	0,00	0,00	100,00	100	100
1	25	0	0,00	0,00	100,00	100	100
3/4	19	76	0,96	0,96	99,04	90	100
3/8	9,5	4360	55,22	56,18	43,82	20	55
4	4,75	2944	37,28	93,47	6,53	0	10
BAJO 4		516	6,53	100,00	0,00	0	5
MASA REAL		7896					
MASA INICIAL		8010					
ERROR		1,42%					

MUESTRA 3							
TAMIZ		PESO RETENIDO	% RETENIDO		%	% %	
ASTM	TAMIZ (mm) - NCH163 OF 2013	gramos	PARCIAL	ACUMULADO	QUE PASA	BANDA GRANULOMETRICA	
2"	50	0	0,00	0,00	100,00	100	100
1,5	37,5	0	0,00	0,00	100,00	100	100
1	25	0	0,00	0,00	100,00	100	100
3/4	19	118	1,47	1,47	98,53	90	100
3/8	9,5	4680	58,28	59,75	40,25	20	55
4	4,75	2868	35,72	95,47	4,53	0	10
BAJO 4		364	4,53	100,00	0,00	0	5
MASA REAL		8030					
MASA INICIAL		8030					
ERROR		0,00%					

ANEXO N°2: CARACTERÍSTICAS DE LOS ÁRIDOS

Densidad de la arena

a) Densidad real del árido saturado superficialmente seco:

$$\rho R_{SSS} = \frac{m_{SSS}}{M_a + m_{SSS} - M_m} \times 1000 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

b) Densidad real del árido seco:

$$\rho R_s = \frac{m_s}{M_a + m_{SSS} - M_m} \times 1000 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

c) Densidad neta:

$$\frac{m_s}{M_a + m_{SSS} - M_m} \times 1000 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

d) Absorción:

$$\rho N = \frac{m_{SSS} - m_s}{m_s} \times 100 \text{ (\%)}$$

Dónde:

- M_a = Masa del matraz con agua, en g.
- M_m = Masa del matraz con agua y arena, en g.
- m_s = Masa seca, en g.
- m_{SSS} = Masa saturada superficialmente seca, en g.

e) Densidad aparente suelta:

$$Das = \frac{Ms \times 1000}{V} (Kg/m^3)$$

Dónde:

- Ms = Masa del árido suelto en el recipiente, en kg.
- V = Capacidad volumétrica del recipiente, en m³.

f) Densidad aparente compactada:

$$Dac = \frac{mc \times 1000}{V} (Kg/m^3)$$

Dónde:

- Mc = Masa compactada de la muestra de arena, en kg.
- V = Volumen del recipiente o capacidad volumétrica de la medida, en m³.

Densidad de la Grava

a) Densidad real del árido saturado superficialmente seco:

$$\rho_{RT} = \frac{B}{B-A} \times 1000 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

b) Densidad real del árido seco:

$$\rho_{RS} = \frac{C}{B-A} \times 1000 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

c) Densidad neta:

$$\rho_N = \frac{C}{C-A} \times 1000 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

d) Absorción:

$$a = \frac{B-C}{C} \times 1000 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

Dónde:

- A = Masa seca, en g.
- B = Masa saturada superficialmente seca, en g.
- C = Masa sumergida, en g.

e) Densidad aparente suelta:

$$D_{as} = \frac{M_s}{V} \times 1000 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

Dónde:

- M_s = Masa del árido suelto en el recipiente, en kg.
- V = Capacidad volumétrica del recipiente, en m³.

f) Densidad aparente compactada:

$$D_{ac} = \frac{m_c}{V} \times 1000 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

Dónde:

- m_c = Masa compactada de la muestra de grava, en kg.
- V = Volumen del recipiente o capacidad volumétrica de la medida, en m³.

ANEXO N°3: DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN

Tablas de dosificación método IDIEM

Nivel de confianza

Nivel de confianza	t
80 %	0,842
85 %	1,036
90 %	1,282
95 %	1,645

Dispersión estimada de resistencias

Condiciones previstas para ejecución en obra	S estimada, MPa $f_c \leq H15$	S estimada, MPa $f_c > H15$
Regulares	8,0	----
Medias	6,0	7,0
Buenas	4,0	5,0
Muy buenas	3,0	4,0

Asentamiento

Tipo de elemento	Asentamiento, cm
Armados, en general	6 ± 2
Armados colocación difícil	8 ± 2
Simple, fundaciones	Máx. 8
Aceras	Máx. 8
Calzadas	Máx. 4
Bombeado	10 ± 2
Prefabricados corrientes	Máx. 6
Prefab. Desmolde rápido	Nulo
Fluidificado y bajo agua	> 18

Estimación del peso de un metro cúbico de hormigón fresco compactado

Tipo de Hormigón	Tamaño máximo del árido, mm	Peso estimado del hormigón, kg/m ³
Simple, cemento ≤ 200 kg/m ³	40 - 50	2.300
Simple, cemento > 200 kg/m ³	40 - 50	2.400
Aceras	20	2.420
Armado en general	40 - 50	2.450
Armado en general	10 - 20	2.430
Calzadas	40	2.450

Dosis de cemento estimada, en función de la resistencia media requerida, fr

fr kgf/cm2	Dosis de cemento estimada, kgf/cm2	
	Corriente	Alta Resistencia
80	170	140
100	190	155
120	210	175
140	235	195
160	260	215
180	285	235
200	305	250
220	325	270
240	345	285
260	355	295
280	370	305
300	380	315
320	395	325
340	405	335
360	415	345
380	430	355
400	440	365
420	450	370
440	455	375
460	460	380
480	465	385
500	470	390
520	480	400

Estimación de la dosis de agua de amasado en función de la dosis de cemento y del tamaño máximo nominal Dn del árido

Dosis de cemento Kg/m3	Agua de amasado, kg/m3	
	Dn 40 mm	Dn 20 mm
170	154	160
200	160	165
230	167	175
260	176	184
290	182	190
310	186	192
340	182	190
370	180	188
400	174	184
430	170	178
460	160	168
490	152	160
520	145	152
550	140	145

ANEXO N°4: EXUDACIÓN DEL HORMIGÓN

Tablas de exudación (muestras)

Se tomaron tres muestras por cada hormigón tipo y se realizó el ensayo de exudación, el detalle de los resultados obtenidos se muestra a continuación:

HORMIGÓN GP (1)				
N°	TIEMPO	RANGO (MIN)	AGUA DE EXUDACIÓN (ml)	AGUA ACUMULADA (ml)
1	10	10	8	8
2	20	10	9	17
3	30	10	6	23
4	40	10	6	29
5	70	30	13	42
6	100	30	6,5	48,5
7	130	30	6	54,5
8	160	30	4	58,5
9	190	30	0	58,5

HORMIGÓN GP (2)				
N°	TIEMPO	RANGO (MIN)	AGUA DE EXUDACIÓN (ml)	AGUA ACUMULADA (ml)
1	10	10	9	9
2	20	10	11	20
3	30	10	7	27
4	40	10	6	33
5	70	30	12	45
6	100	30	9	54
7	130	30	6	60
8	160	30	3	63
9	190	30	0	63

