

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**“FACTORES INTRÍNSECOS DEL CONCRETO PREMEZCLADO
QUE PRODUCEN LA FISURACIÓN EN SU PROCESO DE
FRAGUADO”**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: ESTRUCTURAS

AUTOR

Br. CASTILLO NINATANTA, JOSÉ LUIS

ASESOR

Ing. CANCINO RODAS, CESAR LEÓNIDAS

TRUJILLO – PERÚ

MAYO 2019

MIEMBROS DEL JURADO

Ms. ÁNGEL FREDY ALANOCA QUENTA

PRESIDENTE

N° CIP: 39009

ING. MANUEL ANTONIO VILLALOBOS VARGAS

SECRETARIO

N° CIP: 7156

ING. JUAN MANUEL URTEAGA GARCIA

VOCAL

N° CIP: 75985

ING. CESAR LEONIDAS CANCINO RODAS

PRESIDENTE

N° CIP: 77103

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación va dirigido a los futuros profesionales en el rubro de la ingeniería civil, en especial a aquellos que tienen una orientación académica por el análisis estructural sustentada en la seguridad y sostenibilidad de las edificaciones.

Los resultados alcanzados han sido producto de un proceso continuo y representan una tendencia referencial del fenómeno de fisuración del concreto premezclado para futuras investigaciones en los grupos de investigación de la escuela de ingeniería civil.

Los lineamientos generales tienen como objetivo principal optimizar el proceso constructivo convencional, en ese sentido el trabajo de investigación también va dirigido al conjunto de personas relacionadas al rubro de la construcción, que representa una industria joven en nuestro país.

Castillo Ninatanta, José Luis

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por haberme permitido tener salud y preparación mental durante el proceso del presente trabajo de investigación; su grandiosa intercesión ha hecho posible mantener la tranquilidad y motivación en mi vida.

A mi familia, especialmente a mi padre José Luis Castillo Pereda, mi más grande maestro y ejemplo a seguir, quien, con sus consejos y apoyo constante, supo conducir mi vocación hasta llegar a la meta.

Además, los resultados obtenidos durante el desarrollo de esta investigación no hubieran sido posibles sin el apoyo constante del Ing. Gerardo Arteaga Cuba, así como del asesor el Ing. Cesar Cancino Rodas quienes contribuyeron con el soporte teórico y metodológico para desarrollar el conjunto de capítulos contenidos en la presente tesis.

Finalmente se hace extensivo el agradecimiento a la empresa Premezclados Ken SAC. y sus colaboradores en el área de calidad, quienes facilitaron la recolección de datos y preparación de las muestras; a los docentes de la escuela de ingeniería civil de la Universidad Privada Antenor Orrego por instruir el deseo constante por la investigación sostenible; también se hace una mención especial a las personas que me brindaron su apoyo incondicional tanto familiares como amigos, ellos representan el punto de apoyo para contribuir con el desarrollo ético y social de la comunidad académica y ciudadana en nuestro país.

Castillo Ninatanta, José Luis

RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en la ciudad de Trujillo - Perú, en la cual se analizó la influencia del aditivo Plastiment TM 31 y TM 12 sobre la fisuración del concreto premezclado durante su proceso de fraguado. Para ello se diseñaron dosificaciones de mezcla, con diferentes porcentajes de aditivo y relación agua cemento en función de la mezcla comúnmente utilizada en el vaciado de losas y techos ($f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$). El propósito del estudio es evaluar si el contenido en exceso de los aditivos o del cemento producen la fisuración del concreto premezclado. Se evaluaron diferentes especímenes para estudiar la fisuración en moldes tipo anillo y panel rectangular, además se determinaron las propiedades físicas para cada dosificación, tanto en su estado fresco como endurecido, de esta manera se sugiere una dosificación óptima para la adición de aditivos reductores de agua y retardantes de fragua, utilizados en el concreto premezclado. La investigación es de tipo experimental, y tuvo una población estadística de 60 muestras, para evaluar la propiedad de fisuración. En cuanto a los resultados se observó que el asentamiento del concreto aumenta con la adición de aditivos, además el peso unitario disminuye ligeramente con la dosificación de aditivos. Finalmente, se puede reducir las fisuras por contracción plástica del concreto premezclado de manera eficaz añadiendo solamente hasta un 0.9% de aditivo superplaticante y 0.3% de aditivo retardante de fragua, tanto para dosificaciones con relación agua cemento de 0.52, 0.57 y 0,62.

ABSTRACT

The present investigation was developed in the city of Trujillo - Peru, in which the influence of the additive Plastiment TM 31 and TM 12 on the cracking of ready-mix concrete during its setting process was analyzed. To do this, mix dosages were designed, with different percentages of additive and water cement ratio based on the mixture commonly used in the emptying of slabs and ceilings ($f_c = 210 \text{ kg / cm}^2$). The purpose of the study is to evaluate if the excess content of the additives or the cement produces the cracking of the ready-mix concrete. Different specimens were evaluated to study the cracking in ring type and rectangular panel molds, in addition the physical properties for each dosage were determined, both in its fresh and hardened state, in this way an optimal dosage for the addition of water reducing additives is suggested. and forge retardants, used in ready-mix concrete. The research is of experimental type, and had a statistical population of 60 samples, to evaluate the property of cracking. Regarding the results, it was observed that the concrete settlement increases with the addition of additives, besides the unit weight decreases slightly with the dosage of additives. Finally, it is possible to reduce the cracks by plastic contraction of the precast concrete in an effective way adding only up to 0.9% superplasticizing additive and 0.3% of retardant additive of forge, both for dosages with water cement ratio of 0.52, 0.57 and 0.62.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1.	2
1.1. Descripción del problema.....	2
1.2. Formulación del problema de investigación	5
1.3. Objetivo general	5
1.4. Objetivos específicos	5
1.5. Justificación de la investigación	5
1.6. Viabilidad de la investigación	6
CAPÍTULO 2.	7
2.1. Antecedentes de la investigación.....	7
2.2. Bases Teóricas	12
2.3. Definiciones Conceptuales	37
2.4. Hipótesis.....	38
2.5. Variables dependientes e independientes.....	38
2.6. Operacionalización de las Variables	39

CAPÍTULO 3.	40
3.1. Tipo de Investigación.....	40
3.2. Población y Muestra:	41
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos:	43
3.4. Técnicas de procesamiento y análisis de datos:	44
CAPÍTULO 4.	46
4.1. Cuadros y tablas de resultados	46
4.1.1. Caracterización del agregado fino	46
4.1.2. Caracterización del agregado grueso	48
4.1.3. Características del cemento Tipo “I”	50
4.1.4. Características del aditivo Plastiment TM – 12 (Tipo B)	51
4.1.5. Características del aditivo Plastiment TM – 31 (Tipo F).....	51
4.1.6. Diseño de mezcla del concreto premezclado	52
4.1.7. Ensayo de peso unitario del concreto premezclado	59
4.1.8. Ensayo de contenido de aire	61
4.1.9. Ensayo de cono de Abrams	62
4.1.10. Ensayo de fisuración	63
4.1.11. Ensayo de resistencia a la compresión	78
4.2. Contrastación y Prueba de la Hipótesis.....	83
CAPÍTULO 5.	89
5.1. Del agregado fino	89

5.2. Del agregado grueso	89
5.3. Del tipo de cemento	90
5.4. Del Contenido de aditivos	90
5.5. Del diseño de mezcla	90
5.6. Del peso unitario del concreto premezclado	91
5.7. Del ensayo de cono de Abrams	92
5.8. Del ensayo de fisuración	92
5.9. Del ensayo de resistencia	93
5.10. Análisis de la prueba de hipótesis	94
CONCLUSIONES.....	95
RECOMENDACIONES	96
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
APÉNDICE	100
APÉNDICE A. Características Físicas de los Agregados	101
APÉNDICE B. Diseño de mezcla del concreto premezclado	103
APÉNDICE C. Estadística ensayo de peso unitario.....	106
APÉNDICE D. Estadística ensayo de contenido de aire	107
APÉNDICE E. Estadística ensayo de cono de Ambrams	109
APÉNDICE F. Estadística ensayo de fisuración	110
ANEXOS	112
ANEXO A. Panel fotográfico.....	113

ANEXO B. Fichas técnicas	120
---------------------------------------	------------

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Calor de hidratación para diferentes tipos de cemento	35
Tabla 2.2 Operacionalización de variables.....	39
Tabla 3.1 Variables de estudio.....	40
Tabla 3.2 Matriz de diseño experimental para molde rectangular.....	42
Tabla 3.3 Matriz de diseño experimental para molde tipo anillo	43
Tabla 4.1 Análisis granulométrico y propiedades físicas del agregado fino	47
Tabla 4.2 Análisis granulométrico y propiedades físicas del agregado grueso.....	48
Tabla 4.3 Características físicas y químicas del cemento tipo I.....	50
Tabla 4.4 Características del aditivo TM - 12	51
Tabla 4.5 Características del aditivo TM - 31	52
Tabla 4.6 Combinación de agregados ensayo de compresión a los 7 días r: $a/c = 0.57$	53
Tabla 4.7 Cantidad de agua versus slump	54
Tabla 4.8 Dosificación de mezcla de concreto premezclado $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	55
Tabla 4.9 Matriz de diseño experimental.....	56
Tabla 4.10 Diseño de mezcla a diferentes porcentajes de aditivo Plastiment TM 31 ($a/c = 0.52$)	57
Tabla 4.11 Diseño de mezcla a diferentes porcentajes de aditivo Plastiment TM 31 ($a/c = 0.57$)	57

Tabla 4.12 Diseño de mezcla a diferentes porcentajes de aditivo Plastiment TM 31 (a/c = 0.62)	58
Tabla 4.13 Cuadro de resultados del ensayo de peso unitario norma ASTM C 138	59
Tabla 4.14 Cuadro de resultados del ensayo de contenido de aire ASTM C 231	61
Tabla 4.15 Cuadro de asentamientos a diferentes porcentajes de aditivo - ASTM C 143..	62
Tabla 4.16 Área de fisuración a diferentes porcentajes de aditivo TM 31 – ACI 544.2R..	65
Tabla 4.17 Área de fisuración a diferentes porcentajes de aditivo TM 31 – ACI 544.2R..	67
Tabla 4.18 Área de fisuración a diferentes porcentajes de aditivo TM 31 – ACI 544.2R..	71
Tabla 4.19 Área de fisuración a diferentes porcentajes de aditivo TM 31 – ASTM C 1579	74
Tabla 4.20 Área de fisuración a diferentes porcentajes de aditivo TM 31 – ASTM C 1579	75
Tabla 4.21 Área de fisuración a diferentes porcentajes de aditivo TM 31 – ASTM C 1579	76
Tabla 4.22 Resistencia a la compresión del concreto premezclado	79
Tabla 4.23 Resultados de compresión del concreto premezclado	80
Tabla 4.24 Resultados de compresión del concreto premezclado	81
Tabla 4.25 Resultados de compresión del concreto premezclado	82
Tabla 4.26 Análisis de varianza ensayo de peso unitario	86
Tabla 4.27 Análisis de varianza ensayo de contenido de aire	86
Tabla 4.28 Análisis de varianza ensayo de cono de Abrams	86
Tabla 4.29 Análisis de varianza ensayo de fisuración	87

Tabla 4.30 Análisis de varianza ensayo de resistencia a la compresión	87
Tabla 4.31 Resumen de análisis de varianza para “F ₀ ” experimental y “F _α ” teórico	88
Tabla A.1 Caracterización física del agregado fino	101
Tabla A.2 Caracterización física del agregado grueso	102
Tabla B.1 Diseño de mezcla concreto a/c = 0.52.....	103
Tabla B.2 Diseño de mezcla concreto a/c = 0.57.....	104
Tabla B.3 Diseño de mezcla concreto a/c = 0.62.....	105
Tabla C.1 Análisis de varianza de dos factores del Peso Unitario	106
Tabla D.1 Análisis de varianza de dos factores del contenido de aire.....	107
Tabla E.1 Análisis de varianza de dos factores del cono Abrams	109
Tabla F.1 Análisis de varianza de dos factores del ensayo de fisuración	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Fisuración de losa aligerada que utiliza concreto premezclado, edificio “San Gabriel” - Trujillo	2
Figura 1.2 Aplicación de solución para corregir la fisuración de pisos residencial “Villa Marina”	3
Figura 2.1 Planta de concreto premezclado KEN, Trujillo	12
Figura 2.2 Tolva de agregados y Camiones mezcladores, Premezclados Ken SAC.	13
Figura 2.3 Ensayos de control de calidad del concreto premezclado	14
Figura 2.4 Fisuras de contracción por esfuerzos internos del concreto	16
Figura 2.5 Curva esfuerzo deformación de los componentes de concreto (Neville, 2011)	16
Figura 2.6 Esquema sobre la fisuración del concreto	17
Figura 2.7 Factores internos y externos en el diseño del concreto premezclado	20
Figura 2.8 Efecto de la concentración del volumen del agregado y contracción por secado del concreto, del mortero y pasta limpia	23
Figura 2.9 Relación agua-cemento en la contracción de las pastas de cemento	25
Figura 2.10 Contracción por secado del concreto	25
Figura 2.11 Contracción por secado del concreto versus tiempo de fraguado	28
Figura 2.12 Contracción y extensión del concreto según el tipo de curado	29
Figura 2.13 Producción de calor del cemento tipo I durante el tiempo	36
Figura 3.1 Panel rectangular para evaluar la fisuración	41
Figura 3.2 Panel tipo anillo para evaluar la fisuración	42
Figura 3.3 Selección del método de análisis de datos	45

Figura 3.4 Selección del instrumento de análisis de datos	45
Figura 4.1 Curva granulométrica del agregado fino (ASTM C33/NTP 400.037).....	48
Figura 4.2 Curva granulométrica del agregado grueso (ASTM C33/NTP 400.037).....	49
Figura 4.3 Cantidad de agua versus Slump – relación a/c = 0.57.....	54
Figura 4.4 Peso unitario del concreto premezclado versus dosificación de aditivo	60
Figura 4.5 Peso unitario del concreto premezclado versus dosificación de aditivo	60
Figura 4.6 Contenido de aire versus relación agua cemento	62
Figura 4.7 Slump del concreto premezclado vs relación a/c	63
Figura 4.8 Molde tipo anillo para la prueba de fisuración (ACI 544.2R).....	64
Figura 4.9 Muestra sin aditivo y muestra con 1.9 kg/m ³ de aditivo TM 31.....	66
Figura 4.10 Muestra sin aditivo y muestra con 3.42 kg/m ³ de aditivo TM 31.....	66
Figura 4.11 Muestra sin aditivo y muestra con 4.94 kg/m ³ de aditivo TM 31.....	67
Figura 4.12 Muestra sin aditivo y muestra con 6.46 kg/m ³ de aditivo TM 31.....	67
Figura 4.13 Muestra sin aditivo y muestra con 1.73 kg/m ³ de aditivo TM 31.....	69
Figura 4.14 Muestra sin aditivo y muestra con 3.11 kg/m ³ de aditivo TM 31.....	69
Figura 4.15 Muestra sin aditivo y muestra con 4.50 kg/m ³ de aditivo TM 31.....	70
Figura 4.16 Muestra sin aditivo y muestra con 5.88 kg/m ³ de aditivo TM 31.....	70
Figura 4.17 Muestra sin aditivo y muestra con 1.59 kg/m ³ de aditivo TM 31.....	72
Figura 4.18 Muestra sin aditivo y muestra con 2.86 kg/m ³ de aditivo TM 31.....	72
Figura 4.19 Muestra sin aditivo y muestra con 4.12 kg/m ³ de aditivo TM 31.....	73
Figura 4.20 Muestra sin aditivo y muestra con 5.39 kg/m ³ de aditivo TM 31.....	73

Figura 4.21	Muestra sin aditivo y muestras con diferentes porcentajes de aditivo TM 31	77
Figura 4.22	Muestra sin aditivo y muestras con diferentes porcentajes de aditivo TM 31	78
Figura 4.23	Muestra sin aditivo y muestras con diferentes porcentajes de aditivo TM 31	78
Figura 4.24	Resistencia a la compresión versus días de curado ($a/c = 0.52$).....	81
Figura 4.25	Resistencia a la compresión versus días de curado ($a/c = 0.57$)	82
Figura 4.26	Resistencia a la compresión versus días de curado ($a/c = 0.62$).....	83
Figura A.1	Visita a la planta de procesamiento de concreto premezclados Ken S.A.C ...	113
Figura A.2	Caseta de control y dosificación de mezclas de la empresa premezclados Ken S.A.C.....	113
Figura A.3	Muestras de aditivo utilizados en la dosificación de concreto premezclado en la empresa Ken S.A.C.....	114
Figura A.4	Área de pesaje electrónico para la dosificación de concreto premezclado en la empresa Ken S.A.C.....	114
Figura A.5	Caracterización del agregado grueso y agregado fino	115
Figura A.6	Ensayo de peso unitario a diferentes porcentajes de aditivo	115
Figura A.7	Ensayo de fisuración método del ACI.....	116
Figura A.8	Muestra de concreto premezclado con y sin aditivo en el ensayo de fisuración	117
Figura A.9	Muestra de concreto premezclado con y sin aditivo elaborados en obra	118
Figura A.10	Muestra de concreto premezclado para ensayo de resistencia a la compresión	118
Figura A.11	Ensayo de resistencia a la compresión para muestras con diferentes dosificaciones de aditivo y relación agua cemento.....	119

Figura B.1 Ficha técnica del aditivo retardante PLASTIMENT TM 12 120

Figura B.2 Ficha técnica del aditivo súperplastificante PLASTIMENT TM 31..... 121

INTRODUCCIÓN

La teoría respecto a la fisuración del concreto explica que cuando el agua sale de un cuerpo poroso que no es completamente rígido, ocurre contracción. En el concreto premezclado desde su estado fresco hasta su puesta en servicio, por lo general ocurre dicho movimiento de agua.

Una de las causas de los cambios volumétricos es debido a la reducción del volumen del sistema cemento más agua: mientras la pasta de cemento es plástica, experimenta una contracción volumétrica cuya magnitud es del orden del uno por ciento del volumen del cemento seco. Una vez que se ha desarrollado cierta rigidez del sistema de la pasta de cemento hidratada, la contracción producida por la pérdida de agua por hidratación se restringe grandemente.

El agua también se puede perder por evaporación a partir de la superficie del concreto, mientras sigue está en estado plástico. Puede surgir una pérdida similar por succión del concreto seco subyacente o del suelo. Esta contracción es conocida como contracción plástica puesto que el concreto aún está en estado plástico.

El agrietamiento también se desarrolla por encima de obstrucciones en asentamiento uniforme, por ejemplo, en acero de refuerzo o en grandes partículas de agregado, esto es agrietamiento por asentamiento plástico.

También puede desarrollarse agrietamiento plástico cuando una gran área horizontal del concreto hace que la contracción en dirección horizontal sea más difícil que la vertical; entonces se forman grietas profundas de forma irregular. Tales agrietamientos pueden llamarse apropiadamente grietas de pre fraguado. Las grietas típicas de contracción plástica son normalmente paralelas unas a otras, con espacio de 0,3 a 1m entre sí y de profundidad considerable. La contracción plástica aumenta cuando el contenido de cemento es mayor en la mezcla y, por tanto, menor la relación agua/cemento. La relación entre exudación y contracción plástica no es directa. Por ejemplo, el retardo del fraguado permite mayor exudación y conduce al aumento de contracción plástica. Por otro lado, la mayor capacidad de exudación previene un secado completo y muy rápido de la superficie del concreto, esto reduce el agrietamiento por contracción plástica.

CAPÍTULO 1.

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.Descripción del problema

Las obras de viviendas multifamiliares en la provincia de Trujillo vienen utilizando el concreto premezclado como material predominante, debido a la necesidad de reducir los tiempos de vaciado y de obtener mayores resistencias. El abastecimiento de este material es oportuno debido a la capacidad de producción en las plantas de Trujillo como son: Pacasmayo, Premezclados Ken y UniBlock.

Dentro de los elementos de las edificaciones que utilizan concreto premezclado están las losas aligeradas y los pisos, estos son susceptibles a fisuración debido a la gran superficie que presentan, este fenómeno se desarrolla durante el proceso de fraguado del concreto y posteriormente en su etapa de endurecimiento. Lo que se ha percibido en estos elementos es que, bajo las mismas condiciones de curado, la fisuración es menor cuando se construye con concreto in situ sin aditivos, mientras que la fisuración es mayor cuando se utiliza concreto premezclado.



Figura 1.1 Fisuración de losa aligerada que utiliza concreto premezclado, edificio “San Gabriel” - Trujillo (Fuente: Propia)

Las fisuras en el concreto premezclado aparecen según un patrón constante durante su estado plástico, aparentemente existe algún factor interno de este que genera dicha complicación, en contraste con las mezclas elaboradas en obra que no presentan esta

patología reiterando que la fisuración apreciada es predominante en los elementos horizontales.

Por lo general, estas fisuras se encuentran paralelas una de la otra, tienen una separación aproximadamente de 30 a 90 cm y una profundidad de 2.5 a 5 cm, y rara vez interrumpen el perímetro de la losa. (Instituto Mexicano del cemento y del concreto, 2017). Se ha observado que estas imperfecciones aparecen sobre la superficie de una losa recién vaciada, durante la operación de acabado o poco después de efectuada ésta. La evaluación de este fenómeno es el motivo de la presente investigación planteándose definir cuál de los factores intrínsecos del concreto premezclado produce la fisuración en su proceso de fraguado.

En cuanto a los pavimentos se ha observado durante su estado plástico deterioros como fisuración en las esquinas, fisuración transversal cercanos a la junta y deterioros superficiales como desprendimientos, también fisuras longitudinales cuando se utiliza concreto premezclado, este tipo de fallas puede ser producto de varias razones sin embargo se estima que el excesivo contenido de aditivo contenido en la mezcla origina estos deterioros prematuros.



Figura 1.2 Aplicación de solución para corregir la fisuración de pisos residencial “Villa Marina”

Fuente: (SIKA, 2018)

En la actualidad la elección entre el concreto premezclado en planta y el elaborado in situ se basa en las circunstancias particulares de la obra en cuestión, en los aspectos técnicos y en los costos beneficios asociados con cada uno de ellos. La ventaja más

sobresaliente en el empleo de concreto premezclado es el abastecimiento del material a mayores alturas y en donde la fluidez de la mezcla se presenta como un factor importante debido a la complejidad de las estructuras.

Pero a pesar de los beneficios mencionados sobre el concreto premezclado, se muestra también una referencia importante descrita en el “Reporte de Sostenibilidad 2016 “de la empresa Pacasmayo (líder en la industria del concreto premezclado en la provincia de Trujillo), en donde se indica que existe alrededor de un 10% de insatisfacción en las constructoras por el producto ofrecido, mostrando el siguiente texto en dicho informe: “Los resultados obtenidos permiten identificar oportunidades de mejora, y desarrollar planes de acción oportunos” (GRI, 2016), corregir la aparición de fisuras en losas y pisos representaría la mejor forma de corregir estos reportes.

Los factores internos que afectan el agrietamiento suceden por sus componentes como: El excesivo contenido de agua, ya que, a mayor cantidad de agua, mayor es la tendencia al agrietamiento pues se incrementa la contracción y se reduce la resistencia, el cemento, en general mientras más alto sea el consumo de cemento igualmente es mayor la posibilidad de agrietamiento. Los agregados, la granulometría forma y textura de los agregados afectan en forma variable las proporciones y con ello la tendencia a la contracción mientras más pequeño sea el tamaño del agregado mayor será la contracción del concreto para una misma resistencia. En el caso de los aditivos, los reductores de agua disminuyen la contracción por secado, los retardantes incrementan la deformabilidad del concreto en el estado plástico disminuyendo el agrietamiento (Lövgren, 2005).

Para poder encontrar la solución es necesario conocer la causa, posiblemente tanto factores internos, como factores externos son fundamento por las cuales el concreto se fisura. No podemos controlar los factores externos como las condiciones medioambientales, pero podemos reducir su impacto con medidas de prevención, mientras tanto, los factores internos si podemos controlarlos y reducir en lo posible la aparición de fisuras.

En tal sentido la presente investigación analiza si el factor intrínseco que produce la fisuración del concreto premezclado en su proceso de fraguado son los aditivos y no el

cemento. El concreto premezclado evaluado tiene las características del material comúnmente distribuido por las empresas de la provincia de Trujillo orientadas al rubro.

1.2. Formulación del problema de investigación

¿Cuál de los factores intrínsecos del concreto premezclado produce la fisuración en su proceso de fraguado?

1.3. Objetivo general

Determinar el factor intrínseco del concreto premezclado que produce la fisuración en su proceso de fraguado.

1.4. Objetivos específicos

- Dosificar mezclas de concreto con diferentes relaciones agua/cemento y con aditivo PLASTIMENT TM 12 y TM 31 para evaluar la fisuración en su proceso de fraguado.
- Analizar bajo las mismas condiciones la aparición de fisuras en concreto con aditivo y sin aditivo.
- Evaluar en qué medida el tipo de aditivo PLASTIMENT TM 12 / 31 y la relación agua/cemento influyen sobre la fisuración del concreto en su proceso de fraguado.

1.5. Justificación de la investigación

La razón principal que origino la presente investigación fue mitigar la falta de durabilidad de las estructuras de gran superficie que utilizan el concreto premezclado como son las losas aligeradas y pisos. Evaluando si el aditivo o el cemento provocan la fisuración de este tipo de mezcla durante su estado plástico, con ello sugerir medidas de control que no impliquen sobrecostos.

Justificación académica: Los resultados permitirán sugerir mejoras en el comportamiento del concreto premezclado ya que el proyecto de tesis aplicara procedimientos y metodologías para analizar los factores internos del concreto premezclado que inducen a la aparición de fisuras.

Por las fisuras pueden ingresar los agresores del medio ambiente hacia los aceros de refuerzo. Dependiendo del ancho de la fisura, el elemento vería comprometida su capacidad de soportar las cargas de servicio. Detectar y resolver este fenómeno no siempre resulta fácil; sin embargo, es esencial determinar qué factores generan la formación de estas fisuras. Por ello el presente estudio busca minimizar la aparición de fisuras en estructuras de gran superficie horizontal de concreto premezclado y de esta manera mejorar la durabilidad de la misma.

Justificación social: El proyecto se justifica socialmente porque evaluara una alternativa de medidas para mejorar la calidad del concreto premezclado y reducir en el mayor porcentaje la aparición de fisuras. El control de los factores internos en la fisuración del concreto premezclado reducirá los costos relacionados con el tarrajeo o resane de fisuras de prefraguado y por endurecimiento. De igual forma mitigar estos factores favorecerán la durabilidad de los elementos y con ello se genera mayor confianza en el cliente.

1.6. Viabilidad de la investigación

El presente estudio de investigación cuenta con los recursos humanos suficientes para su desarrollo bibliográfico y de análisis experimental, las recomendaciones y metodologías brindadas por el asesor y colaboradores favorecen el estudio de la hipótesis planteada por el autor. De igual forma, el presupuesto diseñado para la presente investigación puede ser financiado con recursos propios y amortiguados por la empresa donde se plantea elaborar los especímenes de análisis. Aunque se cuenta con disponibilidad parcial, la programación establecida en el proyecto será desarrollada sin mayor inconveniente dado que el periodo diseñado contempla tanto las condiciones teóricas como la puesta en marcha del estudio experimental tal y como se registró previamente.

Por otro lado, se dispone de acceso a la planta y laboratorio de la empresa Premezclados Ken S.A.C Trujillo, la información recopilada es de vital importancia para analizar la dosificación de mezcla, las características del concreto y las observaciones emitidas por la entidad.

CAPÍTULO 2.

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

- Antecedente Internacional

Título: “Influencia del volumen de fibras y curado posterior sobre el comportamiento post - fisura de un concreto de ultra alto desempeño”,

(Nicolás González, 2014), En su estudio tuvo como objetivo: Lograr desarrollar un UHPC cuya resistencia a la compresión sea superior a los 150 MPa, mediante la utilización de materiales de fácil acceso en Colombia y métodos de preparación que no requieran de la implementación de altas presiones ni generar calor adicional al generado por la hidratación, dado que la implementación de dichas técnicas, es muy difícil de controlar y de proporcionar a las estructuras una vez se hace el vaciado de los diferentes elementos estructurales y no estructurales en un proyecto convencional de ingeniería. Además, busco evaluar el comportamiento mecánico a flexión del UHPC fisurado, después de someterlo a diferentes tiempos de curado húmedo para evaluar si hay auto-reparación en el concreto.

se evaluó el desempeño de un concreto de ultra alto desempeño reforzado con diferentes contenidos de fibras metálicas, el cual fue elaborado utilizando materiales accesibles en Colombia y con técnicas de fabricación convencional, es decir no se utilizaron presiones o temperaturas elevadas en la fabricación de los diferentes especímenes. A este concreto de ultra alto desempeño se le realizaron pruebas de resistencia a la compresión uniaxial, resistencia a la flexión y de igual forma se evaluó el comportamiento de viguetas fisuradas a diferentes edades, las cuales fueron sometidas a diferentes tiempos de curado, con el fin de determinar la resistencia residual a flexión de las mismas.

La adición de fibras metálicas genera el aumento de la capacidad de deformación del concreto, disminuyendo su característica más relevante cuando es sometido a flexión (rotura frágil). De igual forma la utilización de humo de sílice en la dosificación de las mezclas, genera un aumento en la compacidad de la mezcla, así mismo se reduce considerablemente la exudación en el concreto fresco debido a su gran superficie específica, permitiendo trabajar con una baja relación agua/cemento. Por otra parte, se

evidencia que, en todos los casos de análisis propuestos, se origina un proceso de auto-reparación en el concreto, el cual está dado por un proceso de curado posterior a la fisuración del mismo.

Título:” Influencia de los ciclos hielo-deshielo en la resistencia del concreto (caso tunja)”,

(Moreno, 2009), en su artículo tuvo como objetivo: explicar cómo el fenómeno afecta al concreto tanto cualitativa como cuantitativamente en propiedades físicas y mecánicas como porosidad, absorción y resistencia, y en su apariencia física. En la etapa de experimentación se empleó un grupo de 24 probetas cilíndricas de concreto, y se manejaron como variables de experimentación la relación agua/cemento y el tipo de curado, con las que se planteó una matriz de distribución. Para obtener resultados inmediatos se hizo la simulación de este proceso de forma acelerada, llevando los especímenes de concreto a períodos de hielo en la noche y de deshielo en el día, durante un tiempo continuo, en los que se manejaron dos ambientes: uno artificial (refrigerador – temperatura baja) y uno natural (ambiente).

Las acciones físicas son aquellas de las que se derivan los cambios volumétricos que experimenta el concreto en cualquiera de sus estados, debido a los cambios de humedad y/o de temperatura, y variaciones en la masa, que se ven reflejados principalmente en cambios en el peso unitario, la porosidad, permeabilidad y hermeticidad. Los cambios volumétricos son causados por la contracción o dilatación del concreto, movimientos de la formaleta en la etapa de vaciado y/o fraguado, por la acción de heladas tempranas, cambios de humedad, cambios de temperatura o ataque por fuego. Sus efectos se ven reflejados en la formación de fisuras y grietas.

Las conclusiones relacionadas fueron: La variación de la resistencia a la compresión de probetas afectadas frente a las probetas patrón con R a/c: 0,5 fue de 7,8%, 8,8% y 13,7% para las probetas sin curar, curadas en obra y curadas en laboratorio, respectivamente. La variación de la resistencia a la compresión de probetas afectadas frente a las probetas patrón con R a/c: 0,7 fue de 13,5%, 15,1% y 17,9% para las probetas sin curar, curadas en obra y curadas en laboratorio, respectivamente.

Los resultados de esta investigación muestran que los factores como el curado, relación agua cemento y las condiciones medioambientales afectan en diferentes niveles al

concreto, particularmente como lo muestra el estudio para efectos de ciclos hielo deshielo, pero que también influyen en las propiedades físicas y mecánicas del concreto.

Título: Bio precipitación de carbonato de calcio: una alternativa para la reparación de fisuras en concreto,

(ESPITIA, 2015), en su investigación tuvo como objetivo: plantear e implementar de una metodología que permita el estudio de la reparación de fisuras en concreto por medio de bio precipitación de carbonato de calcio, desde el aislamiento de las bacterias requeridas hasta un planteamiento del método a utilizar para la evaluación de los cambios presentes en el material sometido a este proceso.

Las diferentes probetas (de los dos diferentes tipos de fisuración a estudiar) fueron divididas en 4 grupos y sometidas a diferentes “tratamientos”; de esta manera, un total de 6 cilindros fueron sumergidos en agua, otros 6 sumergidos en medio LB líquido con un ph de 9.5, otros en el mismo medio, pero inoculado con las bacterias aisladas previamente y por último, los últimos 6 cilindros fisurados fueron colocados a la intemperie, sin estar sumergidos en ningún medio o substancia.

Se realizó un control preciso y aceptable del ancho de las fisuras en los elementos de concretos fabricados. Además de esto, para el denominado Tipo I de fisuración, se logró una aparente reparación total de algunas fisuras, lo cual indica que para fisuras con un espesor de hasta 0.12 mm, aproximadamente, se alcanzó el objetivo de reparación aplicando la bio precipitación de carbonato de calcio; sin embargo, el alcance del presente proyecto de grado permite realizar una nueva interrogante: “Existe un cambio en las propiedades mecánicas del concreto al implementar esta técnica alternativa de reparación”.

Se pudo observar como la pérdida en la resistencia es directamente proporcional al ancho de fisuras presente en cada probeta y es mucho mayor al utilizar medio LB a diferencia del tratamiento con la aplicación únicamente de agua, de esta manera, se puede observar también un incremento en la resistencia para probetas Tipo 1 sumergidas en agua con respecto al control, lo cual puede ser causa del fenómeno de re hidratación del cemento, en donde algunas partículas de cemento que no fueron hidratadas durante el proceso de mezclado entran en contacto con el agua en el cual se sumergen las probetas, generando la reacción química que lo convierte en un agente ligante.

Los resultados de esta investigación explican la importancia de mitigar las fisuras en el concreto pues los ensayos de propiedades mecánicas muestran que la resistencia del concreto puede sufrir hasta un 15.31% de variación respecto a la resistencia esperada.

- **Antecedente Nacional**

Título: “Verificación de la dosificación de fibras sintéticas para neutralizar las fisuras causadas por contracción plástica en el concreto”,

(Aymar, 2007), Esta tesis tiene como objetivo principal determinar el desempeño de las fibras sintéticas para contrarrestar las fisuras de contracción plástica añadiendo un aditivo tipo D al concreto. Estos materiales ayudan a contrarrestar las fisuraciones por contracción plástica por secado en comparación con un concreto convencional. Uno de los problemas más comunes que se debe afrontar en la construcción, son las fisuras en el concreto. Estas fisuras que pueden no ser peligrosas estructuralmente, pero desde el aspecto estético pueden dar la sensación de inseguridad al cliente; por tanto, se plantea agregar materiales fibrosos en una mezcla de concreto para mejorar su resistencia, elasticidad y control de grietas.

Entre sus objetivos específicos, menciona: Determinar el contenido óptimo de las fibras en el concreto para cada relación a/c considerando la eficacia de los elementos añadidos para contrarrestar las fisuras causadas por la contracción plástica y estudiar las propiedades del concreto endurecido utilizando la fibra sintética (Fibermesh) y el aditivo tipo D (Poliheed 770 R).

Mientras que las conclusiones de la tesis fueron: Se encontró que al usar el aditivo D más las fibras sintéticas en el diseño, más las proporciones indicadas, estos dos en conjunto pueden llevar a contrarrestar las fisuras por contracción plástica efectivamente, ya que el aditivo ayuda a que se mantenga 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 concreto por capilaridad no produzca tensiones que pueden causar las fisuras. También menciona que se puede reducir las fisuras por contracción plástica de manera eficaz añadiendo 800 g/m³ a las relaciones agua cemento de 0.60 y 0.65 y con 900 g/m³ a la relación de 0.70. Al aumentarse la dosificación de fibra sintética el asentamiento obtenido será menor, independientemente de la relación agua-cemento. Allí es donde actúa el aditivo Poliheed 770R controlando la trabajabilidad del concreto con fibras

sintéticas. El aditivo D en comparación con el agua, aumenta el tiempo de trabajabilidad del concreto, el cual se va perdiendo debido a las condiciones ambientales. Según los análisis de costos, es más económico realizar un concreto con aditivo que un concreto simple, obteniendo mejores resultados tanto en el estado fresco, como en su estado endurecido.

Los resultados de esta investigación muestran que la fisuras en el concreto están relacionadas con factores internos como la relación agua cemento en la mezcla de concreto por otro lado un factor externo que facilita la generación de la aparición de fisuras por contracción plástica es el tiempo de curado y el clima, estos detalles será tomado en cuenta para analizar una mezcla de concreto premezclado.

Título: “Aplicación del concreto autocompactante con aditivo incorporador de aire para el estudio de fisuras en losas de concreto armado”,

(Oré, 2016) en su tesis tuvo como objetivo general: Determinar la influencia del diseño de concreto autocompactante con aditivo incorporador de aire para la evaluación de fisuras en losas de concreto armado. Discutieron sobre la presencia de fisuras no estructurales en las losas de concreto armado, el usar los aditivos superplastificante Master Glenium SCC 3800 e incorporador de aire reducen notoriamente la presencia de fisuras por retracción plástica y asentamiento plástico en las primeras horas, además contrarrestan la aparición de fisuras por contracción térmica y retracción por secado durante el primer mes de las losas de concreto armado. El crecimiento de la longitud de las fisuras es acelerado en los 7 primeros días de edad para todos los tipos de concretos utilizados en los vaciados de las losas. La losa que presentó mayor longitud en fisuración con 319.10cm/m² fue la losa aligerada vaciada con concreto convencional y piedra canto rodado.

En cuanto al análisis del tipo de agregado concluyeron que las losas aligeradas, las mezclas con contenido de piedra canto rodado presentan mayor área de fisuramiento desde el primer día del colocado de los concretos, evidenciándose un aumento en el área de fisuramiento a lo largo de los 28 días. Para este tipo de losas la piedra chancada contrarresta mejor las fisuras.

Para las losas macizas de 15cm de espesor durante los 28 días de estudio se observa que para las losas macizas con concreto autocompactante e incorporador de aire y piedra

chancada no presentan ningún tipo de fisuras logrando superar estas anomalías del concreto.

De los resultados obtenidos se concluye que todas las losas con placa colaborante vaciadas con los distintos tipos de concreto presentaron fisuras lográndose reducir con el uso del concreto autocompactante con incorporador de aire, estas losas son las más propensas a fisurarse respecto a las otras losas estudiadas.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. El concreto premezclado

Las materias primas utilizadas en la producción del concreto premezclado son: cemento, agua, grava, arena y aditivos. El cemento, ocupa aproximadamente un 15% de la mezcla, y es el que proporciona la resistencia. El agua juega el papel de detonante al provocar una reacción química junto con el cemento, dicha reacción forma la pasta, que, por lo general, representa desde el 25% hasta el 40% del volumen total del concreto.

La grava y la arena, también conocidos como agregados, representan del 60 al 75% aproximadamente del volumen total del concreto, y varían en tipo y tamaño dependiendo de la resistencia requerida.



Figura 2.1 Planta de concreto premezclado KEN, Trujillo (Fuente: Propia)

Para la producción del concreto premezclado, se vierten los agregados en el dosificador luego son transportados en fajas hacia los compartimientos, posteriormente se transporta

el cemento desde el silo hasta el recipiente de pesaje por medio del transportador de tornillo. Después del pesaje, se colocan los materiales en la mezcladora durante este proceso se adicionan los aditivos.

Todo este proceso está completamente automatizado y controlado por un ordenador ubicado en la caseta de control; el sistema está programado para seguir las dosificaciones establecidas por la empresa.

Cuando el agregado, el agua y el cemento se ponen en la mezcladora, comienza el proceso de mezclado y toma solo unos minutos para producir el concreto premezclado, durante el proceso de mezclado según sea el caso, se agregan los aditivos, que son sustancias químicas que sirven para acelerar la resistencia, el fraguado, mejorar la durabilidad del concreto y/o para disminuir la cantidad de agua utilizada.

La masa uniforme se mezcla constantemente con giros de 10 a 12 revoluciones por minuto luego los camiones mezcladores transportan el concreto premezclado a obra.



Figura 2.2 Tolva de agregados y Camiones mezcladores, Premezclados Ken SAC.
(Fuente: Propia)

En la provincia de Trujillo al año 2019 existen tres empresas que distribuyen concreto premezclado como son: Pacasmayo SAC, Premezclados Ken SAC y Uniblock. Se Ofrece concreto de diferentes resistencias siendo el de 210 kg/cm^2 el más solicitado para losas y pavimentos. Se estima que se distribuyen entre 500 y 1200 m^3 de concreto mensuales en la empresa Premezclado Ken cuyo mercado principal son los edificios multifamiliares. Mientras que la empresa Pacasmayo distribuye entre 700 y 1500 m^3 de este material mensualmente.

Se constató que el área de calidad realiza controles de resistencia a la compresión por cada tanda, para lo cual se elaboran entre 9 y 15 probetas cuya rotura se realiza a los 3, 7 y 14 días en la mayoría de los casos, la información es almacenada en un libro de control y está sujeta a revisión por el personal que reside en el laboratorio de control de calidad. El asentamiento es medido en obra por un técnico enviado desde la planta de premezclados mediante la determinación del Slump. En cuanto a la caracterización de los agregados se realizan los siguientes ensayos: análisis granulométrico, % que pasa la malla N° 200, contenido de humedad y propiedades físicas del material (módulo de fineza, tamaño máximo, peso específico, etc).