HORMIGÓN GP (3)				
N°	TIEMPO	RANGO (MIN)	AGUA DE EXUDACIÓN (ml)	AGUA ACUMULADA (ml)
1	10	10	10	10
2	20	10	10	20
3	30	10	5	25
4	40	10	6	31
5	70	30	14	45
6	100	30	7	52
7	130	30	6	58
8	160	30	5	63
9	190	30	0	63

HORMIGÓN G30-1 (1)				
N°	TIEMPO	RANGO (MIN)	AGUA DE EXUDACIÓN (ml)	AGUA ACUMULADA (ml)
1	10	10	2	2
2	20	10	3	5
3	30	10	4	9
4	40	10	5	14
5	70	30	11	25
6	100	30	10	35
7	130	30	8	43
8	160	30	7	50
9	190	30	4	54
10	220	30	3	57
11	250	30	0	57

HORMIGÓN G30-1 (2)				
N°	TIEMPO	RANGO (MIN)	AGUA DE EXUDACIÓN (ml)	AGUA ACUMULADA (ml)
1	10	10	1	1
2	20	10	3	4
3	30	10	5	9
4	40	10	5	14
5	70	30	12	26
6	100	30	10	36
7	130	30	9	45
8	160	30	7	52
9	190	30	5	57
10	220	30	3	60
11	250	30	0	60

HORMIGÓN G30-1 (3)				
N°	TIEMPO	RANGO (MIN)	AGUA DE EXUDACIÓN (ml)	AGUA ACUMULADA (ml)
1	10	10	3	3
2	20	10	3	6
3	30	10	3	9
4	40	10	5	14
5	70	30	13	27
6	100	30	10	37
7	130	30	7	44
8	160	30	7	51
9	190	30	3	54
10	220	30	3	57
11	250	30	0	57

HORMIGÓN G30-2 (1)				
N°	TIEMPO	RANGO (MIN)	AGUA DE EXUDACIÓN (ml)	AGUA ACUMULADA (ml)
1	10	10	2	2
2	20	10	3	5
3	30	10	4	9
4	40	10	5	14
5	70	30	9	23
6	100	30	8	31
7	130	30	7	38
8	160	30	5	43
9	190	30	5	48
10	220	30	3	51
11	250	30	0	51

HORMIGÓN G30-2 (2)				
N°	TIEMPO	RANGO (MIN)	AGUA DE EXUDACIÓN (ml)	AGUA ACUMULADA (ml)
1	10	10	2	2
2	20	10	3	5
3	30	10	5	10
4	40	10	5	15
5	70	30	11	26
6	100	30	10	36
7	130	30	7	43
8	160	30	7	50
9	190	30	5	55
10	220	30	3	58
11	250	30	0	58

HORMIGÓN G30-2 (3)				
N°	TIEMPO	RANGO (MIN)	AGUA DE EXUDACIÓN (ml)	AGUA ACUMULADA (ml)
1	10	10	2	2
2	20	10	3	5
3	30	10	3	8
4	40	10	5	13
5	70	30	10	23
6	100	30	9	32
7	130	30	7	39
8	160	30	6	45
9	190	30	5	50
10	220	30	3	53
11	250	30	0	53

HORMIGÓN G30-3 (1)				
N°	TIEMPO	RANGO (MIN)	AGUA DE EXUDACIÓN (ml)	AGUA ACUMULADA (ml)
1	10	10	0	0
2	20	10	3	3
3	30	10	6	9
4	40	10	5	14
5	70	30	7	21
6	100	30	10	31
7	130	30	7	38
8	160	30	5	43
9	190	30	5	48
10	220	30	2	50
11	250	30	1	51
12	280	30	0	51

HORMIGÓN G30-3 (2)				
N°	TIEMPO	RANGO (MIN)	AGUA DE EXUDACIÓN (ml)	AGUA ACUMULADA (ml)
1	10	10	1	1
2	20	10	3	4
3	30	10	5	9
4	40	10	5	14
5	70	30	7	21
6	100	30	10	31
7	130	30	7	38
8	160	30	6	44
9	190	30	3	47
10	220	30	2	49
11	250	30	1	50
12	280	30	0	50

HORMIGÓN G30-3 (3)				
N°	TIEMPO	RANGO (MIN)	AGUA DE EXUDACIÓN (ml)	AGUA ACUMULADA (ml)
1	10	10	0	0
2	20	10	3	3
3	30	10	4	7
4	40	10	5	12
5	70	30	6	18
6	100	30	9	27
7	130	30	7	34
8	160	30	5	39
9	190	30	4	43
10	220	30	3	46
11	250	30	1	47
12	280	30	0	47