Figura 2.3 Ensayos de control de calidad del concreto premezclado

(Fuente: Propia)

Por último, para establecer la dosificación de la mezcla se realizan varios diseños con los materiales disponibles, estos varían según sus canteras de procedencia en el caso de los agregados y el tipo de cemento que es almacenado en los silos de la planta. Generalmente el tipo de aditivo es constante y solamente se evaluó su desempeño cuando la empresa que distribuye este material lo recomienda, siendo la entidad que lidera el mercado de este rubro “Sika Peru S.A.C”. Sin embargo, se constató que no se realizan ensayos que cuantifican la fisuración como control de calidad del concreto

premezclado tanto en la empresa Pacasmayo como en Ken – Trujillo, o solamente se ejecutaron ensayos de fisuración por el método del panel rectangular cuando se utilizaron fibras; cabe destacar que en la provincia de Trujillo es mínima la solicitud de este tipo de concreto.

La información adjuntada previamente fue recolectada durante el proceso de elaboración de muestras en el laboratorio de control de calidad de la empresa premezclados Ken S.A.C, así como durante la construcción del edificio “San Gabriel” en la urb. las hortensias de California - Trujillo y el edificio “Los Laureles de California”- Trujillo.

Por otro lado, a continuación, se resumen algunas de las ventajas que posee el concreto premezclado, respecto al concreto elaborado in situ (CONSTRUCCIÓN, 2018):

- La capacidad de producción de una central de concreto premezclado es muy superior a cualquier instalación clásica de producción en obra, de esta manera se puede incrementar la colocación diaria de concreto y disminuir los plazos de ejecución.
- El constructor puede dedicarse a su actividad fundamental: la construcción, sin aumentar su personal innecesariamente.
- El costo del m³ del concreto premezclado es plenamente conocido por el usuario, mientras del costo de fabricación del concreto producido en obra es difícil de conocer previamente con precisión.
- Economía en materiales de fabricación en almacenamiento y en gastos para mantenimiento del concreto en obra.
- Precisión en la dosificación de mezcla y regularidad de control de las materias primas y el concreto.

2.2.2. El Fenómeno de las fisuras

El mecanismo de la 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 de exudación, la superficie del concreto se seca, la superficie del concreto trata de contraerse, el concreto húmedo trata de resistir la contracción, se generan esfuerzos en el concreto plástico, se forma la fisura de contracción plástica.

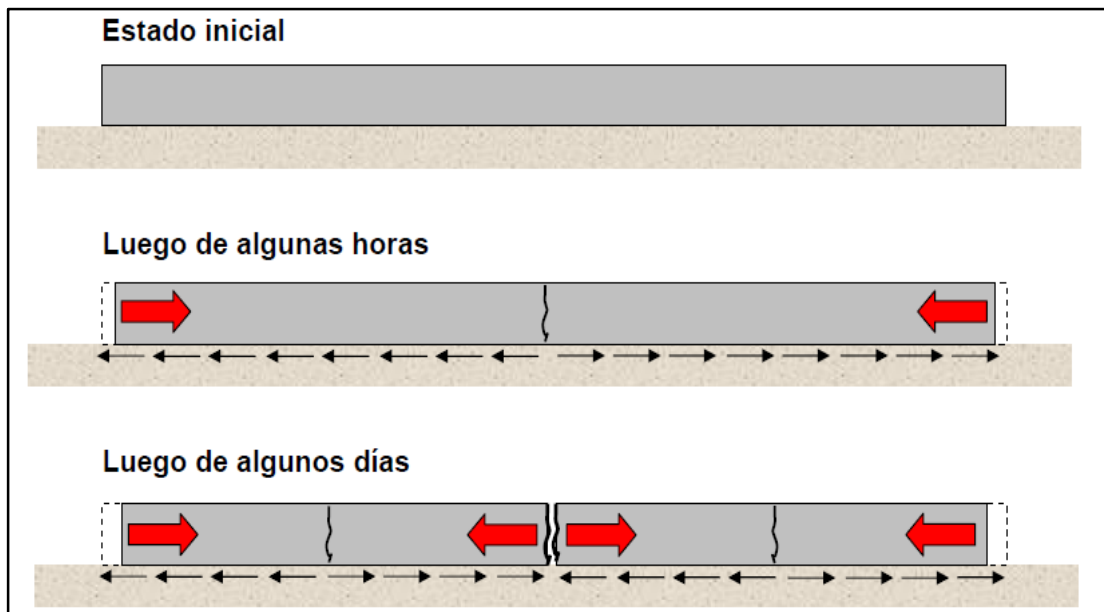


Figura 2.4 Fisuras de contracción por esfuerzos internos del concreto
Fuente: ATE-IMCYC.

En la figura 2.4 se muestra un esquema del proceso de contracción del concreto durante su proceso de fraguado, en el cual la mezcla sufre un estado de contracción que genera esfuerzos internos la capacidad de disipar estos esfuerzos depende directamente del módulo de elasticidad del elemento, en la figura 2.5 se ilustran las curvas correspondientes a los componentes del concreto.

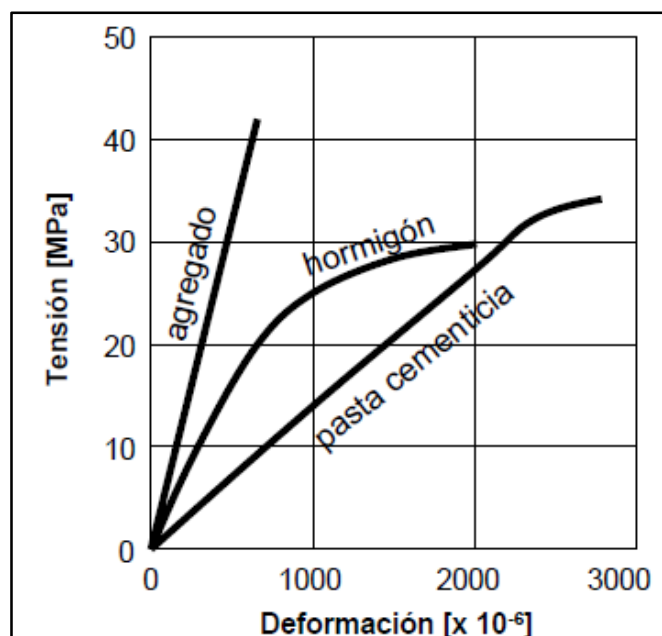


Figura 2.5 Curva esfuerzo deformación de los componentes de concreto
Fuente: (Neville, 2011)

Diferentes señales o signos visibles tienen lugar en las estructuras de concreto como respuesta ante alguna alteración. Son estos signos los que indican la presencia de alguna enfermedad y orientan hacia las posibles causas que la generan. (CORRAL, 2004)

- Las fisuras son uno de los síntomas patológicos más importantes del comportamiento en servicio de las estructuras de concreto.
- Son roturas que aparecen en el concreto como consecuencia de la aparición de esfuerzos que superan la capacidad resistente del material.
- Su aparición esclarece en gran medida el tipo de enfermedad de que padece la estructura, razón por la que han sido interés de estudio de especialistas por todo el mundo.

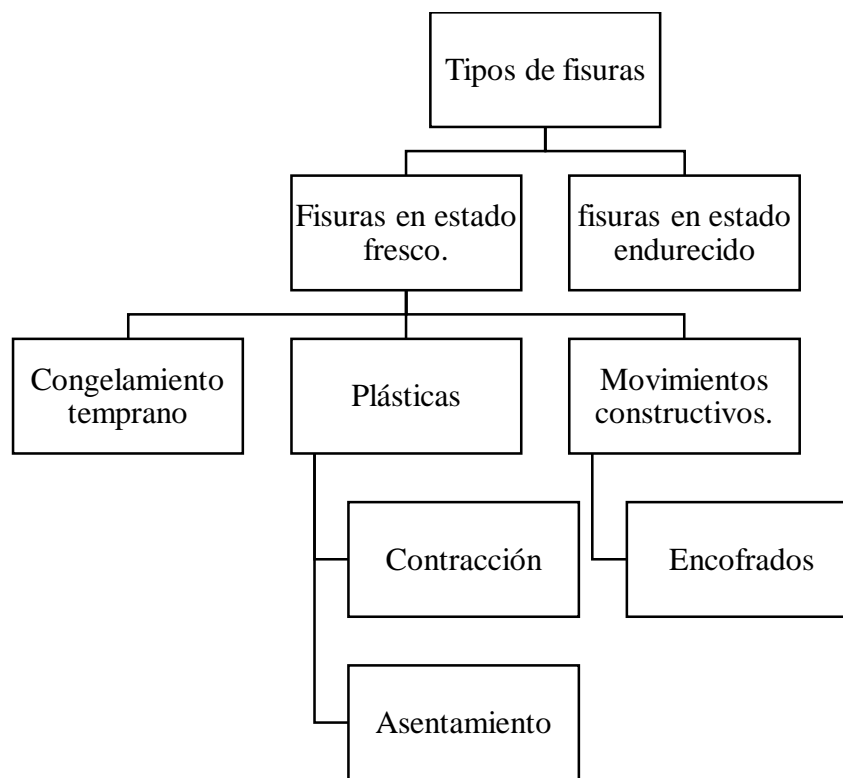


Figura 2.6 Esquema sobre la fisuración del concreto

Fuente: (Concrete society, 1992)

2.2.3. Fisuración en el Concreto

Los cambios volumétricos constituyen uno de los aspectos más importantes del comportamiento del concreto, tanto desde el punto de vista de la tecnología del diseño de mezclas, su producción, colocación y curado, dado que sus efectos se traducen en contracciones y/o expansiones que ocasionan una gran variedad de problemas,

asociados principalmente a fisuraciones y deformaciones que algunas veces solo son objetables desde el punto de vista estético y en otras producen la pérdida de capacidad portante u operatividad de las estructuras. (Pasquel, 2015)

De acuerdo a la literatura especializada, la fisuración en el concreto se divide según el tiempo de aparición en: fisuración en estado plástico y la fisuración en estado endurecido.

Fisuración en Estado Plástico	Contracción Plástica	Contracción Hidráulica
		Mapeo Superficial
	Por Deficiencias o Descuidos en la Ejecución	Asentamiento plástico
		Contracción por secado
Fisuración en Estado Endurecido	Por Movimientos Espontáneos	Contracción por carbonatación
		Contracción térmica.
		Entumecimiento por corrosión del acero de refuerzo.
	Por Acciones Mecánicas	Reacción álcalis-agregado.
	Otros	Compresión, tracción, flexión, cortante o torsión.
		Errores de diseño y detallado.
		Prácticas constructivas inadecuadas.

Fuente: Instituto del cemento y el concreto, 2016

En este estudio realizado, nos enfocaremos solo en la fisuración por estado plástico.

Precisamente, los principales fenómenos que condicionan los cambios volumétricos del concreto están relacionados básicamente con el comportamiento de la pasta de cemento y su interacción con los otros elementos involucrados como son los agregados, el agua, los aditivos y las condiciones externas (humedad, temperatura, viento, etc).

La fisuración del concreto, son roturas que aparecen en el concreto como consecuencia de la aparición de esfuerzos que superaran la capacidad resistente del material.

a) **Contracción espontanea**

El mecanismo de este proceso fisicoquímico sucede cuando al mezclarse el cemento con el agua y obtenerse el gel del cemento, se inicia el proceso de hidratación, así como la formación de los poros del gel y poros capilares. El intercambio de agua en los poros del gel y los poros capilares con el cemento produce una retracción irreversible, esta condición depende exclusivamente del tipo y características del cemento, siendo la contracción intrínseca del orden de 150×10^{-6} .

En general, la retracción generada es incapaz de producir fisuración pues los esfuerzos de tracción inducidos son de 2 a 8 kg/cm², este proceso se desarrolla a lo largo del tiempo que demora en completarse el proceso de hidratación total del cemento, que se completa en gran medida a los 28 días de edad. (Frederik, 2004)

En consecuencia, está comprobado de forma fehaciente que este fenómeno no motiva la fisuración en el concreto, dadas las condiciones estandarizadas de fabricación de los cementos Portland, los esfuerzos de tracción mínimos son asimilados sin problemas por el concreto.

b) Contracción por secado

Este fenómeno se produce por la pérdida de humedad de la pasta. El mecanismo es físico, causado por la pérdida primero del agua contenida en los poros capilares cuyo efecto es despreciable y luego por la evaporación del agua de adsorción contenida en los poros del gel. Mantenido por fuerzas electroquímicas en la superficie de las partículas y con propiedades físicas sustancialmente diferentes de las del agua de adsorción de los poros capilares, es esta agua de adsorción de los poros del gel y su evaporación, la responsable del fenómeno de la contracción por secado.

El orden de magnitud de la deformación unitaria producida por la contracción por secado puede oscilar entre 400 y 1100 x 10⁻⁶, y las tensiones que se producen pueden variar entre 10 y 35 kg/cm². Los factores que afectan la construcción por secado en el concreto son:

- **Características del cemento:** Su finura y el contenido de yeso en la composición influyen en marcar las diferencias en contracción.
- **Tipo de agregado:** Su capacidad de deformación (módulo de elasticidad) y su adherencia con la pasta de cemento son las propiedades físicas que tienen importancia fundamental en la contracción del concreto. Es importante saber que a mayor tamaño máximo o módulo de fineza menor será la contracción.

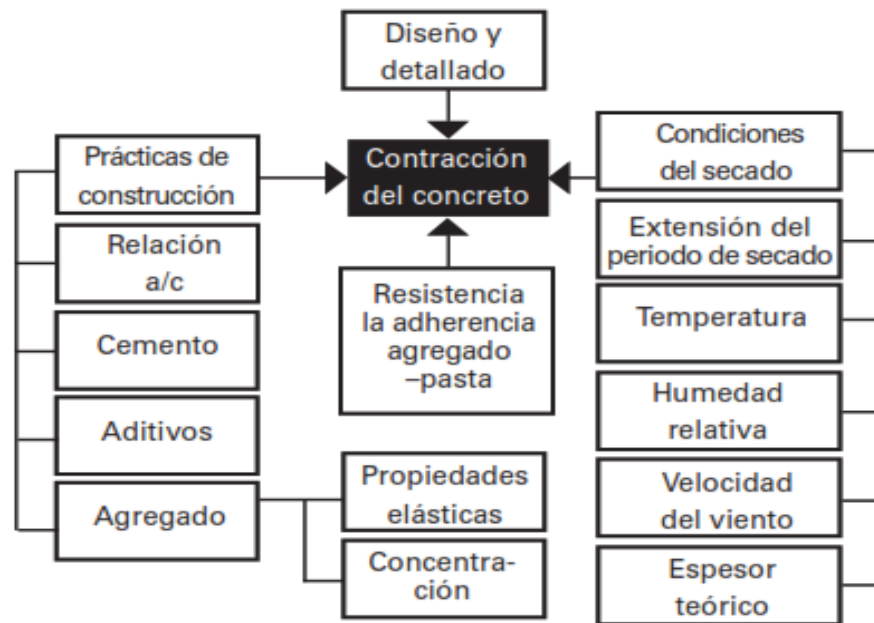


Figura 2.7 Factores internos y externos en el diseño del concreto premezclado

Fuente: (Instituto del cemento y el concreto, 2016)

- **Influencia de los aditivos:** Los aditivos reductores de agua tienden a colaborar en reducir la contracción sin embargo este efecto no es muy evidente en la mayoría de los casos, los acelerantes ocasionan un incremento en la contracción por secado que en promedio puede llegar a ser hasta el 50 % de la normal, desarrollándose la mayor parte a edades tempranas (7 días) y disminuyendo con el tiempo. Los acelerantes incrementan la temperatura del concreto fresco por la reacción exotérmica con el cemento y consecuentemente los requerimientos de agua en la mezcla. (Nagataki, 2013)

2.2.4. Factores Externos que producen la fisuración del concreto

Los factores externos que afectan la pérdida de humedad del concreto son las condiciones ambientales, así como el tamaño y la forma del elemento de concreto.

Condiciones Ambientales

La temperatura del aire, la humedad relativa y la velocidad del viento afectan la pérdida de humedad de la superficie del concreto, cualquier combinación de estos factores afectan la velocidad de evaporación. Las condiciones ambientales diferentes en los lados opuestos de un elemento dan como resultado un secado diferencial hacia afuera, y, por tanto, una contracción diferencial con la posible consecuencia de alabeo.

En resumen, es de esperarse una mayor contracción del concreto cuando se eleva la temperatura ambiental, disminuye la humedad relativa, se incrementa la velocidad del viento alrededor del concreto y cuando aumenta el periodo de tiempo en el que el concreto está sujeto a condiciones de secado.

Geometría del elemento

Los elementos de concreto grandes y de mayor sección se secan más lentamente que los pequeños y delgados. Como resultado, para el mismo periodo de secado, la contracción de los elementos de gran tamaño es menor que para los de menor tamaño, en los cuales su núcleo se puede secar más rápidamente.

El efecto de la geometría del elemento de concreto sobre la contracción por secado está representado en la mayoría de los reglamentos y normas por su “espesor teórico” o el espesor hipotético que se define como dos veces el área de la sección transversal del elemento de concreto dividido por el perímetro expuesto de la sección transversal.

E teórico:

$$\frac{2 (\text{área de la sección transversal del elemento})}{\text{Perímetro expuesto de la sección transversal}}$$

De aquí se sigue que un espesor teórico más grande estará asociado con una menor contracción por secado.

Prácticas de construcción

La colocación, la compactación y el curado del concreto, son factores importantes para minimizar la magnitud de las fisuras en el concreto. Al agregar más agua en el sitio durante la colocación del concreto para restablecer el revenimiento o para ayudar al acabado final, se incrementará la contracción por secado del concreto.

Se requiere de compactación y curado apropiados para producir un concreto denso de capilares reducidos y/o con capilares discontinuos, que da como resultado una pérdida reducida de humedad del concreto y baja la contracción por secado. Al aplicar apropiadas medidas de curado inmediatamente después del acabado del concreto, se evitará el secado de la superficie del concreto, en especial en condiciones de clima caliente.

2.2.5. Factores Internos que producen la fisuración

Los factores internos que afectan la contracción por secado en la formación de fisuras del concreto y aquéllos relacionados con sus constituyentes son:

- Cementos
- Agregados
- Aditivos
- Diseño de Mezcla del Concreto
- Relación agua-cemento
- Contenido de Agua
- Propiedades de los agregados y fracción de volumen
- Aquellos vinculados con la construcción del concreto: colocación, compactación y curado.

Cementos:

Aunque generalmente se concluye que la composición del cemento puede afectar la contracción por secado, el efecto no se ha determinado por completo.

Se ha observado que el contenido de C3A (Aluminato Tricalcico) y álcali tiene un efecto dominante. A su vez, el contenido de C3A y álcali sobre la contracción es influido por el contenido de yeso del cemento, es decir, la contracción de cementos del mismo contenido de C3A difiere para diferentes contenidos de yeso.

Esto ha conducido al desarrollo de un cemento caracterizado en términos de comportamiento por contracción como “cemento de contracción compensada”. Debe precisarse que el uso del cemento por contracción compensada por sí mismo no garantiza la producción de concreto de baja contracción, hay que considerar otros factores involucrados, pues éstos pueden tener un peso mayor que el efecto del cemento en la contracción por secado del concreto.

Agregados:

Los agregados tienen un efecto restrictivo en la contracción. Este efecto se ilustra en la siguiente figura y muestra que algunos tipos de agregados, si se contraen más que la pasta de cemento, incrementan la contracción del concreto significativamente.

Hay una relación razonablemente directa entre la contracción de un agregado y su capacidad de absorción. Es decir, los agregados de buena calidad y baja contracción generalmente están caracterizados por una baja absorción. Si el agregado se contrae menos que la pasta de cemento, entonces el agregado restringe la contracción, y ésta disminuirá al incrementarse la fracción del volumen del agregado. El efecto de la fracción del volumen del agregado en la contracción por secado se muestra en la siguiente figura. La figura 2.8 ilustra el sustancial efecto de restricción de los agregados en la contracción por secado de la pasta. Tal como puede verse, la contracción del concreto puede ser de únicamente 20% de la correspondiente a la pasta de cemento.