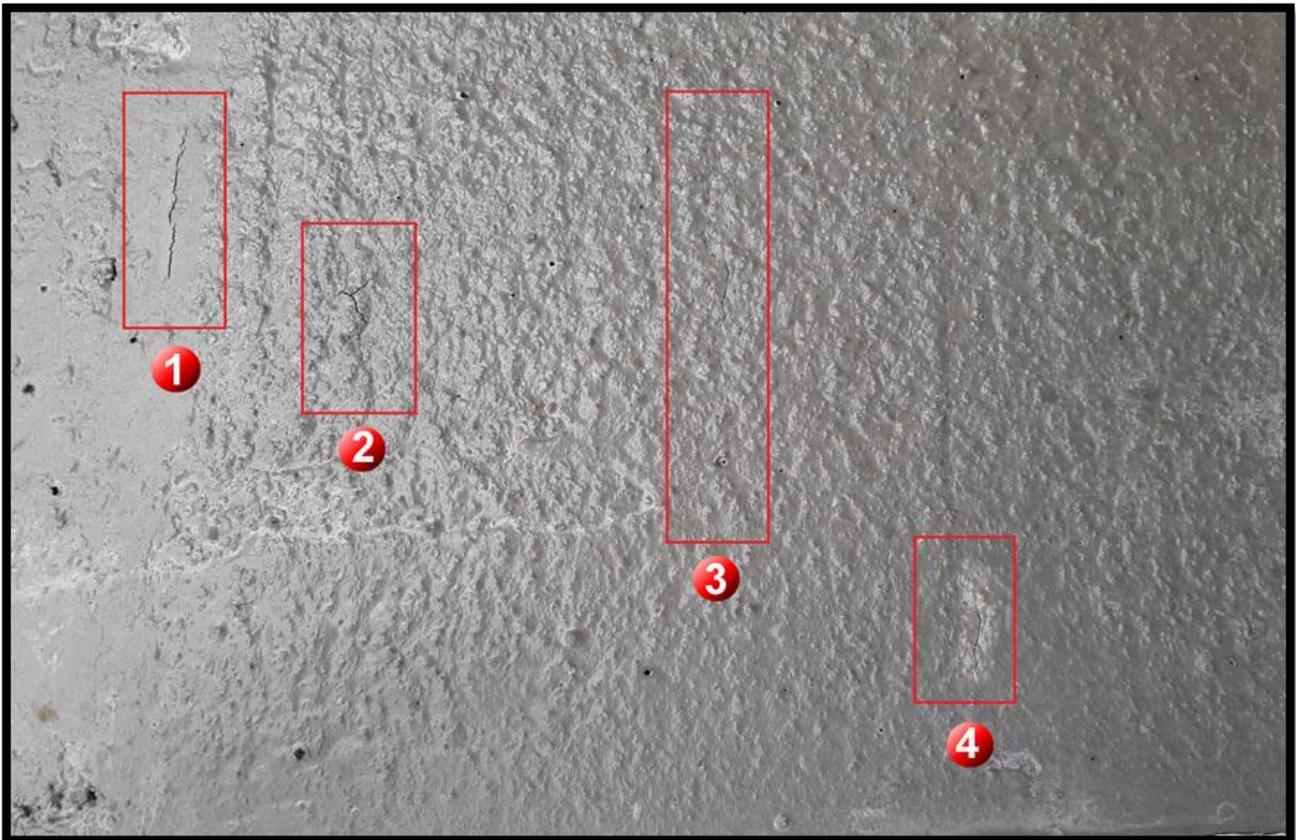
ANEXO N°5: FISURACIÓN DEL HORMIGÓN

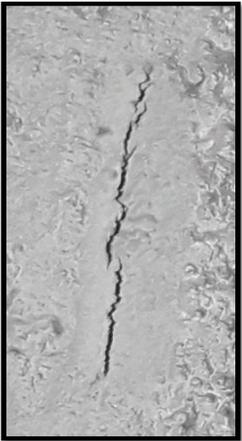
Hormigón patrón: 0% de aditivo incluido (3 muestras)

Variables en estudio en hormigón patrón

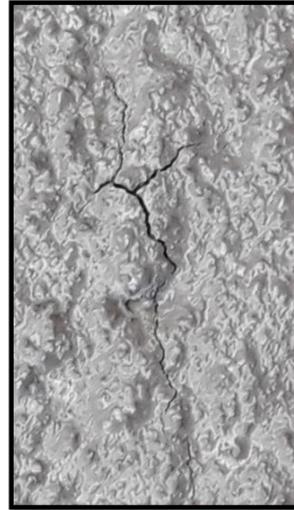
TEMPERATURA DEL AIRE, °C	26,7
TEMPERATURA DEL HORMIGON, °C	22
HUMEDAD RELATIVA, %	86
VELOCIDAD DE VIENTO, Km/h	12

HORMIGÓN GP (1)





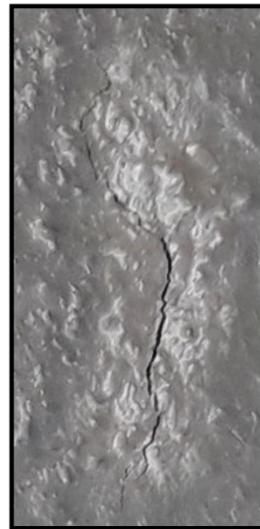
ANCHO 1 (mm):	1
ANCHO 2 (mm):	0,8
ANCHO 3 (mm):	1
PROMEDIO (mm):	0,9
LARGO (mm):	40,0
AREA(mm²):	37,3



ANCHO 1 (mm):	0,5
ANCHO 2 (mm):	0,8
ANCHO 3 (mm):	0,3
PROMEDIO (mm):	0,53
LARGO (mm):	43,00
AREA(mm²):	22,93

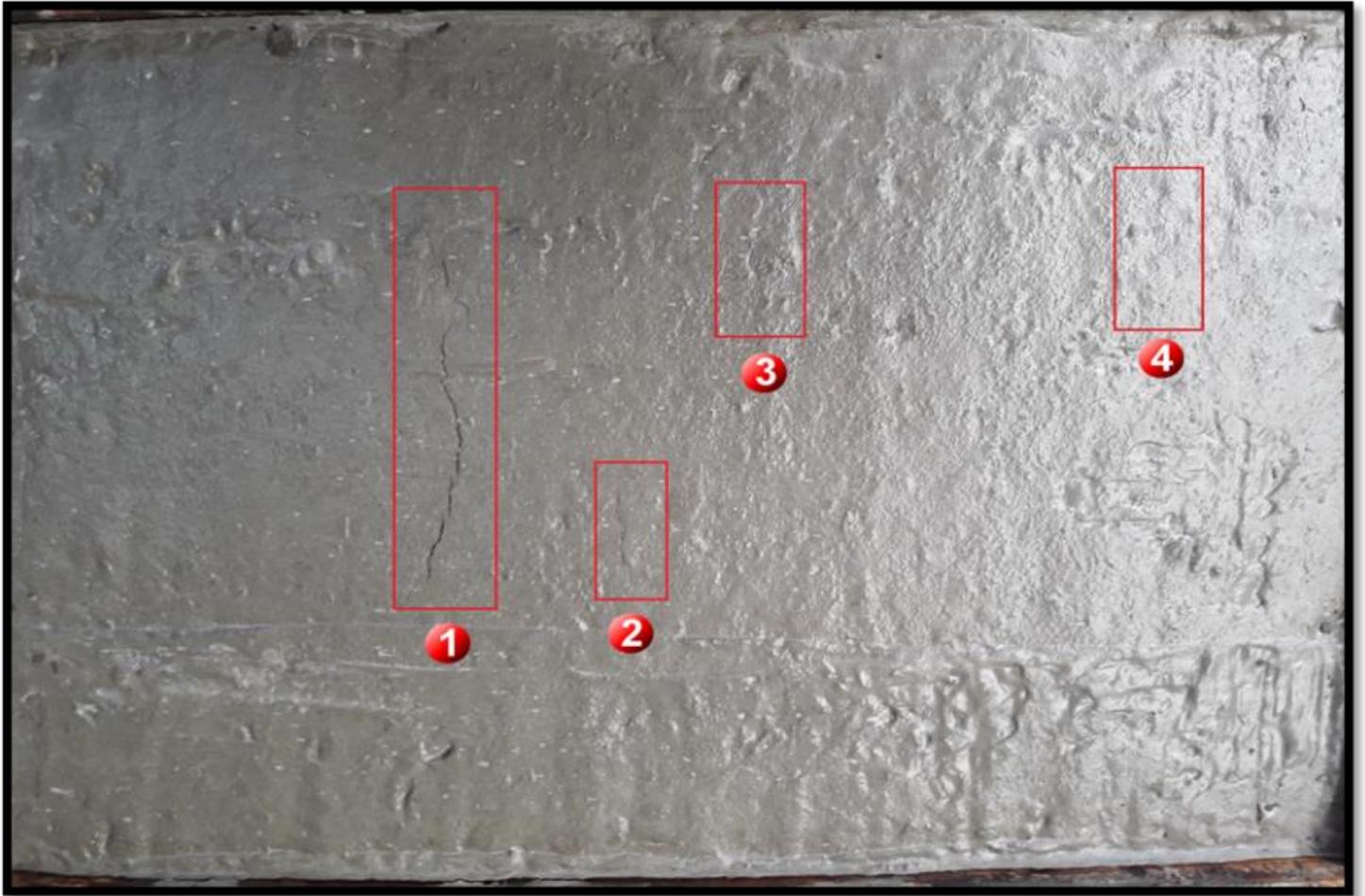


ANCHO 1 (mm):	0,3
ANCHO 2 (mm):	0,4
ANCHO 3 (mm):	0,3
PROMEDIO (mm):	0,33
LARGO (mm):	110,00
AREA(mm²):	36,67



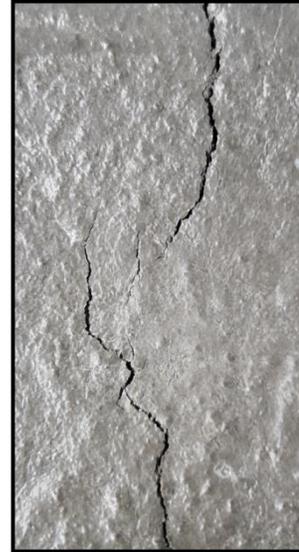
ANCHO 1 (mm):	0,3
ANCHO 2 (mm):	0,4
ANCHO 3 (mm):	0,4
PROMEDIO (mm):	0,37
LARGO (mm):	52,00
AREA(mm²):	19,07

HORMIGÓN GP (2)





ANCHO 1 (mm):	0,9
ANCHO 2 (mm):	0,8
ANCHO 3 (mm):	0,7
PROMEDIO (mm):	0,8
LARGO (mm):	124
AREA(mm²):	99,2



ANCHO 1 (mm):	0,4
ANCHO 2 (mm):	0,5
ANCHO 3 (mm):	0,3
PROMEDIO (mm):	0,4
LARGO (mm):	54
AREA(mm²):	21,6

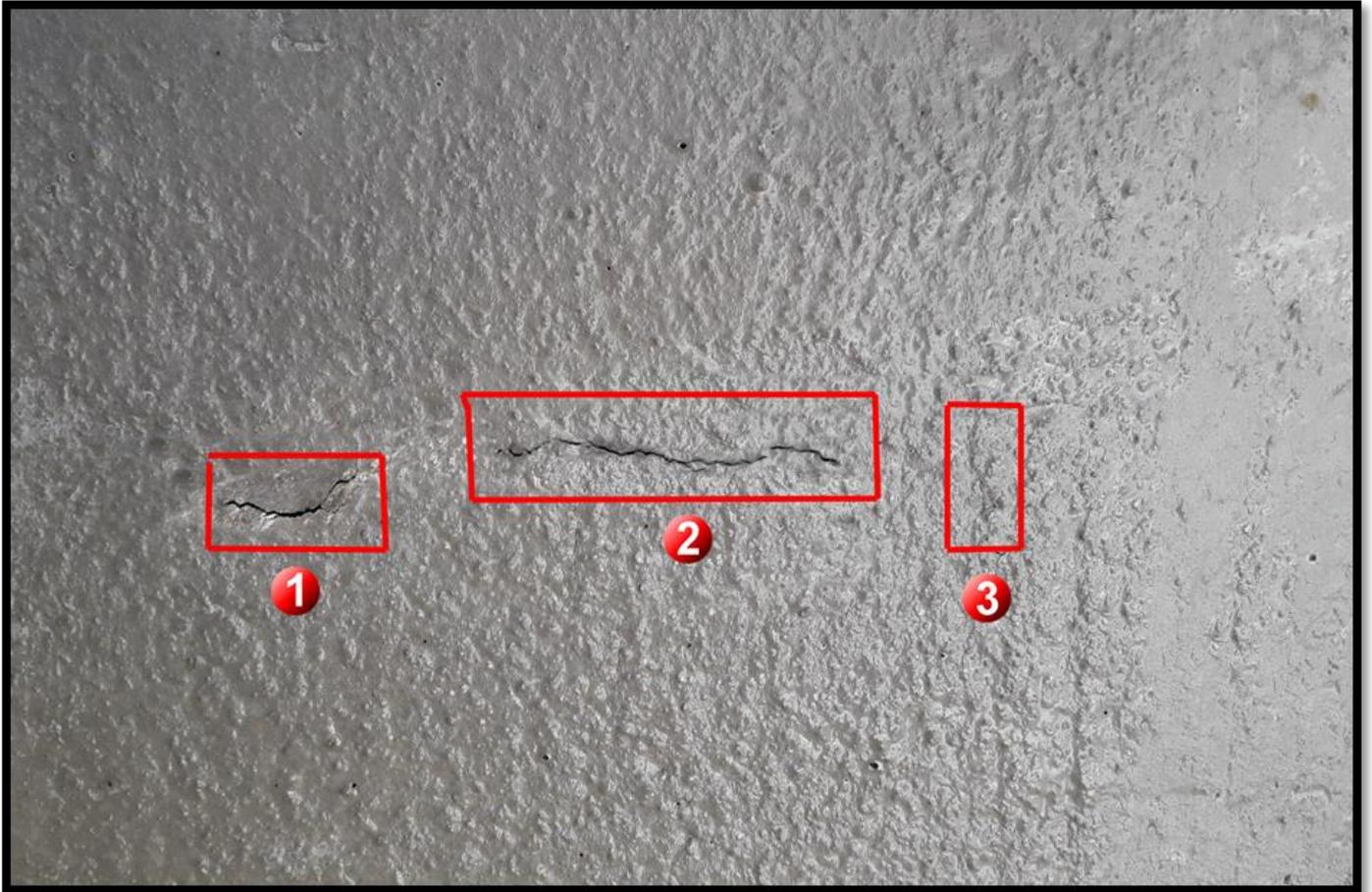


ANCHO 1 (mm):	0,3
ANCHO 2 (mm):	0,1
ANCHO 3 (mm):	0,2
PROMEDIO (mm):	0,2
LARGO (mm):	38
AREA(mm²):	7,6



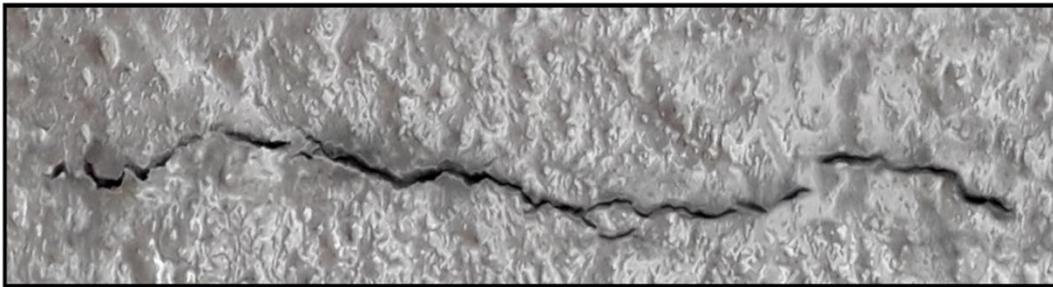
ANCHO 1 (mm):	0,2
ANCHO 2 (mm):	0,6
ANCHO 3 (mm):	0,7
PROMEDIO (mm):	0,5
LARGO (mm):	44
AREA(mm²):	22