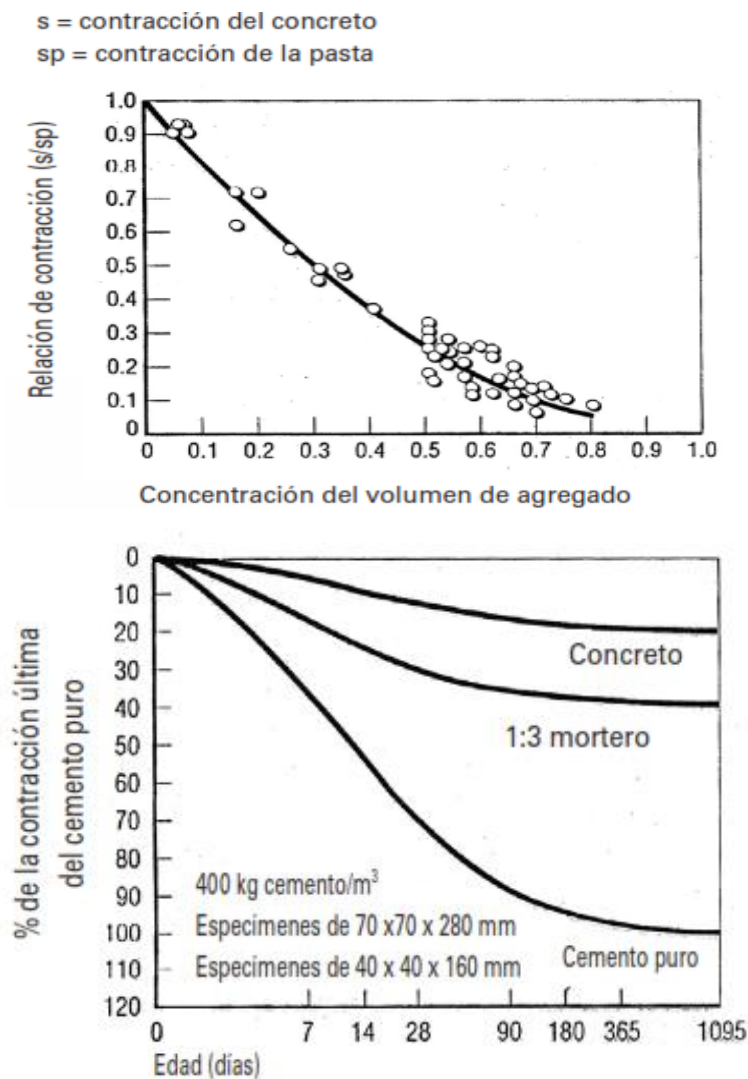


Figura 2.8 Efecto de la concentración del volumen del agregado y contracción por secado del concreto, del mortero y pasta limpia

Fuente: (Instituto Mexicano del cemento y del concreto, 2017)

Otras propiedades del agregado, tales como la granulometría, el tamaño máximo, la forma y la textura, afectan la contracción por secado indirectamente. En la práctica, la variación en cualquiera de estas propiedades puede conducir a un cambio en la demanda de agua y/o el contenido de la pasta y su efecto sobre la contracción por secado sólo es medible en términos de los cambios que causan a la mezcla del concreto.

Los agregados pueden estar contaminados por otros materiales como sedimentos, arcilla, carbón, madera o materia orgánica. La mayoría de estos materiales no restringe la contracción y, de hecho, puede incrementarla, especialmente en el caso de la arcilla que absorbe la humedad y se contrae considerablemente al secarse. La mayoría de estos materiales contaminantes pueden ser removidos lavando el agregado.

En resumen, los agregados duros y densos, con poca absorción y alto módulo de elasticidad, son importantes para la producción de concreto de baja contracción por secado. El efecto del agregado en la restricción de la contracción por secado del concreto está regido por:

- La fracción del volumen del agregado
- El módulo de elasticidad del agregado
- La contracción del agregado al secarse

Aditivos:

Hay muchos tipos de aditivos para su incorporación en el concreto para lograr y aumentar ciertas propiedades, o economizar, o para ambas cosas. Generalmente los aditivos afectan la contracción del concreto en un grado variable, dependiendo de su formulación, su interacción con el cemento y con otros aditivos en la mezcla, y en las variaciones o ajustes que provocan en las proporciones de la mezcla de concreto.

Ha quedado bien establecido que los aditivos que contienen cloruro de calcio pueden incrementar la contracción por secado del concreto.

Contenido de Agua:

La contracción por secado del concreto se incrementa al aumentarse su contenido de agua. La variación en la contracción con el contenido de agua puede explicarse por la

diferencia en los tipos de agua perdidas en las etapas del secado mencionadas antes, también asociado con el módulo de elasticidad del concreto.

El concreto con alto contenido de agua (y alta relación agua-cemento) tiene una resistencia inferior y un menor módulo de elasticidad, y, por tanto, tiene una mayor tendencia a la contracción. El efecto de la relación agua-cemento en la contracción por secado se ilustra en la siguiente figura. Como puede notarse, a edades mayores de 28 días, una superior relación agua-cemento conduce a un incremento significativo en la contracción por secado.

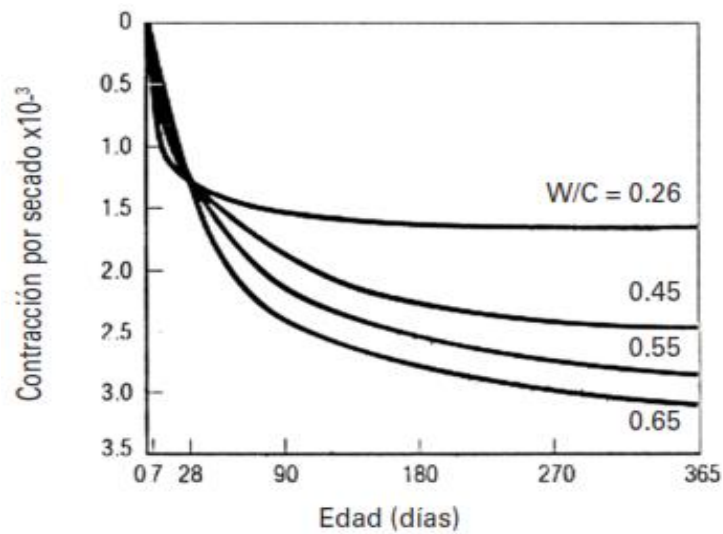


Figura 2.9 Relación agua-cemento en la contracción de las pastas de cemento

Fuente: (Instituto del cemento y el concreto, 2016)

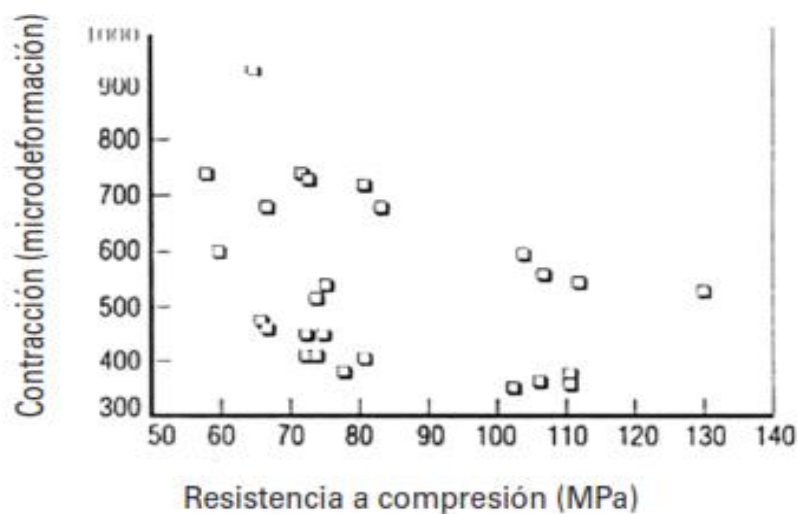


Figura 2.10 Contracción por secado del concreto

Fuente: (Instituto del cemento y el concreto, 2016)

Se ha defendido la idea de que un alto contenido de cemento siempre conduce a una mayor contracción por secado. Esto no es estrictamente correcto, como puede ilustrarse en la figura, la cual muestra que un concreto de alto comportamiento y alta resistencia que puede ser caracterizado por un alto contenido de cemento, menor contenido de agua (y por tanto, relación baja de agua-cemento) y buena calidad de agregados, puede tener características de baja contracción.

2.2.6. Fisuras de Contracción Hidráulica

Esta fisuración es característica del concreto fresco y suele generar fisuras que aparecen poco después que ha desaparecido el brillo acuoso en la superficie del elemento, al no compensarse la pérdida de agua; generalmente en las primeras horas (1 a 10 horas).

Las fisuras de contracción hidráulica, son comunes en losas y pisos (elementos planos en los que predomina la superficie sobre el volumen), aparecen cuando el concreto está fraguando; es decir; cuando tiene poca capacidad de resistencia a la tensión.

La principal causa de aparición de este tipo de fisuración es la evaporación rápida del agua de la superficie de concreto, es un fenómeno más común en climas cálidos donde les favorecen las condiciones de temperatura, viento y humedad, debido a que la velocidad de evaporación superficial supera la velocidad de exudación del agua desde el interior del elemento hacia la superficie, ocurriendo la contracción en la superficie y apareciendo las indeseables fisuras.

En general estas fisuras no afectan la capacidad resistente del elemento; estas aparecen fundamentalmente como consecuencia de un retraso en el curado o protección del concreto, y si comprometen la estética de la estructura.

2.2.7. Fisuras de Mapeo Superficial

Estas fisuras surgen a consecuencia de un enérgico secado superficial, el cual se acentúa en la medida que la temperatura de ambiente es más alta y el viento más seco.

Esto se da en las primeras horas después de la colocación de la mezcla, y antes de que el concreto comience a fraguar.

Este tipo de daños se debe fundamentalmente a incorrectos procedimientos de compactación y terminación, teniendo dos causales fundamentales: La sobre vibración con la consecuente segregación en la mezcla, y el allanado excesivo.

Si el elemento de concreto presenta espesor variable, éstas suelen aparecer con mayor frecuencia en las zonas de menor espesor. Son más frecuentes en elementos de pequeño espesor y gran superficie horizontal libre.

Estas fisuras no suelen seguir líneas determinadas, si no que se ramifican de forma irregular. Al parecer cuando el concreto aún está desprovisto de resistencia, se adaptan al contorno de los agregados. En general siempre son superficiales y de poca profundidad.

2.2.8. Fisuras de Asentamiento Plástico

Estas fisuras se producen por un desplazamiento de los elementos sólidos de la mezcla de concreto hacia el fondo o parte baja de los encofrados por gravedad, y del agua hacia la superficie del elemento de concreto.

Cuando el concreto fresco es vertido en los moldes (encofrados), los sólidos de la mezcla tienden a asentarse y desplazan otros compuestos menos densos como el agua y el aire, por lo cual el agua tiende a la superficie como agua de exudación.

Otra condicionante de este tipo de fisuración suele ser el movimiento imprevisto del encofrado, debido a que la presión que ejerce el concreto fresco sobre los moldes o el suelo, hace que estos se deformen, sobre todo si no se encuentran adecuadamente apuntalado o compactado.

De igual manera ocurre con el desencofrado, pues cuando este se realiza fuera de tiempo (prematureo) también pueden presentarse fisuras por asentamiento plástico.

2.2.9. Fisuras de Contracción por Secado

La contracción por secado constituye una porción del total de la deformación que se observa en un elemento del concreto. La siguiente figura muestra los componentes de la deformación, excluyendo el movimiento térmico.

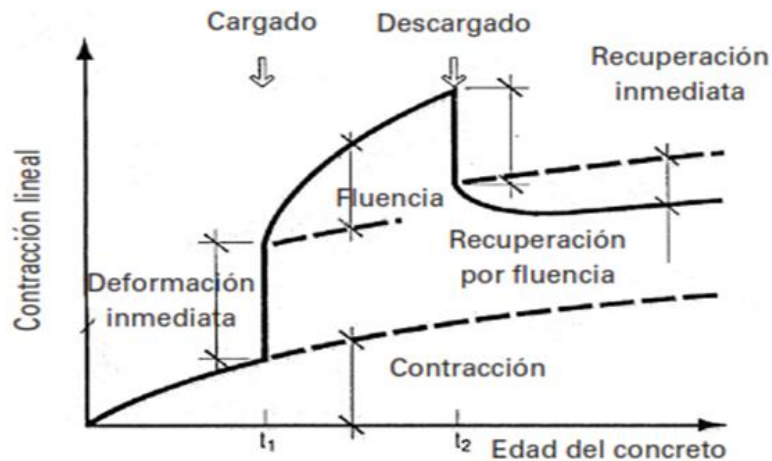


Figura 2.11 Contracción por secado del concreto versus tiempo de fraguado

Fuente: (Pasquel, 2015)

Cuando el concreto es expuesto a su ambiente de servicio tiende a alcanzar un equilibrio con ese ambiente. Si el medio ambiente es una atmósfera seca, la superficie expuesta del concreto pierde agua por la evaporación. La velocidad de evaporación dependerá de:

- La humedad relativa
- La temperatura
- La relación agua-cemento
- El área de la superficie expuesta del concreto

La deformación por contracción es dependiente del tiempo y no es inducida por carga. Si el ambiente es húmedo, el flujo de la humedad se dará desde el medio ambiente al concreto, resultando un incremento de volumen o expansión.

En la siguiente figura, se muestra una descripción esquemática de los cambios en el volumen del concreto debido a ciclos internos de secado y mojado. El movimiento de contracción más grande ocurre en el primer secado. Una parte considerable de esta contracción es irreversible, es decir, que no se puede por un mojado subsecuente.



Figura 2.12 Contracción y extensión del concreto según el tipo de curado

Fuente: (Pasquel, 2015)

Algunas de las medidas que pueden tomarse para reducir la contracción por secado del concreto incluyen:

- Uso mínimo de contenido de agua (consistente con los requisitos de colocación y acabado).
- Empleo de la fracción de volumen más alta posible de agregado de buena calidad, y tamaño máximo posible del agregado.
- Uso de cemento de contracción compensada cuando pueda disponerse de éste.
- No utilizando aditivos que se sepa que incrementan la contracción por secado, por ejemplo, aquellos que contienen cloruro de calcio.
- Asegurándose de que el concreto sea apropiadamente colocado, compactado y curado.

2.2.10. Efecto de los Aditivos en el Concreto Premezclado

Los aditivos son químicos que se agregan al concreto en la etapa de mezclado para modificar algunas de las propiedades de la mezcla y no son considerados un sustituto de un adecuado diseño de mezcla, de mano de obra calificada o del uso de buenos materiales. Las razones más comunes para usar aditivos en el concreto son:

- Incrementar la trabajabilidad, sin cambiar el contenido de agua.
- Reducir el contenido de agua, sin cambiar la trabajabilidad.

- Ajustar el tiempo de fraguado.
- Reducir la segregación y/o el sangrado.
- Mejorar la bombeabilidad.
- Acelerar la tasa de desarrollo de resistencia a edades tempranas.
- Incrementar la resistencia.
- Mejorar la durabilidad potencial y reducir la permeabilidad.
- Compensar las pobres propiedades del agregado

Los aditivos normalmente se clasifican en categorías de acuerdo con su efecto. Plastificadores (agentes reductores de agua), superplastificantes, inclusores de aire, aceleradores, retardadores. Muchos aditivos proporcionan combinaciones de las propiedades. De acuerdo a la norma ASTM C494, los aditivos se clasifican en:

Aditivo	Descripción
Tipo A	Reductores de agua
Tipo B	Retardadores de fragua
Tipo C	Acelerantes
Tipo D	Reductores de agua – Retardadores de fragua
Tipo E	Reductores de agua - Acelerantes
Tipo F	Súper reductores de agua
Tipo G	Súper reductores de agua - Acelerantes

Fuente: Norma ASTM C494

Disminuyen la necesidad de agua para una mezcla de concreto al reaccionar químicamente con los primeros productos de hidratación, para producir una capa monomolecular en la interfase de cemento-agua 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 aumentará el asentamiento de la mezcla, y también la resistencia del concreto porque más del área superficial del cemento quedará

expuesta para la hidratación, ocurren los mismos efectos para los aditivos tipo D y E. Típicamente se puede esperar una reducción en el agua de mezclado del 5% al 10%.

Plastificantes: Cuando se agregan a una mezcla de concreto, los plastificantes (agentes reductores de agua) son absorbidos en la superficie de las partículas de los aglomerantes, haciendo que se repelan entre sí, lo cual da como resultado una mejora en la trabajabilidad y proporciona una distribución más uniforme de las partículas del aglomerante a través de la mezcla. Los principales tipos de plastificantes son los ácidos carboxílicos hidroxilados y sus sales, y modificaciones de ambos. La dosificación de un plastificante varía de 200 ml a 450 ml por cada 100 Kg de material cementante.

Los plastificantes usualmente incrementan el revenimiento del concreto con un contenido de agua dado, pueden reducir el requisito de agua en la mezcla de concreto para una trabajabilidad dada (en aproximadamente 10%), posibilitan alcanzar una resistencia dada con un menor contenido de cemento o pueden mejorar la bombeabilidad.

Consideraciones del Aditivo Plastificante	Varios plastificantes contienen un retardador y pueden causar problemas si se aplican en dosis mayores.
	Algunos plastificantes contienen cloruros que pueden incrementar el peligro de corrosión del acero de refuerzo.
	Mientras que algunos plastificantes transportan cantidades variables de aire, otros son razonablemente consistentes en la cantidad de aire que transportan.
	Donde los plastificantes se usan para incrementar la trabajabilidad, la contracción y la fluencia, de manera invariable serán incrementadas.

Fuente: Norma ASTM C494

Superplastificantes: Estos aditivos son químicamente distintos de los plastificantes normales y aunque su acción es casi la misma, es más marcada. Cuando se usan para producir concreto fluido puede esperarse una pérdida rápida de trabajabilidad y, por tanto, éstos deben ser agregados justo antes de la colocación.

Del modo usual, los superplastificantes son compuestos químicos como formaldehído de melanina sulfonatada, formaldehído naftaleno sulfonatado y lignosulfonatos modificados. La dosis normal de un superplastificante está entre 750 ml y 2500 ml por cada 100 Kg de material cementante.

Los superplastificantes se usan con mayor ventaja: En áreas de refuerzo congestionado, en donde una consistencia autonivelante facilita la colocación, para concreto de alta resistencia, disminuyendo la relación agua:cemento como resultado de reducir el contenido de agua en 15-25%.

Consideraciones del Aditivo Superplastificante	Deben de diseñarse mezclas especiales para los superplastificantes y su uso debe ser cuidadosamente controlado.
	El efecto de un superplastificante puede desaparecer tan rápido como en 30 minutos después del mezclado.
	Éstos tienen un costo unitario relativamente alto.
	En donde se usan superplastificantes para producir muy alta trabajabilidad, la contracción y la fluencia serán incrementadas.

Fuente: Norma ASTM C494

Aceleradores: Estos aditivos aceleran la reacción química del cemento y el agua, y de este modo aceleran la tasa de fraguado y/o la ganancia temprana en la resistencia del concreto. Entre los tipos principales de aceleradores están el cloruro de calcio, el formiato de calcio, ceniza de sosa, cloruro de potasio y varios materiales orgánicos. El cloruro de calcio pare ser el único predecible, de modo razonable, en su desempeño, pero tiende a promover la corrosión del acero en el concreto.

La dosis de cloruro de calcio es 2% en masa de todos los materiales cementantes. El polvo o las hojuelas del cloruro de calcio deben ser añadidos a, y disueltos en agua, la cual debe ser mantenida agitada. Esta solución debe despacharse con el agua de mezclado. También, se encuentra disponible una solución de cloruro de calcio.

Aceleradores sin cloruros: 500 ml a dos mil ml por cada 100 Kg de material cementante. Los aceleradores de concreto lanzado reaccionan casi instantáneamente, causando rigidez, fraguado rápido y endurecimiento rápido del concreto lanzado.

Cuando se requiere fraguado rápido y altas resistencias tempranas (por ejemplo, en la profundización de pozos), reutilización rápida de moldes o de encofrados, cuando el colado del concreto tenga lugar bajo condiciones muy frías.

Consideraciones del Aditivo Acelerador	Ciertos aceleradores pueden incrementar la contracción por secado, el agrietamiento y la fluencia.
	Pueden causar menor resistencia a flexión, Los aceleradores trabajan más efectivamente a bajas temperaturas ambientales.
	Muchos aceleradores en base de cloruros promueven la corrosión del acero de refuerzo.
	El cloruro de calcio no debe usarse en: Concreto reforzado, estructuras para retener agua, concreto presforzado, concreto curado a vapor. La sobredosis con estos materiales puede causar un retraso marcado.

Fuente: Norma ASTM C494

Retardadores: Estos aditivos disminuyen la velocidad de la reacción química del cemento y el agua conduciendo a tiempos más largos de fraguado y ganancia de resistencia iniciales más lentas. Los retardadores más comunes son los ácidos carboxílicos hidroxilados, bórax, lignina, azúcar y algunos fosfatos. Las dosis típicas para los retardadores están entre 150 ml y 500 ml por cada 100 Kg de material cementante.

Usos: Cuando se cuela concreto en clima caliente, en particular cuando el concreto es bombeado, para evitar juntas frías debido a la duración de la colocación, en concreto que debe transportarse durante un largo tiempo.

Consideraciones del Aditivo Retardador	Si una mezcla tiene una sobredosis más allá del límite recomendado por el proveedor, el retardo puede durar días.
	Los retardadores con frecuencia incrementan la contracción plástica y el agrietamiento por asentamiento plástico.
	La adición atrasada de los retardadores puede resultar en un retardo más prolongado.

Fuente: Norma ASTM C494

Inclusores de Aire: Un agente inclusor de aire introduce aire en forma de diminutas burbujas distribuidas de modo uniforme a través de toda la pasta de cemento. Los tipos principales incluyen sales de resinas de madera, grasas y aceites animales y vegetales, e hidrocarburos sulfonados. La dosis típica para los agentes inclusores de aire está entre 50 ml y 150 ml por cada 100 Kg de material cementante.