HORMIGÓN GP (3)

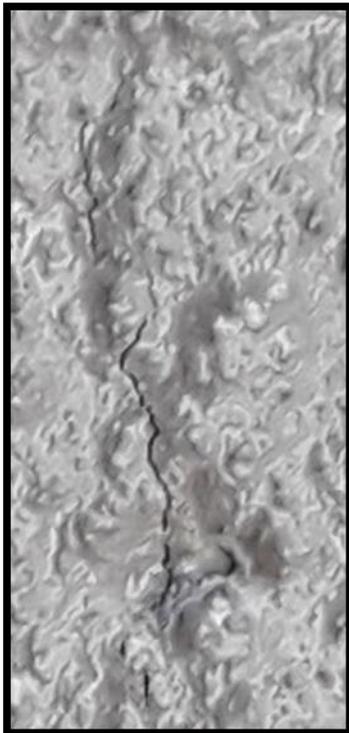




ANCHO 1 (mm):	0,8
ANCHO 2 (mm):	1
ANCHO 3 (mm):	1
PROMEDIO (mm):	0,93
LARGO (mm):	67,00
AREA(mm²):	62,53



ANCHO 1 (mm):	0,8
ANCHO 2 (mm):	0,9
ANCHO 3 (mm):	0,9
PROMEDIO (mm):	0,87
LARGO (mm):	144
AREA(mm²):	124,8



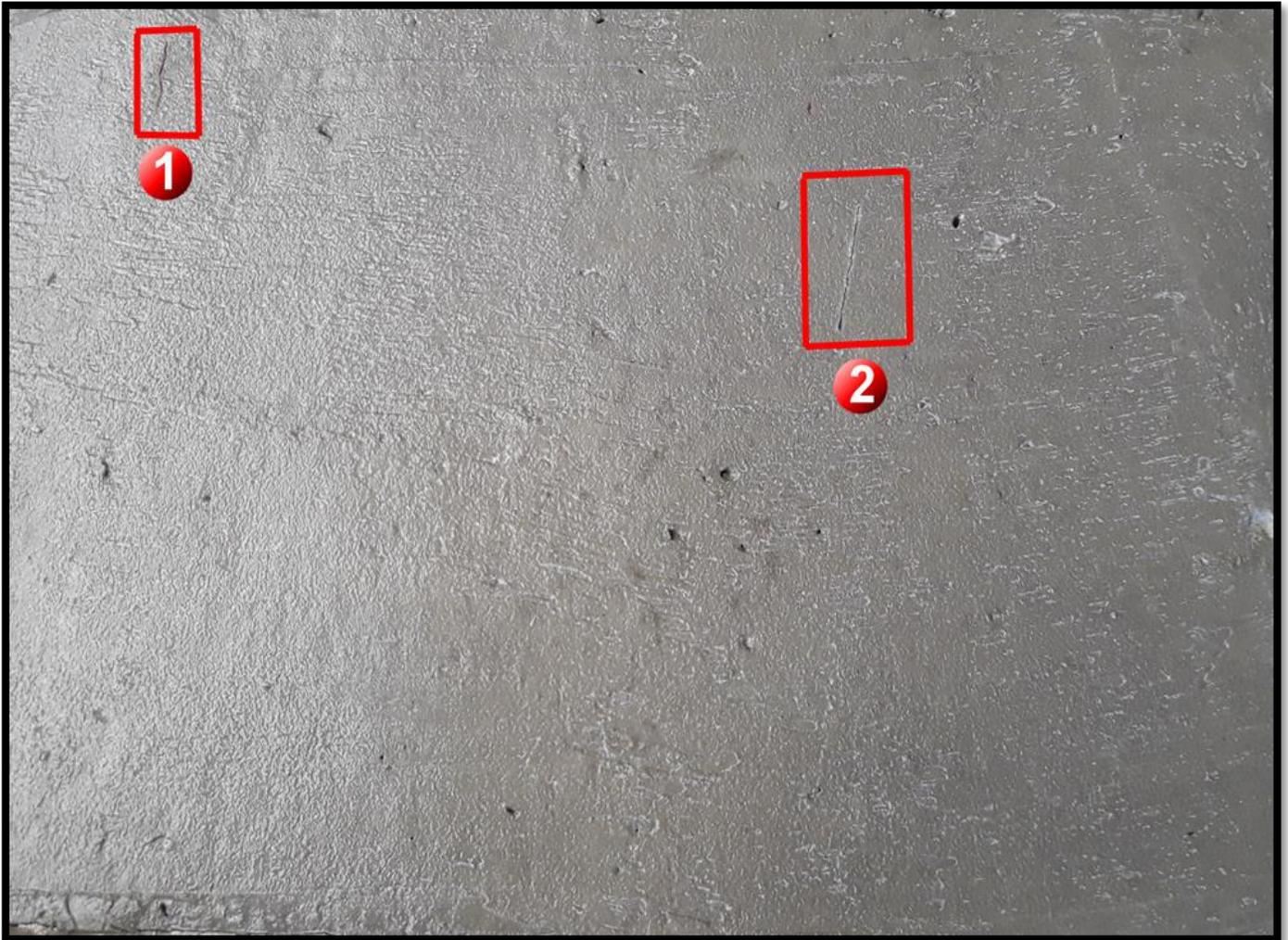
ANCHO 1 (mm):	0,3
ANCHO 2 (mm):	0,2
ANCHO 3 (mm):	0,3
PROMEDIO (mm):	0,27
LARGO (mm):	42,00
AREA(mm²):	11,20

Hormigón G30-1: 1,3% de aditivo incluido (3 muestras)

Variables en estudio G30-1

TEMPERATURA DEL AIRE, °C	27,3
TEMPERATURA DEL HORMIGÓN, °C	21
HUMEDAD RELATIVA, %	88
VELOCIDAD DE VIENTO, Km/h	12

HORMIGÓN G30-1(1)





ANCHO 1 (mm):	0,7
ANCHO 2 (mm):	0,9
ANCHO 3 (mm):	0,6
PROMEDIO (mm):	0,73
LARGO (mm):	36
AREA(mm²):	26,4



ANCHO 1 (mm):	0,5
ANCHO 2 (mm):	0,3
ANCHO 3 (mm):	0,5
PROMEDIO (mm):	0,43
LARGO (mm):	41
AREA(mm²):	17,77

HORMIGÓN G30-1(2)



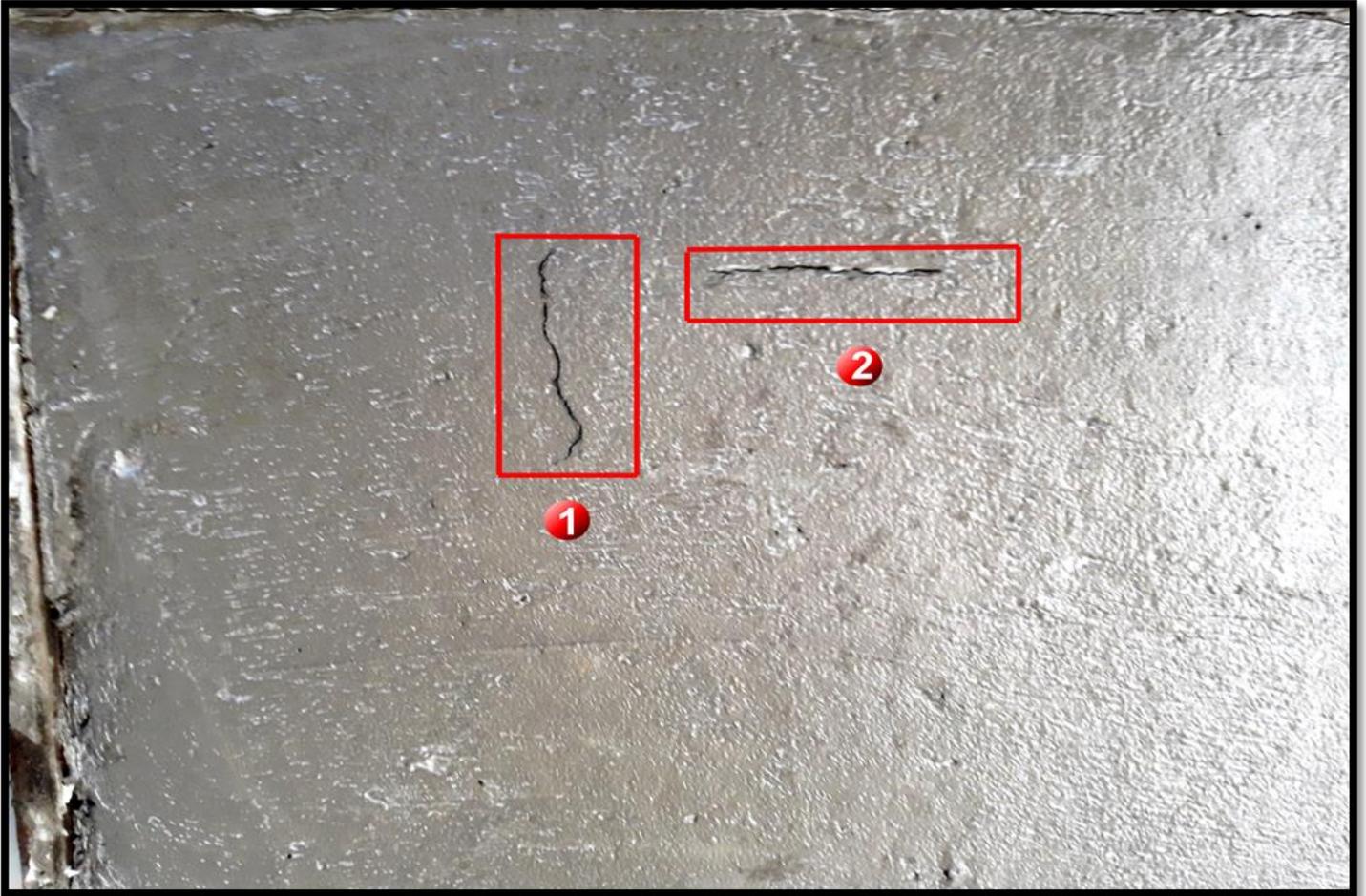


ANCHO 1 (mm):	0,3
ANCHO 2 (mm):	0,3
ANCHO 3 (mm):	0,4
PROMEDIO (mm):	0,33
LARGO (mm):	48,00
AREA(mm²):	48,33



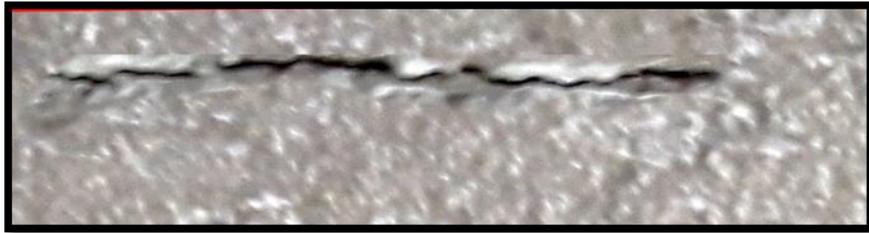
ANCHO 1 (mm):	0,6
ANCHO 2 (mm):	0,4
ANCHO 3 (mm):	0,5
PROMEDIO (mm):	0,5
LARGO (mm):	53
AREA(mm²):	26,5

HORMIGÓN G30-1(3)





ANCHO 1 (mm):	1
ANCHO 2 (mm):	1,2
ANCHO 3 (mm):	1,2
PROMEDIO (mm):	1,13
LARGO (mm):	76,00
AREA(mm²):	86,13



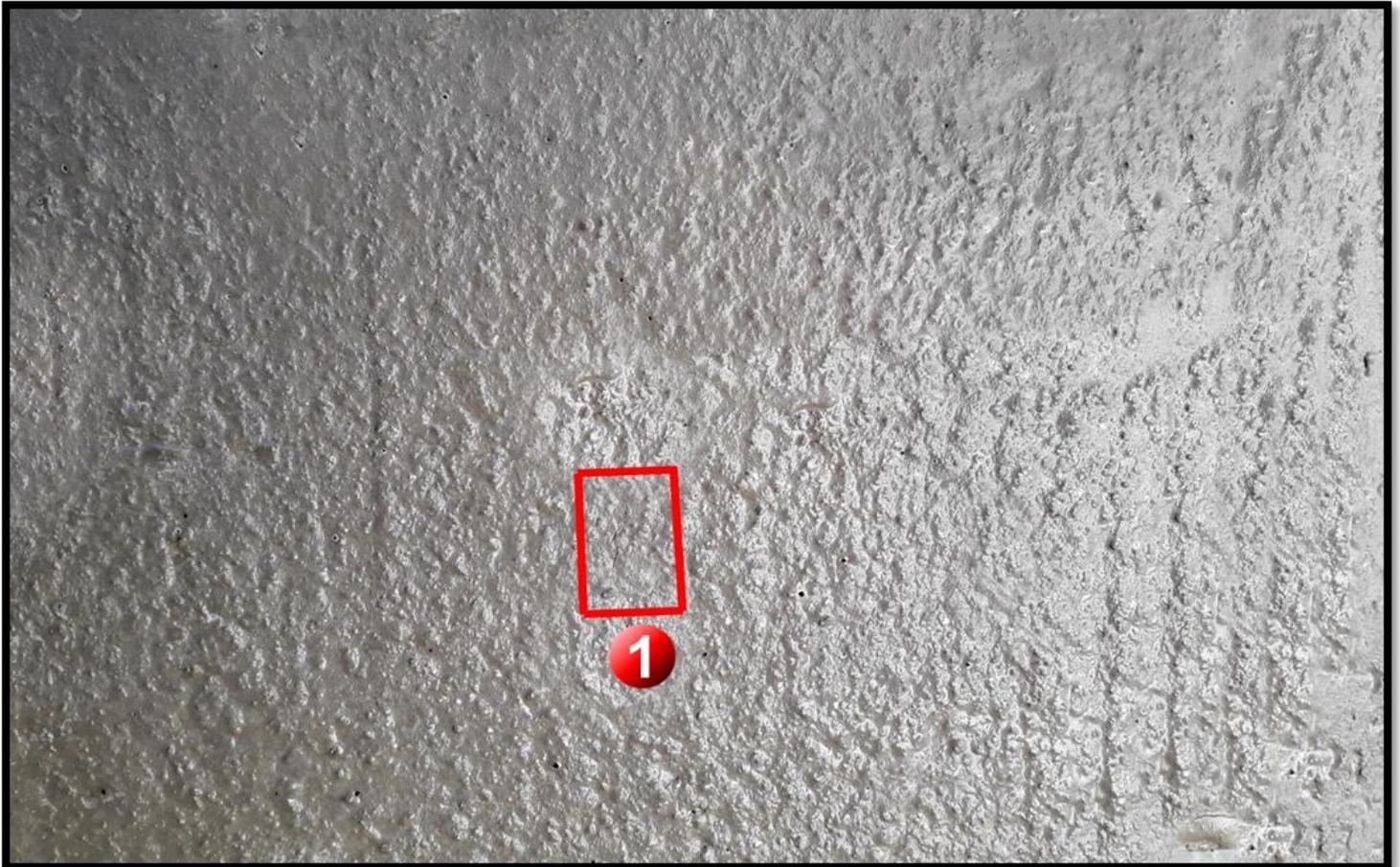
ANCHO 1 (mm):	0,8
ANCHO 2 (mm):	1
ANCHO 3 (mm):	0,9
PROMEDIO (mm):	0,9
LARGO (mm):	61
AREA(mm²):	54,9