Usos: En donde se requiera una consistencia mejorada del concreto endurecido contra los daños causados por congelación y deshielo, para una trabajabilidad mejorada, en

especial, en mezclas gruesas o pobres, para reducir el sangrado y la segregación, sobre todo cuando una mezcla tiene un déficit de finos.

La inclusión de aire puede reducir la resistencia del concreto y la sobredosis puede causar una pérdida importante de la resistencia. Como regla práctica, 1% de aire puede causar una pérdida de resistencia de 5%. Por tanto, es importante que las mezclas sean especialmente diseñadas para la inclusión de aire y que el porcentaje de aire incluido durante la construcción se monitoree.

Consideraciones del Aditivo Incorporador de aire	Puesto que las dosis son pequeñas, se requiere de despachadores especiales y un monitoreo exacto.
	Diferentes tipos de cemento y fuentes de cemento pueden dar como resultado la introducción de otras cantidades de aire para la misma dosis y proporciones de la mezcla.
	Un cambio en el contenido del cementante, en la granulometría o en las proporciones de las fracciones de finos de arena normalmente alterará el volumen de aire incluido.
	Las mezcladoras de acción forzada transportan volúmenes más grandes de aire que otros tipos.
	El incremento de la temperatura de ambiente tiende a reducir el volumen de aire incluido.

Fuente: Norma ASTM C494

2.2.11. Efecto del Calor de Hidratación y el Tipo de Cemento en la Fisuración del Concreto

El calor de hidratación es el calor que se genera por la reacción entre el cemento y el agua. La cantidad de calor generado depende, primariamente, de la composición química del cemento, siendo el C3A y el C3S los compuestos más importantes para la evolución de calor.

La Relación agua-cemento, finura del cemento y temperatura de curado también son factores que intervienen. Un aumento de la finura, del contenido de cemento y de la temperatura de curado aumentan el calor de hidratación. A pesar del cemento portland poder liberar calor por muchos años, la tasa de generación de calor es mayor en las edades tempranas. Se genera una gran cantidad de calor en los tres primeros días, con la mayor tasa de liberación de calor normalmente ocurriendo a lo largo de las primeras 24

horas. El calor de hidratación se ensaya según las normas ASTM C 186, NTE 0199, NTP334.064, UNIT 326 o por calorímetro de conducción.

Para la mayoría de los elementos de concreto, tales como losas, el calor generado no trae preocupación porque el calor se disipa rápidamente en el ambiente. Sin embargo, en estructuras de grandes volúmenes, con espesor mayor que un metro, la tasa y la cantidad de calor generado son importantes. Si este calor no se disipa rápidamente, puede ocurrir un aumento considerable de la temperatura del concreto. Este aumento de temperatura puede ser indeseable, pues después del endurecimiento a altas temperaturas, el enfriamiento no uniforme de la masa de concreto hasta la temperatura ambiente puede crear tensiones de tracción (esfuerzos de tensión) indeseables.

Por otro lado, el aumento de la temperatura en el concreto causado por el calor de hidratación es frecuentemente beneficioso en clima frío, pues ayuda a mantener las temperaturas favorables para el curado.

La siguiente tabla presenta valores de calor de hidratación para varios tipos de cemento portland. Estos datos limitados muestran que el cemento tipo III (ASTM C 150) tiene calor de hidratación más alto que los otros tipos de cemento, mientras que el tipo IV (ASTM C 150) tiene el calor más bajo. También se debe observar la diferencia en la generación de calor entre el tipo II (ASTM C 150) normal y el moderado calor de hidratación tipo II (ASTM C 150).

Tabla 2.1 Calor de hidratación para diferentes tipos de cemento

	Cemento tipo I		Cemento tipo II		Cemento tipo II- Moderado calor de hidratación	Cemento tipo III		Cemento tipo IV		Cemento tipo V
	7 días	28 días	7 días	28 días	7 días	7 días	28 días	7 días	28 días	7 días
No. de muestras	15	7	16	7	4	2	2	3	1	6
Promedio	349	400	344	398	263	370	406	233	274	310
Máximo	372	444	371	424	283	372	414	251	-	341
Mínimo	320	377	308	372	227	368	397	208	-	257
% del tipo I (7 días)	100		99		75	106		67		89

Fuente: Norma ASTM C150

Los cementos no generan calor a una tasa constante. La producción de calor durante la hidratación de un cemento portland tipo I (ASTM C 150) se presenta en la siguiente figura.

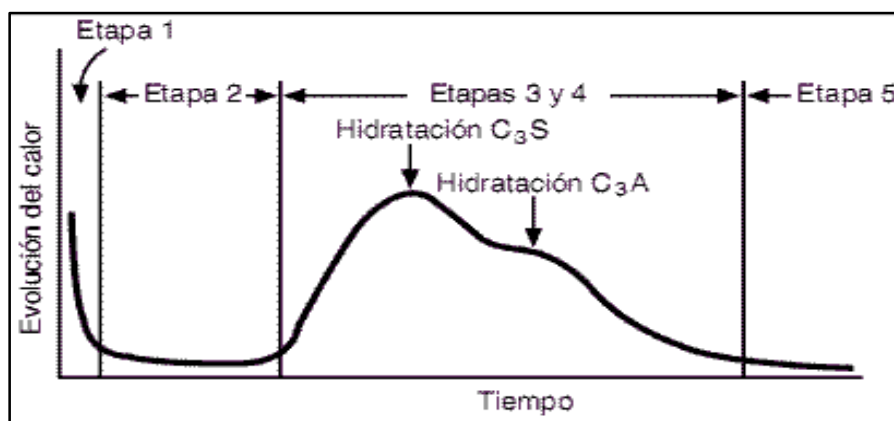


Figura 2.13 Producción de calor del cemento tipo I durante el tiempo

Fuente: (Manufacturers, 2018)

El primer pico presentado en el perfil de calor se debe a la liberación de calor por las reacciones iniciales de los compuestos del cemento, tales como aluminato tricálcico. Algunas veces llamado de calor de mojado, este primer pico de calor se sigue por un periodo de baja reactividad conocido como periodo de incubación o inducción. Después de algunas horas, aparece un segundo pico atribuido a la hidratación del silicato tricálcico, señalizando el comienzo del proceso de endurecimiento de la pasta.

Finalmente, hay un tercer pico debido a la reacción renovada del aluminato tricálcico; su intensidad y localización dependen normalmente de la cantidad de aluminato tricálcico y de sulfato en el cemento. En el ensayo de calorimetría, las primeras medidas de calor se obtienen aproximadamente 7 minutos después de la mezcla de la pasta; como resultado, sólo se puede observar la inclinación descendente del primer pico.

El segundo pico (pico de C3S) normalmente ocurre entre 6 y 12 horas. El tercer pico (pico de C3A renovado en la conversión de AFt para AFM) ocurre entre 12 y 90 horas. Esta información puede ser útil en el control del aumento de temperatura en el concreto masivo. Cuando es necesario minimizar la generación de calor en el concreto, los diseñadores deben escoger un cemento con más bajo calor, tales como el cemento portland tipo II (ASTM C 150, AASHTO M 85), con la opción de los requisitos de moderado calor de hidratación.

Los cementos de moderado calor y bajo calor también están disponibles en las especificaciones de la ASTM C 595 (AASHTO M 240) y C 1157. El empleo de los

materiales cementantes suplementarios es también una opción para reducir la subida de temperatura.

2.3. Definiciones Conceptuales

Concreto premezclado: El concreto premezclado es un material que se entrega o se fabrica en un sitio determinado con sistemas dosificadores de alta precisión que realizan un mezclado altamente homogéneo por medio de un mezclador central que puede ser de tipo vertical u horizontal con diferentes configuraciones de hélices o paletas según el concreto deseado y su aplicación final.

Estas plantas de alta tecnología no sólo proporcionan cálculos exactos, sino que también controla automáticamente la maquinaria para que la mezcla sea altamente homogénea asegurando una alta calidad y consistencia del producto además del cumplimiento de la normatividad técnica requerida.

Factor: Entendemos por factores a aquellos elementos que pueden condicionar una situación, volviéndose los causantes de la evolución o transformación de los hechos. Un factor es lo que contribuye a que se obtengan determinados resultados al caer sobre él la responsabilidad de la variación o de los cambios.

Intrínseco: Intrínseco es aquello que es esencial a algo. Lo opuesto a lo intrínseco es lo extrínseco, es decir, aquellos elementos que no son esenciales y genuinos de algo. El cemento es algo intrínseco del concreto y lo mismo sucede con los aditivos con respecto al concreto premezclado.

Fisuras del concreto: Todas aquellas aberturas incontroladas que afectan solamente a la superficie del elemento o a su acabado superficial, en este caso el concreto premezclado.

Fraguado del concreto: El fraguado es el proceso de endurecimiento y pérdida de plasticidad del hormigón (o mortero de cemento), producido por la desecación y recristalización de los hidróxidos metálicos —procedentes de la reacción química del agua de amasado con los óxidos metálicos presentes en el clinker que compone el cemento.

Aditivo: El aditivo es definido como “un material que, no siendo agua, agregado, cemento hidráulico o fibra de refuerzo, se utiliza como un ingrediente del mortero o concreto y es añadido a la mezcla antes o durante el mezclado”, para modificar propiedades del concreto fresco y/o endurecido.

Cemento: El cemento Pórtland normal es definido como el producto obtenido de la pulverización muy fina del clinker, el cual está constituido esencialmente de silicato de calcio hidráulico, posteriormente a la calcinación se le adiciona agua y sulfato de calcio amorfo o no tratado (yeso).

Una vez que el agua y el cemento se mezclan para formar la pasta cementante, se inicia una serie de reacciones químicas que en forma global se designan como hidratación del cemento. Estas reacciones se manifiestan inicialmente por la rigidización gradual de la mezcla, que culmina con su fraguado, y continúan para dar lugar al endurecimiento y adquisición de resistencia mecánica en el producto.

2.4. Hipótesis

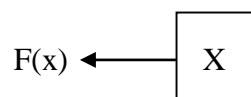
Si el factor intrínseco del concreto premezclado son los aditivos y no el cemento entonces se produce la fisuración en su proceso de fraguado.

2.5. Variables dependientes e independientes

Variable dependiente: Fisuración del concreto premezclado en su proceso de fraguado.

Variable independiente: Porcentaje de aditivo PLASTIMENT TM 12 / 31 y relación agua/cemento en el diseño de mezcla de un concreto premezclado ($f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$).

El diseño de la investigación a utilizarse será la experimentación, representado por el siguiente esquema:



Donde:

X: Factor intrínseco utilizado en la elaboración del concreto premezclado.

F(x): Fisuras del concreto premezclado en su proceso de fraguado.

2.6. Operacionalización de las Variables

En la siguiente tabla se resumen las variables de la investigación, así como los métodos de evaluación, los cuales son definidos por los indicadores establecidos por las normas correspondientes.

Tabla 2.2 Operacionalización de variables (**Fuente: Propia**)

Variable	Dimensión	Indicadores	Unidad de medida	Instrumento de investigación
VD. Fisuración del concreto premezclado en su proceso de fraguado	Fisuración: Método de prueba del panel rectangular con contracción restringida	Número, longitud y ancho de fisura.	(mm)	Según norma: ASTM C1579
	Fisuración: Método de prueba del anillo.	Índice de fisura	(Adimensional)	Según norma: ACI 544.2R
		Número, longitud y espesor de fisura	(mm)	

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de Investigación

Nivel de investigación: Investigación explicativa

Se trata de una investigación explicativa pues se busca determinar el porqué de los hechos (la fisuración del concreto premezclado en su proceso de fraguado) mediante el establecimiento de relaciones causa – efecto.

Diseño de la investigación: Investigación experimental

Esta investigación pertenece a un diseño experimental puro puesto que hay situación de control en la cual se manipula las variables independientes de manera intencional para analizar las consecuencias sobre la variable dependiente, además porque existe la misma probabilidad de ocurrencia para elegir la muestra de estudio, finalmente el diseño es experimental puesto que se realizarán varias réplicas en cada nivel de estudio, con el objetivo de analizar los resultados con métodos estadísticos. El diseño a emplear es de tipo bifactorial siendo las variables independientes a estudiar el porcentaje de aditivo y la relación agua/cemento de un concreto premezclado.

Tabla 3.1 Variables de estudio (**Fuente: Propia**)

Variable independiente	Niveles de estudio
Porcentaje de aditivo Plastiment TM 31	0.5%, 0.9%, 1.3% y 1.7%
Porcentaje de aditivo Plastiment TM 12	Cte = 0.3%
Relación agua/cemento	0.52, 0.57 y 0.62
Variable dependiente	
Cantidad, longitud y ancho de fisura	
Índice de fisura	

3.2. Población y Muestra:

Universo muestral:

La presente investigación es de tipo experimental, siendo su universo muestral todas las muestras tipo panel de 90 x 60 x 10 cm (método ASTM C1579) y las muestras tipo anillo de 58 ϕ cm x 9 cm (método ACI 544.2R) que servirán para evaluar la propiedad de fisuración en el concreto premezclado dosificado con aditivo y diferente relación agua/cemento. Sobre esta población se evaluarán la propiedad previamente definida, para luego contrastar la hipótesis supuesta, y al mismo tiempo interpretar los resultados obtenidos durante el proceso experimental.

El programa experimental tendrá como primera unidad de análisis para evaluar la fisuración del concreto premezclado a paneles 90x60 cm de lado y 10 cm de espesor con diferentes dosificaciones de aditivo y relación agua/cemento.

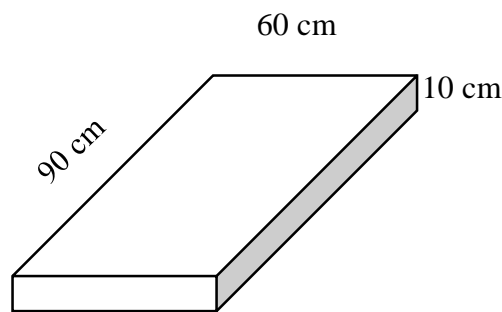


Figura 3.1 Panel rectangular para evaluar la fisuración

Fuente: (ASTM C1579, 2012)

También el programa experimental tendrá como segunda unidad de análisis para evaluar la fisuración del concreto premezclado a moldes tipo anillo de 58 cm de diámetro exterior y de 29 cm de diámetro interior que forman una estructura hueca en el centro con 9 cm de altura, las muestras del mismo modo tendrán diferentes dosificaciones de aditivo y relación agua/cemento.

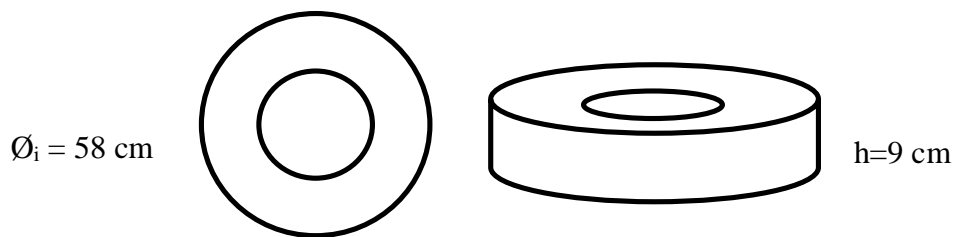


Figura 3.2 Panel tipo anillo para evaluar la fisuración

Fuente: (Shah ACI 544.2, 1999)

Muestra:

Técnica de muestreo: No probabilístico

La técnica de muestreo aplicada en esta investigación será no probabilística dado que el diseño de la investigación es experimental, además porque los elementos de análisis fueron elegidos a criterio del investigador y a partir de referencias establecidas por otras investigaciones, el proceso de selección de muestra será aleatorio. Se conformarán 120 probetas para evaluar la fisuración en el concreto premezclado ($f'c=210 \text{ kg/cm}^2$), para ello se realizan 5 réplicas por muestra en cada ensayo, tal y como lo muestra el siguiente cuadro.

Tabla 3.2 Matriz de diseño experimental para molde rectangular (**Fuente: Propia**)

A		% de Aditivo P-TM 31 (por Kg de cemento)			
		0.5	0.9	1.3*	1.7
a/c	0.52	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}
	0.57*	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}
	0.62	a_{31}	a_{32}	a_{33}	a_{34}

$$N^{\circ} \text{ Probetas para } A = N^{\circ} \text{ Niveles} \times N^{\circ} \text{ Réplicas}$$

$$N^{\circ} \text{ Probetas para } A = 3 \times 4 \times 5 = 60$$

La muestra de análisis marcada con (*) representa el conjunto de elementos con el mismo diseño de mezcla obtenido en planta (elemento patrón), es decir refleja las características físicas y mecánicas del concreto premezclado $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

comúnmente distribuido a obra para ser utilizado en losas y pisos en el ámbito de la provincia de Trujillo, además para cada muestra se añadió el 0.3% de aditivo retardante Plastiment TM 12 (constante).

Tabla 3.3 Matriz de diseño experimental para molde tipo anillo (**Fuente: Propia**)

B		% de Aditivo P-TM 31 (por Kg de cemento)			
		0.5	0.9	1.3*	1.7
a/c	0.52	a ₁₁	a ₁₂	a ₁₃	a ₁₄
	0.57*	a ₂₁	a ₂₂	a ₂₃	a ₂₄
	0.62	a ₃₁	a ₃₂	a ₃₃	a ₃₄

$$N^{\circ} \text{ Probetas para B} = N^{\circ} \text{ Niveles} \times N^{\circ} \text{ Réplicas}$$

$$N^{\circ} \text{ Probetas para B} = 3 \times 4 \times 5 = 60$$

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos:

3.3.1 Técnica de recolección de datos: Observación Experimental

La técnica de recolección de datos aplicada es la observación experimental, dado que los valores serán obtenidos en condiciones controladas, pues se realizará modelos de ensayos experimentales: para medir tiempo y aparición de fisuras en el concreto premezclado, en ellas se evaluará la influencia del porcentaje de aditivo y la relación agua/cemento. En ese sentido las condiciones para la obtención de datos serán establecidas por las normas y el criterio del investigador, siendo esta una técnica de observación experimental.

Los datos fueron recolectados desde su fuente de origen (fuente primaria) ya que el registro de información se obtuvo tanto en la planta de procesamiento de concreto premezclado elaboraron como durante el vaciado de losas en dos proyectos de viviendas multifamiliares mediante el uso de fichas de observación experimental.

3.3.2 Instrumento de recolección de datos: Guía de observación

El instrumento a utilizar será la guía de observación, puesto que se aplicarán fichas y/o formatos para recolectar los datos y resultados obtenidos en el proceso experimental. La ficha de registro permitirá llevar un orden adecuado de la cantidad y variación estadística del diseño experimental. Finalmente, la información recolectada será ordenada y clasificada para su posterior interpretación y análisis.

3.4. Técnicas de procesamiento y análisis de datos:

3.4.1 Método de análisis de datos: Inferencia estadística

El método aplicado será la inferencia estadística, dado que se verificará una hipótesis planteada, de igual manera la información obtenida a partir de un grupo finito de probetas será interpretada como el comportamiento parcial de una determinada población, finalmente existirá un riesgo de error en los resultados obtenidos por lo que se establecerán criterios estadísticos para su control. El conocimiento teórico aplicado será de la distribución de probabilidad del estadístico muestral que se utilizará como estimador de los parámetros.

Técnicas:

- ✓ Toma de datos realizadas en la empresa de concreto premezclado KEN S.A.C.
- ✓ Ensayos de laboratorios.
- ✓ Análisis estadístico

3.4.2 Instrumentos de análisis de datos: Prueba T de Student

El instrumento de análisis de datos será la prueba T de student para grupos independientes, porque se evaluará la consistencia de una hipótesis nula y alternativa entre dos variables (variable dependiente e independiente). Se plantea que existe una relación parabólica positiva entre la aparición de fisuras en su proceso de fraguado del concreto premezclado con el contenido de aditivo y la relación agua/cemento de su dosificación. El instrumento de análisis de datos tendrá un nivel de significancia

propuesto de 0.05 y un valor experimental según la cantidad de muestras evaluadas, la variable estudiada es cualitativa continua.

Herramientas: Programas

- ✓ Word Perfect: Procesador de datos
- ✓ Excel: Procesador de datos numéricos y diseño

Para el análisis de los datos utilizaremos como método la estadística inferencial pues a partir de la información obtenida en los experimentos realizados se induce el comportamiento de una población, en este caso a partir de los ensayos realizados a las diferentes dosificaciones de concreto premezclado podemos inferir una solución para minimizar la aparición de fisuras durante su proceso de fraguado.