Hormigón G30-2: 1,95% de aditivo incluido (3 muestras)

Variables en estudio G30-2

TEMPERATURA DEL AIRE, °C	26,5
TEMPERATURA DEL HORMIGÓN, °C	22
HUMEDAD RELATIVA, %	83
VELOCIDAD DE VIENTO, Km/h	12

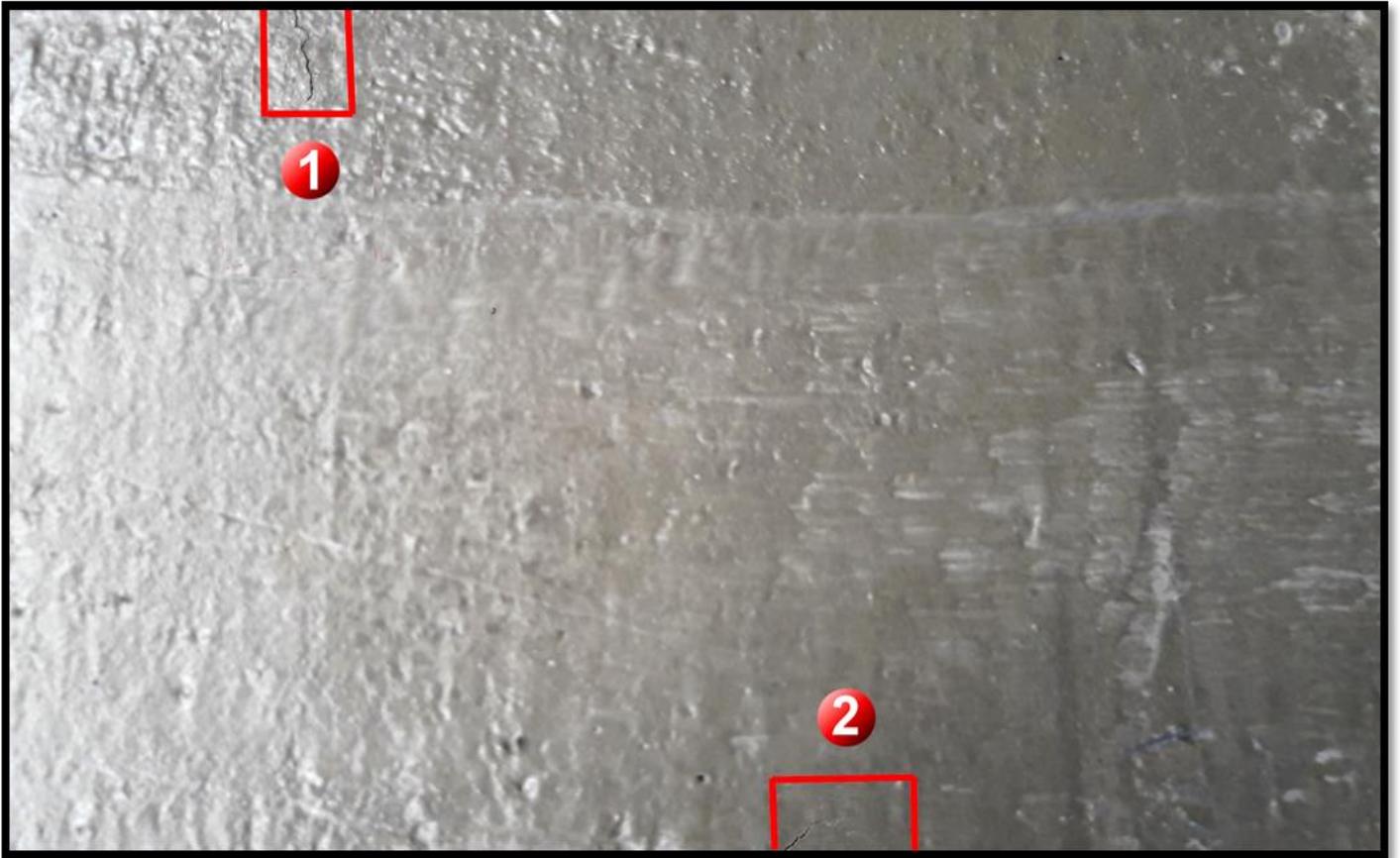
HORMIGÓN G30-2(1)

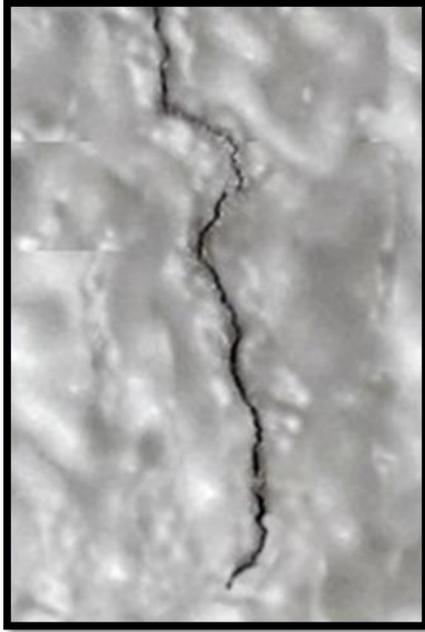




ANCHO 1 (mm):	0,60
ANCHO 2 (mm):	0,50
ANCHO 3 (mm):	0,50
PROMEDIO (mm):	0,53
LARGO (mm):	42,00
AREA(mm²):	22,40