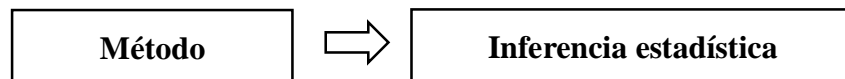


Figura 3.3 Selección del método de análisis de datos

En cuanto al instrumento, se va a utilizar el análisis de varianza (ANAVA) puesto que se busca establecer si las diferencias entre los diferentes niveles estudiados son significativas, es decir, que la variación se debe al efecto de alterar la variable independiente (factor) y no al error experimental. Además, debido a que este instrumento se usa para comparar dos o más medias.

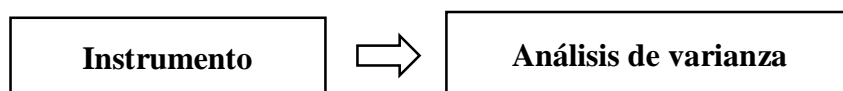


Figura 3.4 Selección del instrumento de análisis de datos

Se realizó el análisis ANAVA (análisis de varianza) para determinar si las repeticiones de los ensayos muestran un resultado confiable o si se debe eliminar alguno de ellos y para determinar si los niveles son diferentes entre sí; de este modo se probará que hay influencia de la variable independiente sobre la dependiente.

CAPÍTULO 4.

RESULTADOS

En este capítulo se presenta el conjunto de resultados obtenidos durante la ejecución del plan de investigación tanto en la planta de procesamiento de concreto premezclado de la empresa Ken S.A.C así como en laboratorio, correspondiente al programa experimental presentado en el capítulo anterior, también se describen y explican los valores obtenidos para cada variable respuesta, la información presentada servirá para confrontar y dar respuesta a la hipótesis planteada inicialmente. Se evaluaron además las propiedades ingenieriles más significantes del concreto premezclado tanto en su estado fresco como en su estado endurecido mediante la adición del aditivo Plastiment TM 31 y aditivo Plastiment TM 12 a diferentes relaciones agua/cemento. Los ensayos incluyen análisis granulométrico, módulo de finura, porcentaje de absorción de los agregados, asentamiento, trabajabilidad, consistencia, segregación y resistencia a la compresión; para los ensayos del concreto endurecido los especímenes fueron curados durante 3, 7 y 14 días.

4.1. Cuadros y tablas de resultados

4.1.1. Caracterización del agregado fino

La ejecución del programa experimental se inició con la caracterización de los materiales que conforman el diseño de mezcla de las muestras de análisis, que sirvieron para evaluar la fisuración del concreto premezclado en su proceso de fraguado. Se procedió en primera instancia a determinar las propiedades físicas de los agregados.

En la siguiente tabla se muestran las características físicas del agregado fino procedente de la cantera el milagro ubicada en la provincia de Trujillo, el ensayo se llevó acabo de forma aleatoria con una cantidad de muestra de 1200 g según la norma ASTM C136, los resultados indican que el mayor porcentaje de partículas están entre la malla N°4 y la malla N°50, siendo el porcentaje que pasa la malla N°200 solamente del 3.2%; en cuanto a su contenido de humedad oscila entre 1.6%, por su parte el módulo de finura es de 2.68 mientras que el tamaño máximo es de 3/8". Por otro lado, según la curva granulométrica el agregado posee un coeficiente de uniformidad de 4.45 y de curvatura menor a 1, de modo que según la clasificación SUCS le corresponde la denominación SP, se trata pues de una arena con pocos finos.

Tabla 4.1 Análisis granulométrico y propiedades físicas del agregado fino (**Fuente: Propia**)

Peso de la muestra (g)	1200	
% Pasante malla N° 200 (ASTM C117)		
Peso de la muestra seca (g)	620	
Peso de la muestra lavada seca (g)	600	
Pasante malla N° 200 (%)	3.23	
Contenido de humedad (ASTM C566)		
Peso húmedo de la muestra (g)	630	
Peso seco de la muestra (g)	620	
Humedad (%)	1.61	
Propiedades físicas del material		
Módulo de fineza	2.68	
Tamaño máximo TM	3/8"	
Tamaño máximo nominal TMN	4.750	
Gravedad específica	2.68	
Análisis granulométrico		
D60:	0.89	
D30:	0.42	
D10:	0.20	
Cu:	4.45	[< 6]
Cc:	0.99	[< 1]
LL: NP	LP: NP	IP: NP
Clasificación SUCS:		SP

Por otro lado en la **figura 4.1**, se muestra la curva granulométrica para el agregado fino que relaciona el tamaño de partícula y el porcentaje que pasa dicha abertura; la línea de color azul representa el rango mínimo de gradación según la norma ASTM C33, mientras que la línea de color rojo muestra la distribución granulométrica por tamizado del agregado fino, por último, la línea de color verde representa el rango máximo de gradación también según la norma ASTM C33, en el eje de las abscisas se adjunta además el equivalente del diámetro de apertura en número de tamiz. Respecto a la clasificación granulométrica la proporción relativa de las diferentes partículas tenemos que el material está conformado en un 96.7% de arena, un 2.5% de limo y/o arcilla restando un 0.83 % de grava, expresada con base al peso seco del agregado fino.

Según los valores presentados previamente el material de estudio corresponde a un agregado fino libre de materia orgánica que posee una estabilidad volumétrica favorable, debido al bajo porcentaje de humedad.

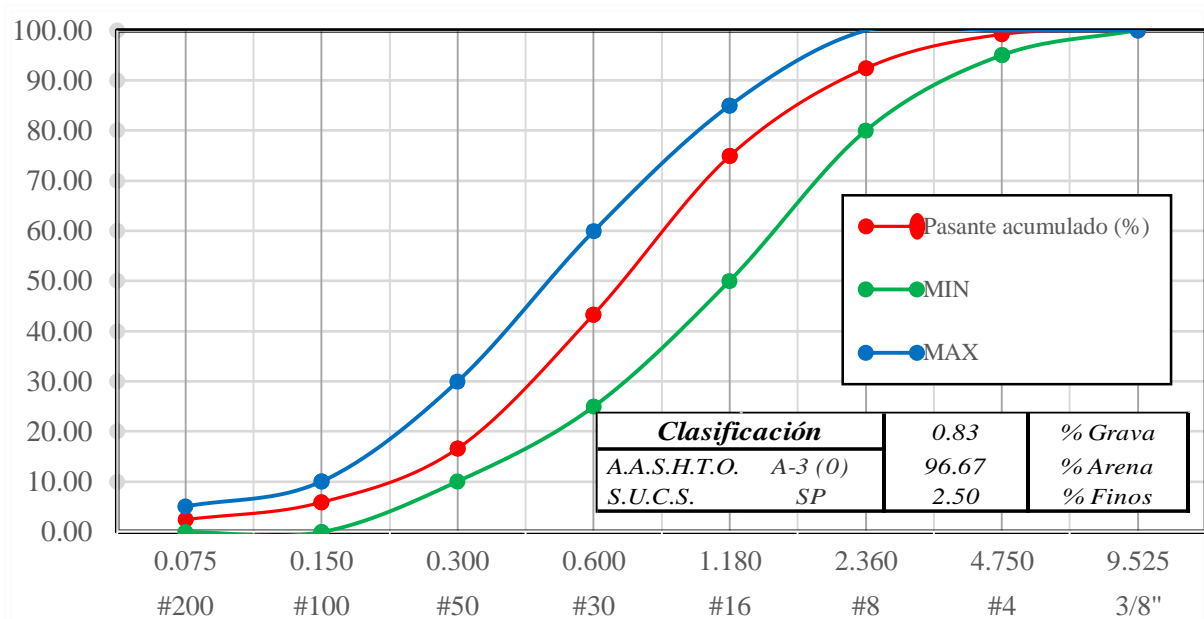


Figura 4.1 Curva granulométrica del agregado fino (ASTM C33/NTP 400.037)

Fuente: Propia

Referencia: **Tabla A.1**

4.1.2. Caracterización del agregado grueso

Para la siguiente investigación se trabajó con agregado grueso de huso N° 67. En la tabla 4.2 se muestran las propiedades físicas del agregado grueso procedente también de la cantera el milagro ubicada en la provincia de Trujillo, el ensayo se llevó acabo en el laboratorio de calidad de la empresa premezclados Ken con una cantidad de muestra de 1670 g según la norma ASTM C136, los resultados indican que el mayor porcentaje de partículas están entre la malla de 1/2” y la malla N°08, siendo el porcentaje que pasa la malla N°200 solamente de 0,64%; en cuanto a su contenido de humedad oscila entre 0.44%, por su parte el módulo de fineza es de 6.7 mientras que el tamaño máximo es de 1”, y tamaño máximo nominal de 3/4”.

Tabla 4.2 Análisis granulométrico y propiedades físicas del agregado grueso(**Fuente: Propia**)

Peso de la muestra	1670
% Pasante malla N° 200 (ASTM C117)	
Peso de la muestra seca (g)	2500
Peso de la muestra lavada seca (g)	2484

Pasante malla N° 200 (%)	0.640
Contenido de humedad (ASTM C566)	
Peso húmedo de la muestra (g)	686
Peso seco de la muestra (g)	683
Humedad (%)	0.44
Propiedades físicas del material	
Módulo de fineza	6.70
Tamaño máximo TM	1"
Tamaño máximo nominal TMN	3/4"
Peso específico	---
Peso unitario suelto	---
Peso unitario compactado	---
Abrasión	---
OBSERVACIONES	

A su vez, se muestra la curva granulométrica para el agregado grueso que relaciona también el tamaño de partícula y el porcentaje que pasa dicha abertura; como lo indicado previamente la línea de color azul representa el rango mínimo de gradación según la norma ASTM C33 Huso 67, mientras que la línea de color rojo muestra la distribución granulométrica por tamizado del agregado grueso evaluado, por último, la línea de color verde representa el rango máximo de gradación también según la norma ASTM C33, en el eje de las abscisas se adjunta además el equivalente del diámetro de apertura en número de tamiz.

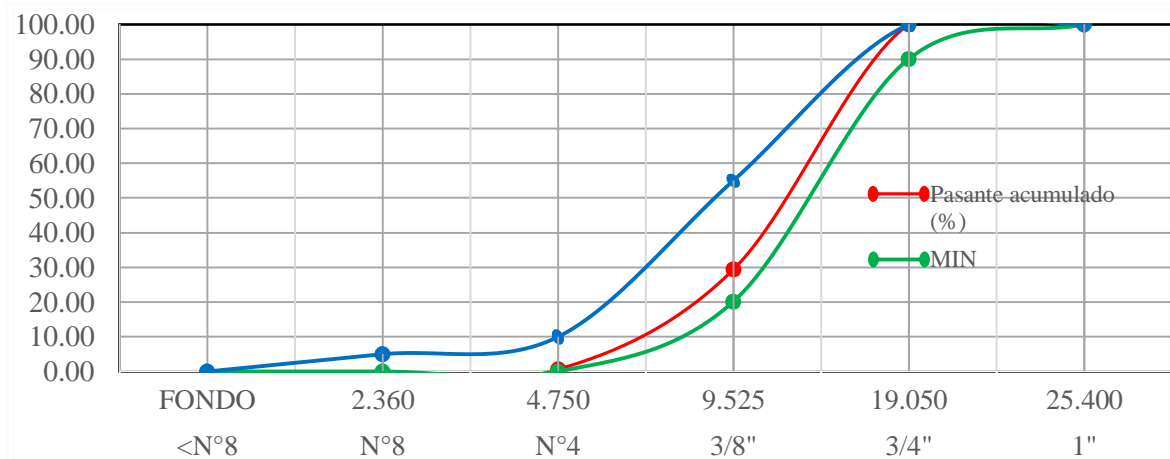


Figura 4.2 Curva granulométrica del agregado grueso (ASTM C33/NTP 400.037)

Fuente: Propia

Referencia: **Tabla A.2**

4.1.3. Características del cemento Tipo "I"

En la tabla 4.3 se adjuntan las características físicas y químicas del cemento portland tipo I utilizado en la dosificación de mezcla del concreto premezclado evaluado en todas las muestras de análisis. Se muestra que el cemento tiene un peso específico de 3.10 g/cm³, una superficie específica medida a partir del método de Blaine de 34.2 cm²/g. Otro resultado que resalta es el tiempo de fraguado inicial contabilizado en 2 hora y 01 minuto mientras que el fraguado final es de 3 horas y 42 minutos, ambos datos determinados a partir de la prueba Vicat. También se muestra la cantidad de calorías por gramo que desarrolla el cemento como calor de hidratación a los 7 y 28 días.

Tabla 4.3 Características físicas y químicas del cemento tipo

DESCRIPCIÓN	UND.	CEMENTO
Peso específico	g/cm ³	3.10
Fineza Malla 100	%	0.05
Fineza Malla 200	%	4.21
Superficie específica Blaine	cm ² /g	34.19
Fraguado inicial Vicat	Hr:Min	02:01
Fraguado final Vicat	Hr:Min	03:42
Calor de hidratación 7 días	cal/g	69.78
Calor de hidratación 28 días	cal/g	87.08
Oxido de calcio CaO	%	65.14
Oxido de sílice SiO ₂	%	18.95
Oxido de aluminio Al ₂ O ₃	%	6.47
Oxido de magnesio MgO	%	3,11
Oxido de fierro Fe ₂ O ₃	%	2.86

Fuente: (García P., 2007)

En cuanto a las características químicas se resalta que, entre el óxido de calcio, la alúmina y el contenido de sílice ocupan casi el 90 % del cemento, siendo estos los

principales componentes de un diagrama ternario que desarrollan las reacciones puzolánicas y que permiten clasificar a los tipos de cemento, a las escorias siderúrgicas, a las cenizas volantes, etc.

4.1.4. Características del aditivo Plastiment TM – 12 (Tipo B)

Es un aditivo retardante de fragua libre de cloruros utilizado en el concreto premezclado para transportar el concreto a largas distancias, bombear el concreto, en el vaciado de grandes volúmenes o en el vaciado de concreto en tiempo caluroso. El producto tiene un aspecto líquido de color marrón claro y se añadió por separado al concreto premezclado en la última parte del agua de amasado.

Tabla 4.4 Características del aditivo TM - 12

DESCRIPCIÓN	PLASTIMENT TM-12
Aditivo retardante de fragua	Norma ASTM C - 494 Tipo B
Color	Marrón claro a oscuro
Aspecto	Líquido
Densidad (Kg/L)	1.17
Vida Útil	1 año (bajo condiciones de almacenamiento)
Método de aplicación	Diluido en la última parte del agua de amasado

Fuente: Aditivos Sika, 2019

4.1.5. Características del aditivo Plastiment TM – 31 (Tipo F)

A continuación, se describen brevemente los datos técnicos del aditivo Plastiment TM – 31, mostrado en la tabla 4.5, se trata de un aditivo plastificante para el concreto que permite obtener consistencias adecuadas sin aumentar la relación agua/cemento, utilizado para elementos con alta cuantía de acero de refuerzo o encofrados difíciles por su forma. El producto es de color pardo oscuro y de aspecto líquido que se combina con el agua de la mezcla en tiempo suficiente. Para un almacenamiento óptimo este

puede alcanzar una vida útil de 1 año, finalmente posee una densidad de 1.17 kg/L y una viscosidad mayor al del agua.

Tabla 4.5 Características del aditivo TM – 31

DESCRIPCIÓN	PLASTIMENT TM-31
Aditivo Plastificante	Norma ASTM C - 494 Tipo F
Color	Pardo oscuro
Aspecto	Líquido
Densidad (Kg/L)	1.17
Vida Útil	1 año (bajo condiciones de almacenamiento)
Método de aplicación	Con el agua de amasado

Fuente: Aditivos Sika, 2019

4.1.6. Diseño de mezcla del concreto premezclado

Para definir el diseño de mezcla principal se utilizó los reportes de dosificación del concreto premezclado empleado en el vaciado de la losa aligerada del décimo nivel del edificio “San Gabriel “con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y asentamiento de 4” a 6”, ubicado en la urbanización Las Hortencias de California II Etapa – Trujillo. El diseño de mezcla evaluado tuvo como criterios de selección a la resistencia del concreto y la trabajabilidad mediante el uso de aditivos. Tanto los agregados como el cemento cumplieron con los requerimientos de la norma ASTM C33 por lo que el proceso para determinar las cantidades relativas de los materiales permitió obtener una mezcla económica en el mercado local.

El procedimiento ejecutado en el laboratorio de la empresa premezclados Ken para obtener una mezcla satisfactoria incluyó mezclas de prueba, verificando las propiedades de resistencia y trabajabilidad, luego se hizo ajustes en las proporciones. La resistencia a la compresión recomendada para losas y pavimentos es de 210 kg/cm^2 , por lo que el contenido de cemento como tal fue de 346 kg/m^3 y 207 kg/m^3 de agua.

Para controlar la trabajabilidad, cuyo factor influye en el transporte y vaciado del concreto premezclado se utiliza aditivos retardantes de fragua y reductores de agua, por otro lado,

para determinar la combinación del agregado global se buscó alcanzar una granulometría total de partículas con mínimo volumen de vacíos, teniendo en cuenta el peso unitario compactado para diferentes proporciones de agregado fino y grueso. En la tabla 4.6 se observa que la máxima resistencia obtenida fue utilizando un 57.5% de agregado grueso y 42.5% de agregado fino, con estas proporciones se realizaron los diseños de mezcla para la metodología propuesta.

Tabla 4.6 Combinación de agregados ensayo de compresión a los 7 días $r: a/c = 0.57$

Agregado grueso %	Probeta	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Área (cm²)	Resistencia (kg/cm²)	Promedio (kg/cm²)
50.00%	A-1	30.02	15.01	28245	176.95	159.62	159.2
	A-2	30.03	15.01	28341	176.95	160.16	
	A-3	30.02	15.01	27911	176.95	157.73	
57.50%	B-1	30.02	15.01	29122	176.95	164.58	164.6
	B-2	30.02	15.01	29108	176.95	164.50	
	B-3	30.01	15.01	29124	176.95	164.59	
60.00%	C-1	30.02	15.01	27856	176.95	157.42	157.7
	C-2	30.03	15.01	27953	176.95	157.97	
	C-3	30.02	15.01	27917	176.95	157.77	

Fuente: Propia

Luego de haber definido la proporción óptima de agregados, se realizaron pruebas preliminares para determinar la cantidad de agua según el slump de diseño inicial, para ello se adiciono 1.3% de aditivo Plastiment TM31 (dosificación utilizada en la empresa Premezclados Ken para un concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$). La adición de aditivo a la mezcla permitió reducir en promedio un 8% la cantidad de agua en la mezcla, para ello se realizaron ensayos de consistencia teniendo como diseño un slump de 5", adicionando el aditivo Plastiment TM 12 en una cantidad constante de 0.3% por kilogramo de cemento. Posteriormente con la cantidad de agua definida inicialmente se dosificaron mezclas con distintas cantidades de aditivo Plastiment TM 31 cuyos resultados se muestran en el ítem 4.1.9.

En la tabla 4.7 se presentan los resultados de asentamiento para la dosificación inicial utilizando 1.3% de aditivo Plastiment TM 31, 0.3 % de aditivo Plastiment TM 12 y diferentes contenidos de agua.

Concreto premezclado, relación a/c = 0.57

Tabla 4.7 Cantidad de agua versus slump – dosificación inicial

Agua (L)	Slump (")
210	6 1/4
205	4
200	2 1/4

Fuente: Propia

Por otro lado, en la figura 4.3 se grafican los resultados de la tabla anterior, donde se indica la tendencia relativa de la cantidad de agua (eje “x”) versus el slump de la mezcla (eje “y”), se observa que efectivamente la fluidez de la mezcla es directamente proporcional al contenido de agua, de esta gráfica se estableció que para un slump de 5” se debería utilizar 207 L/m³ de mezcla (concreto premezclado con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$).

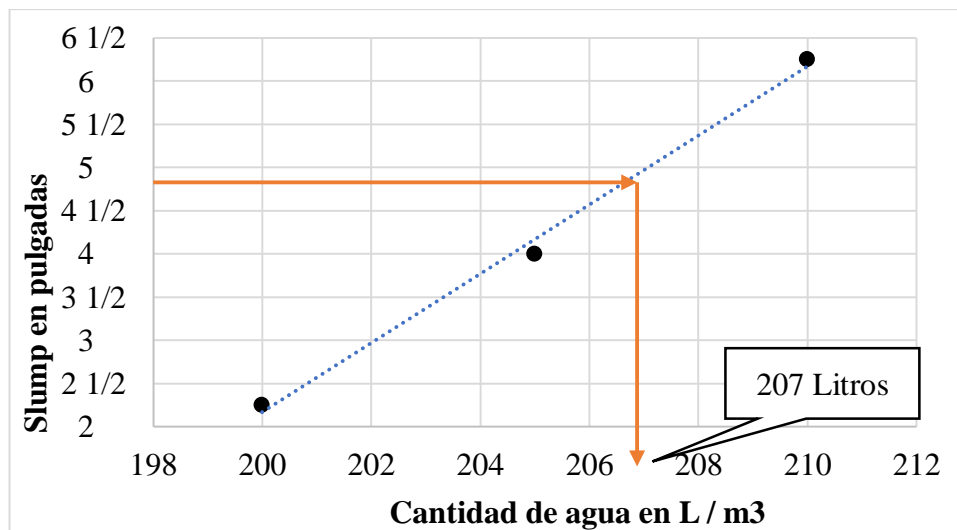


Figura 4.3 Cantidad de agua versus Slump – relación a/c = 0.57 (fuente: Propia)

En la tabla 4.8 se presenta la dosificación de mezcla base de un concreto premezclado con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ donde se adiciona 1.3% de aditivo superplastificante y 0.3% de aditivo retardante de fragua, este diseño de mezcla corresponde al expedido por la empresa de premezclado Ken en el mercado local (muestra a23). Los valores de diseño fueron definidos previamente mediante los ensayos de caracterización de agregados, proporción óptima de agregados por el método de resistencia y cantidad de agua a partir del slump de diseño.

Tabla 4.8 Dosificación de mezcla de concreto premezclado $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

<i>CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO</i>		
Concreto Tipo	$f'c = 210$ -B-H67-I-A4-6	
Cemento Tipo	"I"	
Método de colocación	BOMBA	
Concreto	POR RESISTENCIA	
<i>DOSIFICACIÓN PARA UN METRO CÚBICO</i>		
 Materiales	 Unidad	 Cantidad
Aditivo Superplastificante (Plastiment TM 31)	%	1.3
	kg/m ³	4.495
Aditivo Retardante (Plastiment TM 12)	%	0.3
	kg/m ³	1.037
Cemento Tipo "I"	kg/m ³	346
Agua	kg/m ³	207
Arena zarandeada	kg/m ³	782
Piedra zarandeada HUSO 67	kg/m ³	1052
Peso unitario concreto	kg/m ³	2392.3
Asentamiento	pulg.	5"
Relación agua/cemento de diseño		0.57

Fuente: Propia

A partir de este diseño de mezcla (concreto premezclado $f'c = 201 \text{ kg/cm}^2$) se propuso una matriz de diseño experimental para estudiar la fisuración del concreto premezclado en su proceso de fraguado, utilizando diferentes porcentajes de aditivo plastificante y relación agua/cemento, el objetivo fue determinar si el contenido en exceso del cemento o los aditivos provocan la fisuración del concreto premezclado; posteriormente se realizaron los ensayos correspondientes, que permitieron definir dosificaciones óptimas de concreto premezclado a diferentes porcentajes de aditivo y relación agua/cemento, de tal manera que los diseños mezcla no solamente cumplan con los requerimientos de resistencia, sino que también favorezcan la durabilidad de la estructura mediante la mitigación en la aparición de fisuras del concreto premezclado.

En la tabla 4.9 se muestra la matriz de diseño experimental de la presente investigación, los valores corresponden a un esquema bifactorial donde cada columna indica los porcentajes de aditivo plastificante utilizado, mientras que cada fila hace referencia a las diferentes relaciones agua/cemento para los diseños de mezcla de concreto premezclado evaluados. Particularmente el elemento a_{23} corresponde al diseño de mezcla inicial ($f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$), es decir un concreto premezclado que utiliza 1.3% de aditivo Plastiment TM 31 y una relación agua/cemento de 0.57.

Tabla 4.9 Matriz de diseño experimental (**fuelle: Propia**)

A		% de Aditivo P-TM 31 (por Kg de cemento)			
		0.5	0.9	1.3*	1.7
a/c	0.52	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}
	0.57*	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}
	0.62	a_{31}	a_{32}	a_{33}	a_{34}

A continuación, se presentan los valores para cada dosificación de mezcla propuesto en la matriz de diseño experimental; cada tabla contiene la dosificación de mezcla a diferentes relaciones agua/cemento.

En la siguiente tabla (4.10) se presentan los valores de diseño para las mezclas con $a/c = 0.52$, donde se indica el contenido de aditivo Plastiment TM 31 por kilogramo de cemento, así como también, la cantidad de cemento, agua y agregados por metro cúbico de mezcla. Además, se presentan en cada tabla las características del concreto premezclado, indicando la resistencia de diseño, el método de colocación, el Huso de los agregados, el tipo de cemento y el rango de asentamiento preestablecido. La tabla presentada contiene las dosificaciones de mezcla para diferentes porcentajes de aditivo Plastiment TM 31 (0.5%, 0.9%, 1.3% y 1.7%) donde se adjunta también su correspondiente contenido por kilogramo de cemento; debemos recordar que el contenido de aditivo retardante de fragua no corresponde a una variable de análisis, sino que se adiciono en un porcentaje constante (0.3% por kilogramo de cemento) para todas las mezclas de diseño. Finalmente se muestra al final de cada tabla la codificación o etiqueta representada en la matriz de diseño experimental; en el caso del análisis estadístico se indican los coeficientes de varianza de acuerdo con la etiqueta asignada.

Tabla 4.10 Diseño de mezcla a diferentes porcentajes de aditivo Plastiment TM 31
(a/c = 0.52) (fuente: Propia)

<i>Características del concreto</i>					
Concreto Tipo	f'c= 280 -B-H67-I-A4-6				
Cemento Tipo	"I"				
Método de colocación	BOMBA POR				
Concreto	RESISTENCIA				
<i>Dosificación para un metro cúbico</i>					
Materiales	Unidad	Cantidad			
Aditivo Superplastificante (Plastiment TM 31)	%	0.5	0.9	1.3	1.7
	kg/m ³	1.900	3.420	4.940	6.460
Aditivo Retardante (Plastiment TM 12)	%	0.3	0.3	0.3	0.3
	kg/m ³	1.140	1.140	1.140	1.140
Cemento Tipo "I"	kg/m ³	380	380	380	380
Agua	kg/m ³	210	209	207	205
Arena zarandeada	kg/m ³	782	782	782	782
Piedra zarandeada HUSO 67	kg/m ³	1052	1052	1052	1052
Peso unitario concreto	kg/m ³	2427.1	2427.1	2427.1	2427.1
Asentamiento	pulg.	5 1/2"	5"	5"	4 3/4"
Relación agua/cemento de diseño		0.52	0.52	0.52	0.52
		a ₁₁	a ₁₂	a ₁₃	a ₁₄

En la tabla 4.11 se presentan los valores de diseño de mezcla para a/c = 0.57, de igual forma cada columna indica el contenido de los materiales para los diferentes porcentajes de aditivo plastificante. En este caso dado que el contenido de cemento es menor respecto a las mezclas con a/c = 0.52, por defecto la cantidad de aditivo también disminuye.

Tabla 4.11 Diseño de mezcla a diferentes porcentajes de aditivo Plastiment TM 31
(a/c = 0.57) (fuente: Propia)

<i>Características del concreto</i>	
Concreto Tipo	f'c= 210 -B-H67-I-A4-6
Cemento Tipo	"I"
Método de colocación	BOMBA

Concreto		POR RESISTENCIA			
<i>Dosificación para un metro cúbico</i>					
Materiales	Unidad	Cantidad			
Aditivo Superplastificante (Plastiment TM 31)	%	0.5	0.9	1.3	1.7
	kg/m ³	1.729	3.112	4.495	5.878
Aditivo Retardante (Plastiment TM 12)	%	0.3	0.3	0.3	0.3
	kg/m ³	1.037	1.037	1.037	1.037
Cemento Tipo "I"	kg/m ³	346	346	346	346
Agua	kg/m ³	210	208	207	206
Arena zarandeada	kg/m ³	782	782	782	782
Piedra zarandeada HUSO 67	kg/m ³	1052	1052	1052	1052
Peso unitario concreto	kg/m ³	2392.3	2392.3	2392.3	2392.3
Asentamiento	pulg.	5 1/2"	5"	5"	4 3/4"
Relación agua/cemento de diseño		0.57	0.57	0.57	0.57
		a ₂₁	a ₂₂	a ₂₃	a ₂₄

De la misma manera en la tabla 4.12 se muestran los valores para la dosificación de mezclas con $a/c = 0.62$. La tendencia en la disminución de la cantidad de aditivo se debe a un menor contenido de cemento por metro cúbico de mezcla ya que como se indica en la tabla la resistencia de diseño es menor cuando se incrementa la relación agua/cemento.

Tabla 4.12 Diseño de mezcla a diferentes porcentajes de aditivo Plastiment TM 31 ($a/c = 0.62$) (fuente: Propia)

<i>Características del concreto</i>					
Concreto Tipo	f'c= 175 -B-H67-I-A4-6				
Cemento Tipo	"I"				
Método de colocación	BOMBA POR				
Concreto	RESISTENCIA				
<i>Dosificación para un metro cúbico</i>					
Materiales	Unidad	Cantidad			
Aditivo Superplastificante (Plastiment TM 31)	%	0.5	0.9	1.3	1.7
	kg/m ³	1.586	2.855	4.124	5.393

Materiales	Unidad	Cantidad			
Aditivo Retardante (Plastiment TM 12)	%	0.3	0.3	0.3	0.3
	kg/m ³	0.952	0.952	0.952	0.952
Cemento Tipo "I"	kg/m ³	317	317	317	317
Agua	kg/m ³	210	208	207	206
Arena zarandeada	kg/m ³	782	782	782	782
Piedra zarandeada HUSO 67	kg/m ³	1052	1052	1052	1052
Peso unitario concreto	kg/m ³	2363.3	2363.3	2363.3	2363.3
Asentamiento	pulg.	5 1/2"	5"	5"	4 3/4"
Relación agua/cemento de diseño		0.62	0.62	0.62	0.62
		a ₃₁	a ₃₂	a ₃₃	a ₃₄

4.1.7. Ensayo de peso unitario del concreto premezclado

La trabajabilidad del concreto está determinada, entre otros factores, por las características físicas, granulometría, y proporción de los agregados fino y grueso, por cuanto dichos factores regulan la cantidad de agua necesaria para producir un concreto trabajable. El método tradicional de medir la trabajabilidad ha sido desde hace muchos años el slump o asentamiento en el cono de Abrams. En la tabla 4.13 se presentan los valores del peso unitario para las mezclas en estudio, cada columna indica los resultados para las dosificaciones con diferentes a/c (0.5, 0.57 y 0.62), mientras que cada fila corresponde a las mezclas con diferente porcentaje de aditivo (0.5%, 0.9%, 1.3% y 17%).

Tabla 4.13 Peso unitario en kg/m³ según la norma ASTM C 138 (fuente: Propia)

				Relación a/c		
%	Aditivo TM 12 (kg/m ³)	%	Aditivo TM 31 (kg/m ³)	0.52	0.57	0.62
0.3	1.140	0.5	1.900	2433.11	2423.26	2419.27
0.3	1.140	0.9	3.420	2427.23	2419.34	2413.85
0.3	1.140	1.3	4.940	2426.95	2417.72	2410.97
0.3	1.140	1.7	6.460	2423.62	2412.31	2407.33

A continuación, en la **figura 4.4** se presenta una gráfica que relaciona el peso unitario versus el contenido de aditivo, cada línea representa las dosificaciones con diferentes r : a/c ; particularmente la línea color rojo refleja los resultados para las mezclas con relación agua/cemento de 0.52, cada punto corresponde a una dosificación con diferente porcentaje de aditivo plastificante (0.5%, 0.9%, 1.3% y 1.9%). En la gráfica se resalta la muestra patrón, que corresponde al elemento “a₂₃” con 1.3% de aditivo TM 31 y relación a/c de 0.57.

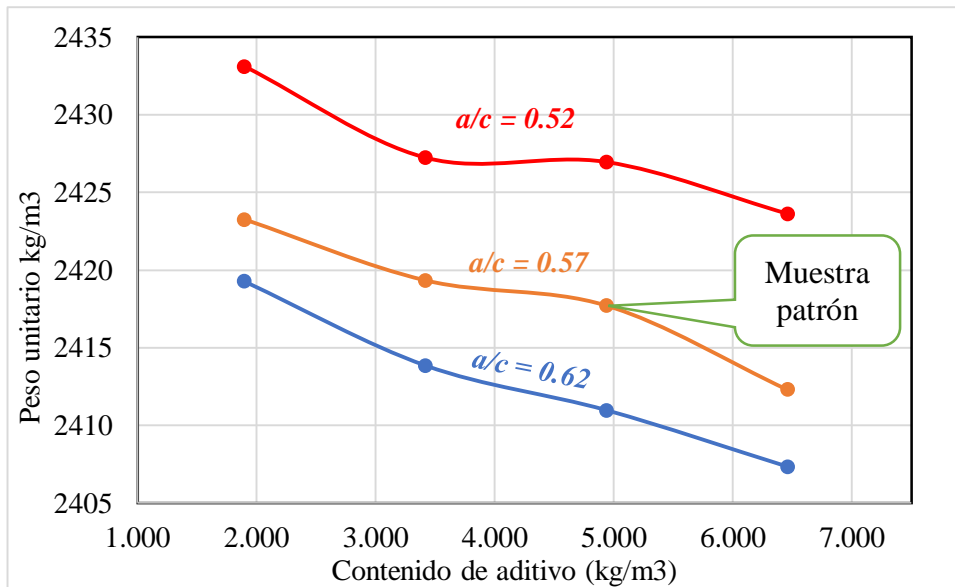


Figura 4.4 Peso unitario del concreto premezclado versus dosificación de aditivo (**fuentes: Propia**)

Mientras tanto, en la gráfica 4.5 se muestran los resultados de peso unitario versus r : a/c , en este caso cada línea representa las dosificaciones con diferente porcentaje de aditivo.

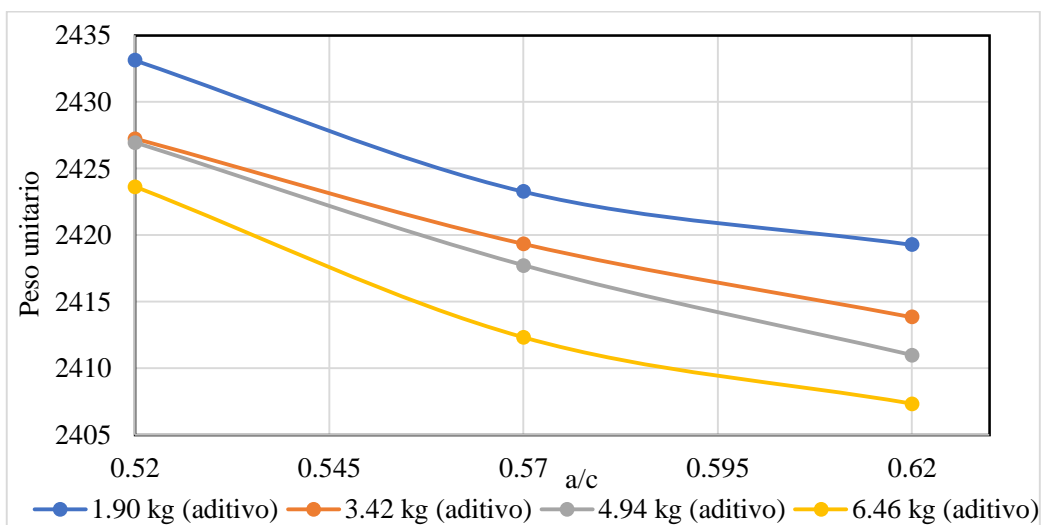


Figura 4.5 Peso unitario del concreto premezclado versus dosificación de aditivo (**fuentes: Propia**)

La línea color azul de la gráfica 4.5 corresponde el conjunto de mezclas que contiene 0.5% de aditivo Plastiment TM 31, mientras que la línea color amarillo representa a las mezclas con 1.7% de aditivo. La gráfica indica que la adición de aditivo disminuye el peso unitario de las mezclas de manera decreciente, de igual forma a mayor relación a/c también disminuye el peso unitario.

4.1.8. Ensayo de contenido de aire

Se determinó el contenido de aire atrapado en la mezcla fresca, el control del contenido de aire en el concreto premezclado fue esencial para mantener la calidad del producto. El ensayo se realizó utilizando un equipo Tecnotest/Modena según la norma ASTM C 231.

En la siguiente **tabla 4.14** se presentan los resultados del ensayo de contenido de aire según la norma ASTM C 231 para los diseños de mezcla establecidos, se presenta un cuadro de doble entrada donde cada columna indica los diferentes porcentajes de adición de aditivo, mientras que cada fila contiene los resultados para cada relación agua/cemento. Se observa que el mínimo contenido de aire es de 2.38% mientras que el máximo contenido es de 2.63% correspondiente a las mezclas a₁₁ y a₃₄ respectivamente.

Tabla 4.14 Contenido de aire (%) para las mezclas de diseño - ASTM C 231
(fuente: Propia)

Relación a/c	Aditivo TM 12 (cte = 0.3%)			
	Aditivo TM 31 0.5%	Aditivo TM 31 0.9%	Aditivo TM 31 1.3%	Aditivo TM 31 1.7%
0.52	2.38	2.39	2.41	2.45
0.57	2.42	2.44	2.44	2.47
0.62	2.48	2.57	2.61	2.63

Con los valores de la tabla 4.14 se construyó la gráfica presentada en la figura 4.6, donde se relaciona la cantidad agua/cemento versus el contenido de aire, cada línea corresponde a los diferentes porcentajes de aditivo utilizados (0.5%, 0.9%, 1.3% y 1.7%), precisamente la línea color azul representa el conjunto de mezclas con 1.7% de aditivo mientras que la línea color verde claro refleja a las mezclas con 0.5%. Observamos que un aumento en el contenido de aditivos no influye significativamente en el porcentaje de aire, sin embargo, al aumentar la relación agua/cemento en las mezclas se incrementa el porcentaje de aire de manera creciente dentro del rango evaluado en esta investigación.

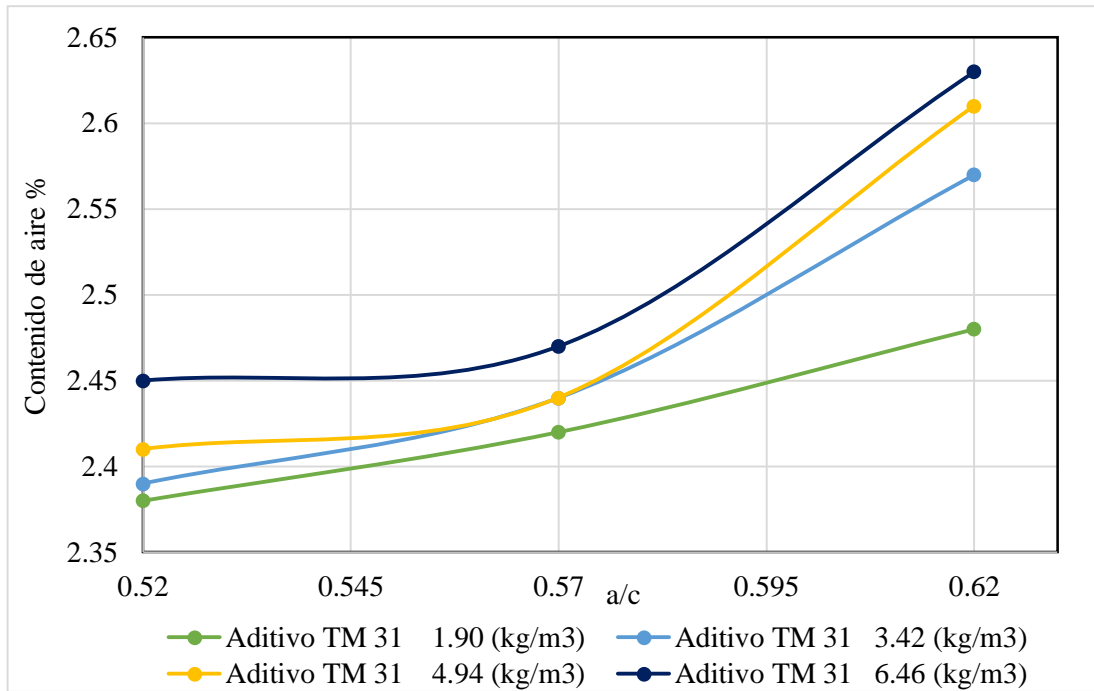


Figura 4.6 Contenido de aire versus relación agua cemento (**fuentes: Propia**)

4.1.9. Ensayo de cono de Abrams

Se realizó el ensayo de cono de Abrams para obtener información sobre la uniformidad de las mezclas además para controlar la calidad del concreto premezclado fresco. La variación en el slump de las mezclas con la misma dosificación indica algún cambio en las características físicas y granulométricas de los agregados, el contenido de aire o el uso de aditivos.

En la **tabla 4.15** se muestran los resultados para el ensayo de asentamiento según la norma ASTM C 143, se indican los valores de slump en pulgadas para las dosificaciones de mezcla diseñadas, los valores hacen referencia a elementos con diferente contenido de aditivo y a/c.