HORMIGÓN G30-2(2)





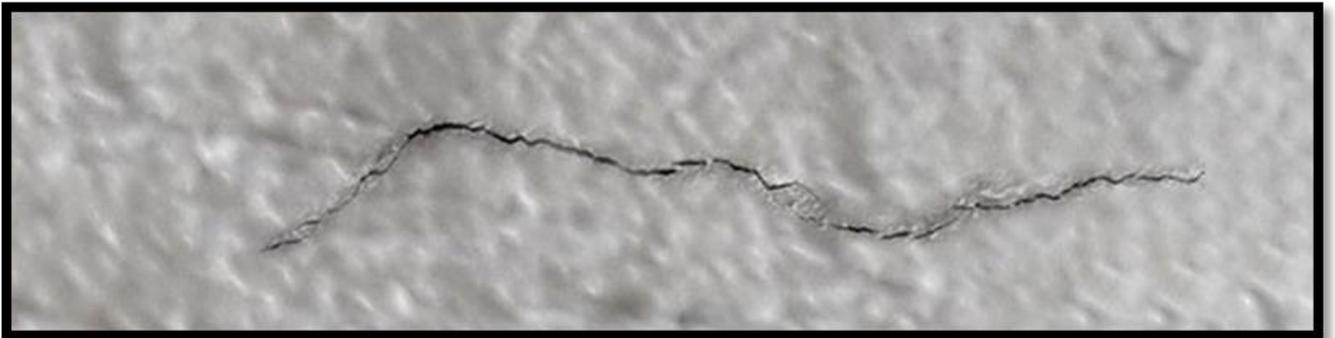
ANCHO 1 (mm):	0,7
ANCHO 2 (mm):	0,5
ANCHO 3 (mm):	0,5
PROMEDIO (mm):	0,57
LARGO (mm):	43,00
AREA(mm²):	24,37



ANCHO 1 (mm):	0,70
ANCHO 2 (mm):	0,40
ANCHO 3 (mm):	0,30
PROMEDIO (mm):	0,47
LARGO (mm):	35,00
AREA(mm²):	16,33

HORMIGÓN G30-2(3)





ANCHO 1 (mm):	0,60
ANCHO 2 (mm):	0,60
ANCHO 3 (mm):	0,70
PROMEDIO (mm):	0,63
LARGO (mm):	84,00
AREA(mm²):	53,20

Hormigón G30-3: 2,6% de aditivo incluido (3 muestras)

VARIABLES EN ESTUDIO G30-3

TEMPERATURA DEL AIRE, °C	26,5
TEMPERATURA DEL HORMIGÓN, °C	21
HUMEDAD RELATIVA, %	83
VELOCIDAD DE VIENTO, Km/h	12

HORMIGÓN G30-3(1)



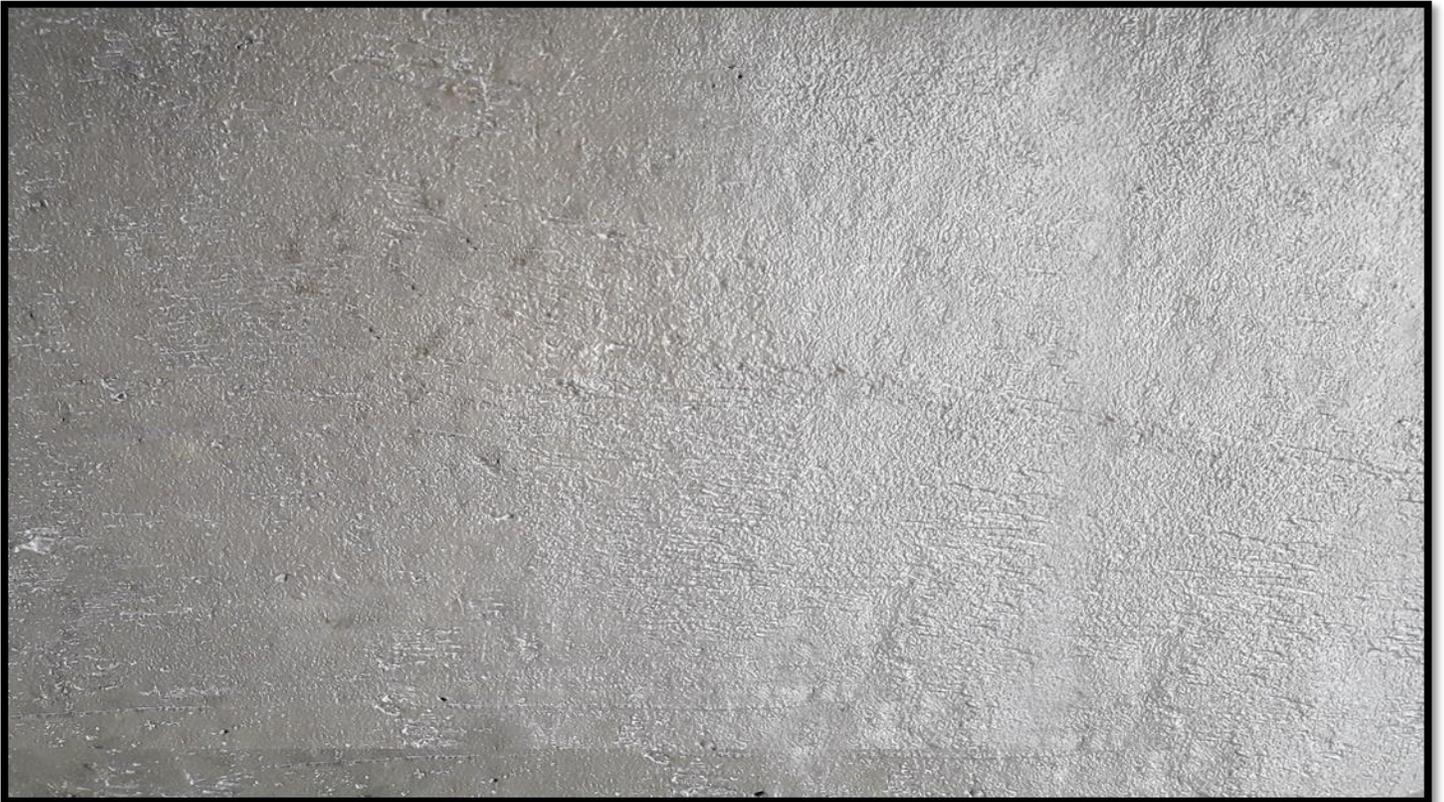
LIBRE DE FISURAS

HORMIGÓN G30-3(2)



LIBRE DE FISURAS

HORMIGÓN G30-3(3)



LIBRE DE FISURAS