Tabla 4.15 Cuadro de asentamientos a diferentes porcentajes de aditivo - ASTM C 143 (**fuentes: Propia**)

Relación a/c	Aditivo TM 12 (cte = 0.3%)			
	Aditivo TM 31 0.5%	Aditivo TM 31 0.9%	Aditivo TM 31 1.3%	Aditivo TM 31 1.7%
	Slump (")	Slump (")	Slump (")	Slump (")
0.52	4 1/2	4 3/4	5	5 3/4
0.57	4 3/4	4 3/4	5 1/2	6 1/4
0.62	4 3/4	5	5 3/4	6 3/4

De igual manera se gráfico los valores de asentamiento para diferentes relaciones agua/cemento, la figura 4.7 refleja los valores de slump para las mezclas de diseño. Cada línea corresponde al conjunto de mezclas con diferente porcentaje de aditivo. Precisamente la línea color rojo representa el conjunto de mezclas que contienen 1.7% de aditivo Plastiment TM 31, es decir se gráfica en el “eje y” los resultados de asentamiento para las mezclas con relación agua/cemento (0.52, 0.57 y 0.62) y contenido de aditivo de 1.7%.

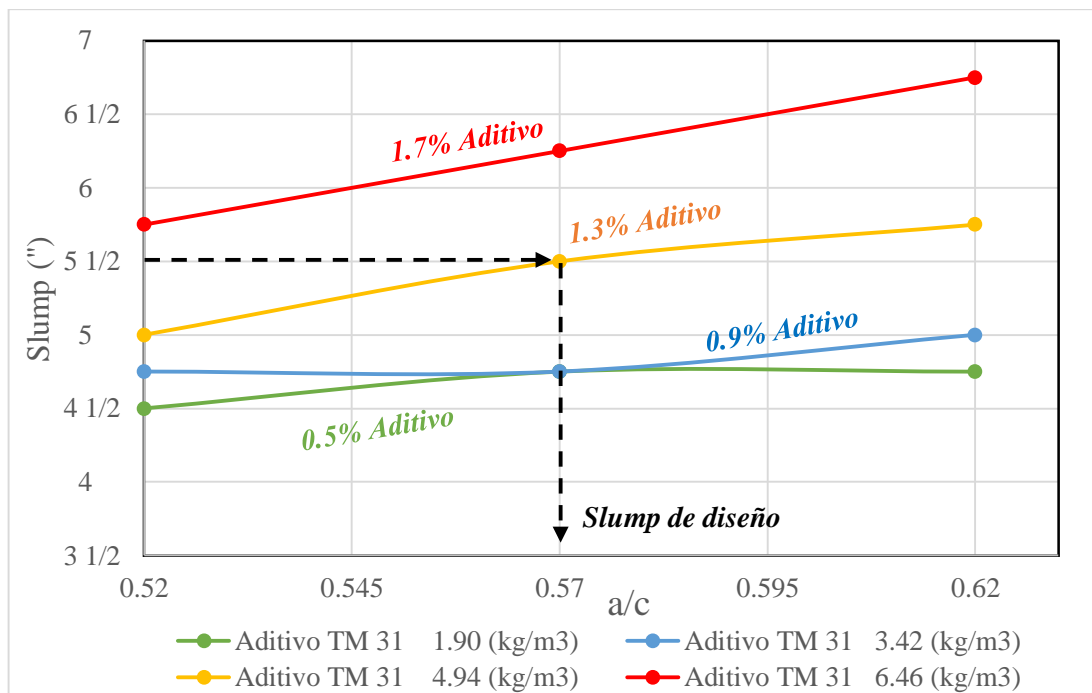


Figura 4.7 Slump del concreto premezclado vs relación a/c (fuente: Propia)

4.1.10. Ensayo de fisuración

Los ensayos de fisuración se desarrollaron según la norma ACI 544.2R y ASTM C 1579 y permitieron determinar el grado de fisuración del concreto premezclado con diferentes relaciones agua cemento y porcentajes de aditivo, a partir de estos valores se definió cual es la dosificación óptima de aditivo Plastiment TM 31.

Existen algunos métodos que permiten determinar las propiedades de resistencia del concreto durante su proceso de fraguado definido por la aparición de fisuras por contracción plástica, estos métodos implican medir la longitud y ancho de fisura. Se utiliza moldes tipo anillo, rectangular, cuadrado o la combinación de estas formas para caracterizar la resistencia a la fisuración de un concreto reforzado con fibras o aditivos comparado con un concreto convencional sin adiciones. Según la norma americana el espesor de los especímenes varía

desde 6.25 mm a 152.4 mm, dependiendo del tamaño máximo del agregado y la aplicación. En esta investigación los moldes tipo anillo y panel rectangular fueron de 9 y 10 cm de espesor respectivamente.

Las fisuras se forman en la superficie de las muestras y se inducen restricciones para facilitar la toma de datos. Los valores de fisuración son cuantificados como el producto de la longitud y ancho de la grieta y son expresados en porcentaje comparado con un concreto convencional en un periodo de 24 hrs desde el vaciado de mezcla.

La mayor parte de las microgrietas ocurrieron en la fracción de mortero del concreto premezclado durante las primeras horas siendo la tasa de evaporación promedio de 1.25 kg/m²/hr. El ensayo tipo anillo es un método que proporciona un alto grado de restricción que permite obtener resultados consistentes en muestras de concreto. El dispositivo de prueba consistió en dos anillos de fierro y una base metálica, el anillo exterior tiene soldadas doce restricciones que sirven para generar la fisuración.



Figura 4.8 Molde tipo anillo para la prueba de fisuración (ACI 544.2R) (fuente: Propia)

En la tabla 4.16 se presentan los resultados de fisuración según el método ACI 544.2R (molde circular), la norma indica que el tiempo máximo de duración del ensayo es de 24 horas, por lo que en esta investigación se tomaron los valores de espesor y longitud de fisura al siguiente día (24 hrs.) ya que durante las primeras horas de fraguado la longitud de fisura fue variable. En la siguiente tabla se resumen los valores de longitud de fisura medidos en moldes circulares para las dosificaciones con diferentes porcentajes de aditivo.

Tabla 4.16 Área de fisuración a diferentes porcentajes de aditivo TM 31 – ACI 544.2R

a/c = 0.52 (fuente: Propia)

	Patrón sin aditivo		Cantidad de aditivo TM 31							
			1.90 kg/m ³		3.42 kg/m ³		4.94 kg/m ³		6.46 kg/m ³	
Espesor de fisura (mm)	Longitud (cm)	Área (cm ²)	Longitud (cm)	Área (cm ²)	Longitud (cm)	Área (cm ²)	Longitud (cm)	Área (cm ²)	Longitud (cm)	Área (cm ²)
0.05	1.3	0.01	0.0	0.00	1.1	0.01	4.7	0.02	3.1	0.02
0.1	11.5	0.12	15.6	0.16	22.3	0.22	41.9	0.42	50.4	0.50
0.2	30.1	0.60	23.1	0.46	31.6	0.63	98.6	1.97	113.7	2.27
0.3	50.7	1.52	33.9	1.02	52.9	1.59	125.1	3.75	159.4	4.78
0.4	16.3	0.65	8.0	0.32	20.4	0.82	69.5	2.78	80.3	3.21
0.5	6.2	0.31	7.6	0.38	8.2	0.41	12.3	0.62	13.6	0.68
Área Total (cm²)		3.21		2.34		3.67		9.56		11.47

Los valores presentados en la tabla 4.16 corresponden al conjunto de mezclas que utilizaron una relación agua/cemento de 0.52, donde cada columna indica los resultados de longitud y área de fisura para los diferentes porcentajes de aditivo utilizados (0.5%, 0.9%, 1.3% y 1.9%), además se presentan los resultados de fisuración para un diseño de mezcla sin contenido de aditivos (concreto preparado in situ). Cada fila indica los distintos espesores de fisura medidos en los moldes circulares, sin embargo, cuando el espesor de fisura alcanzó un valor diferente al presentado en el rango de la tabla 4.16 se aproximó este resultado a un valor inmediatamente superior. Por último, se adjunta al final la sumatoria total de las áreas de fisuración para cada porcentaje de aditivo utilizado, se denota que la muestra patrón (mezcla convencional sin aditivos) alcanzó un área de fisuración de 3.21 cm² mientras que la muestra a₁₄ con 1.9% de aditivo obtuvo un valor de 11.47 cm².

A partir de los datos obtenidos en la tabla anterior se graficaron los valores de área de fisuración de las muestras con aditivo comparadas con el diseño de mezcla para un concreto convencional sin aditivos (muestra patrón). En la figura 4.9 y 4.10 se muestran los resultados de fisuración para las mezclas con 0.5% y 0.9% de aditivo Plastiment TM 31 en ambos casos

corresponden a un diseño de mezcla con relación agua/cemento de 0.52. Cada gráfica relaciona el espesor de fisura (mm) versus el área de fisuración correspondiente.

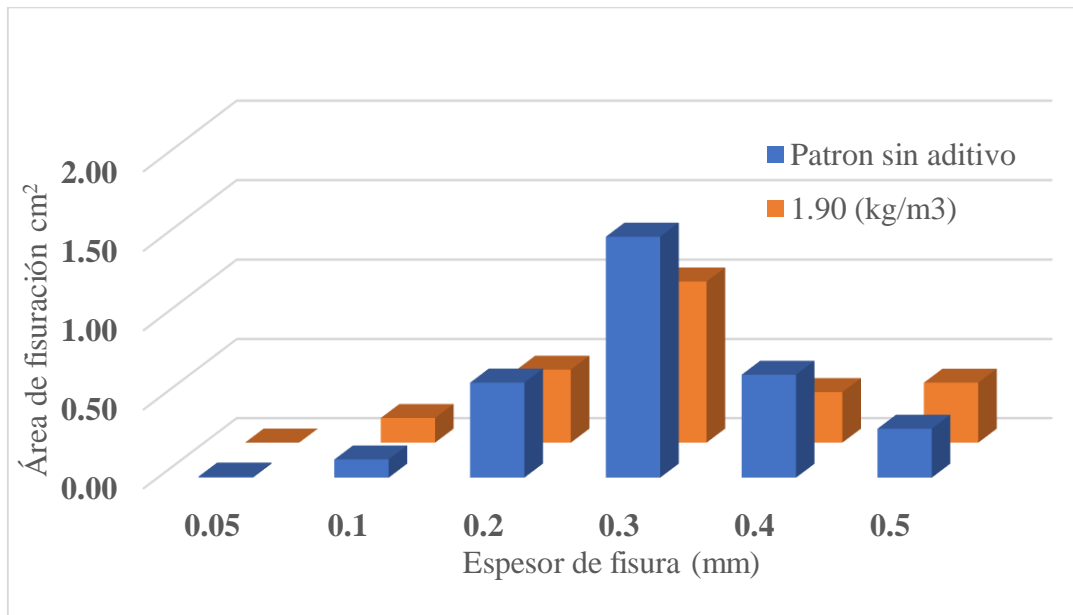


Figura 4.9 Muestra sin aditivo y muestra con 1.9 kg/m³ de aditivo TM 31 a/c = 0.52 (fuente: Propia)

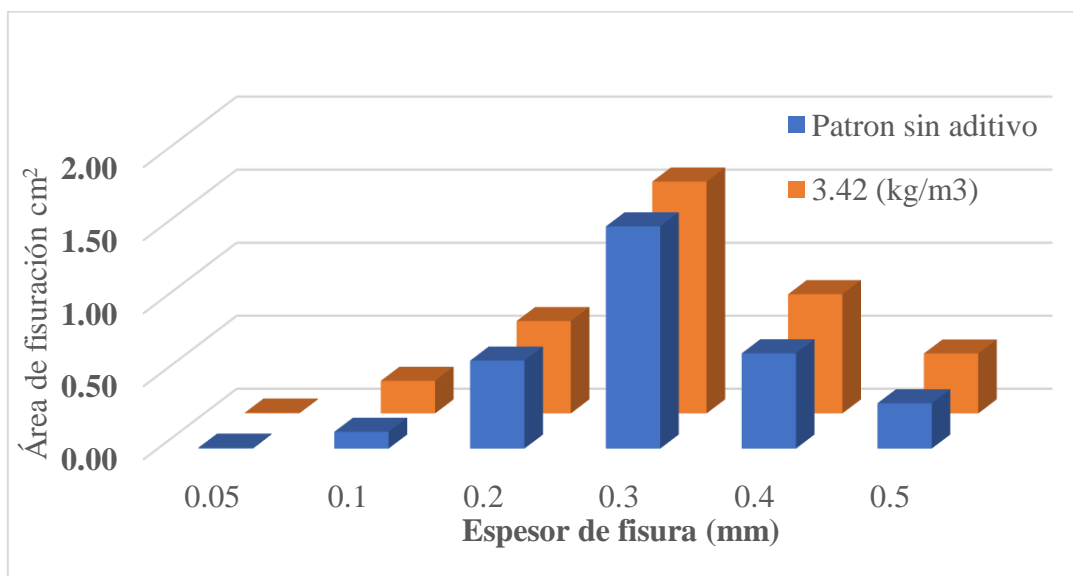


Figura 4.10 Muestra sin aditivo y muestra con 3.42 kg/m³ de aditivo TM 31 a/c = 0.52 (fuente: Propia)

Entretanto en las figuras 4.11 y 4.12 se grafican los resultados de fisuración para las mezclas a₁₃ y a₁₄ con 1.3% y 1.9% de aditivo Plastiment TM 31 respectivamente, donde se compara los resultados de fisuración del diseño de mezcla de un concreto sin y con aditivo, se destaca que la mayor longitud de fisura tiene entre 0.2 y 0.4 mm de espesor.

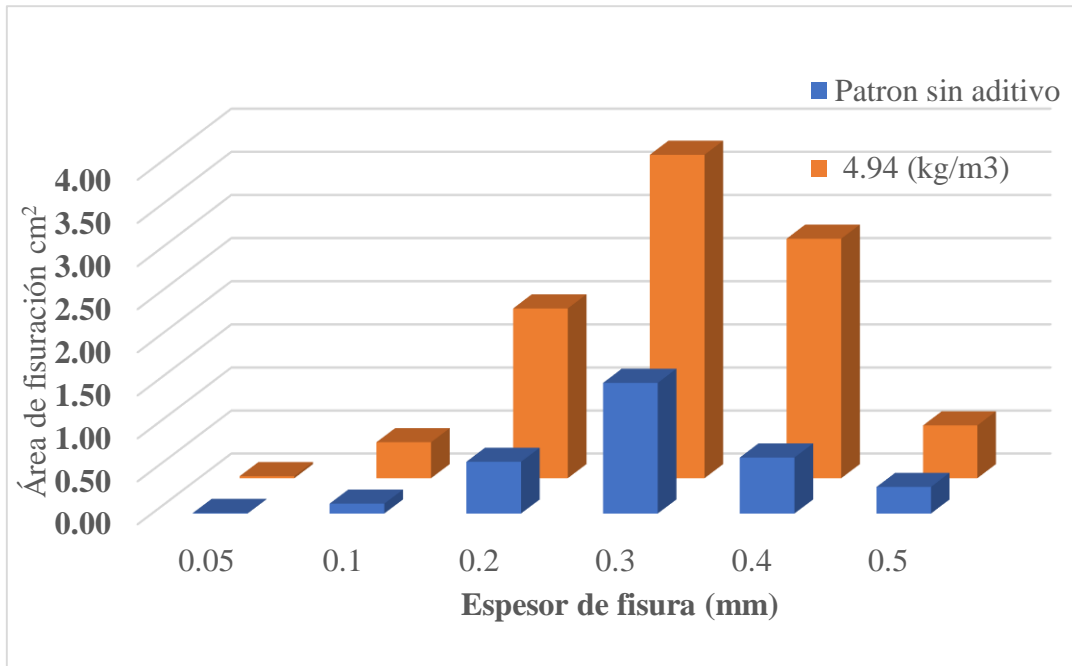


Figura 4.11 Muestra sin aditivo y muestra con 4.94 kg/m³ de aditivo TM 31
a/c = 0.52 (fuente: Propia)

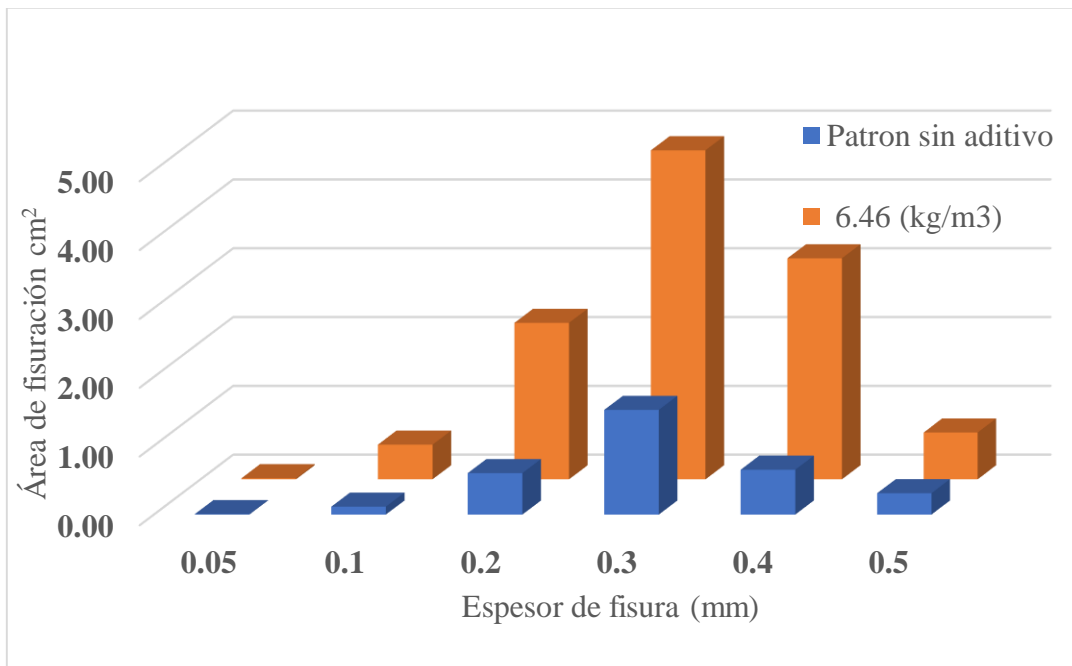


Figura 4.12 Muestra sin aditivo y muestra con 6.46 kg/m³ de aditivo TM 31
a/c = 0.52 (fuente: Propia)

De igual forma en la tabla 4.17 se presentan los resultados de fisuración según el método ACI 544.2R (molde tipo anillo), correspondientes al conjunto de mezclas que utilizaron una relación agua/cemento de 0.57. Cada columna indica los resultados de longitud y área de fisura para los diferentes porcentajes de aditivo (0.5%, 0.9%, 1.3% y 1.9%), además se

presentan en esta tabla los resultados de fisuración para un diseño de mezcla sin contenido de aditivos (concreto convencional preparado in situ). Cada fila indica los distintos espesores de fisura medidos en los moldes tipo anillo (0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5 mm), cuando el espesor de fisura alcanzó un valor diferente al presentado en el rango se aproximó el resultado a un valor inmediatamente superior. Por último, también se adjunta al final la sumatoria total de las áreas de fisuración para cada porcentaje de aditivo utilizado, se denota que la muestra patrón (mezcla sin aditivos) alcanzó un área de fisuración de 3.62 cm² mientras que la muestra a₁₄ con 1.9% de aditivo obtuvo un valor de 12.50 cm², estos valores de fisuración son mayores a los alcanzados por las mezclas con una relación agua/cemento de 0.52.

Tabla 4.17 Área de fisuración a diferentes porcentajes de aditivo TM 31 – ACI 544.2R
a/c = 0.57 (fuente: Propia)

Espesor de fisura (mm)	Patrón sin aditivo		Cantidad de aditivo TM 31							
			1.73 (kg/m ³)		3.11 (kg/m ³)		4.50 (kg/m ³)		5.88 (kg/m ³)	
	Longitud (cm)	Área (cm ²)	Longitud (cm)	Área (cm ²)	Longitud (cm)	Área (cm ²)	Longitud (cm)	Área (cm ²)	Longitud (cm)	Área (cm ²)
0.05	0	0.00	0.0	0.00	1.2	0.01	5.3	0.03	7.2	0.04
0.1	16.8	0.17	0.0	0.00	31.6	0.32	41.2	0.41	44.6	0.45
0.2	31.5	0.63	20.2	0.40	44.9	0.90	79.3	1.59	96.3	1.93
0.3	56.7	1.70	32.6	0.98	62.3	1.87	135.6	4.07	173.5	5.21
0.4	18.9	0.76	16.2	0.65	28.9	1.16	72.1	2.88	101.7	4.07
0.5	7.3	0.37	6.5	0.33	8.1	0.41	12.5	0.63	16.3	0.82
Área Total (cm²)		3.62		2.36		4.65		9.60		12.50

Igualmente, a partir de los datos obtenidos en la tabla anterior se graficaron los valores de fisuración de las muestras con aditivo comparadas con el diseño de mezcla para un concreto convencional sin aditivos (muestra patrón). En la figura 4.13 y 4.14 se muestran los resultados de fisuración a para las mezclas con 0.5% y 0.9% de aditivo Plastiment TM 31 en ambos casos corresponden a un diseño de mezcla con relación agua/cemento de 0.57. cada gráfica relaciona el espesor de fisura (mm) versus el área de fisuración correspondiente.

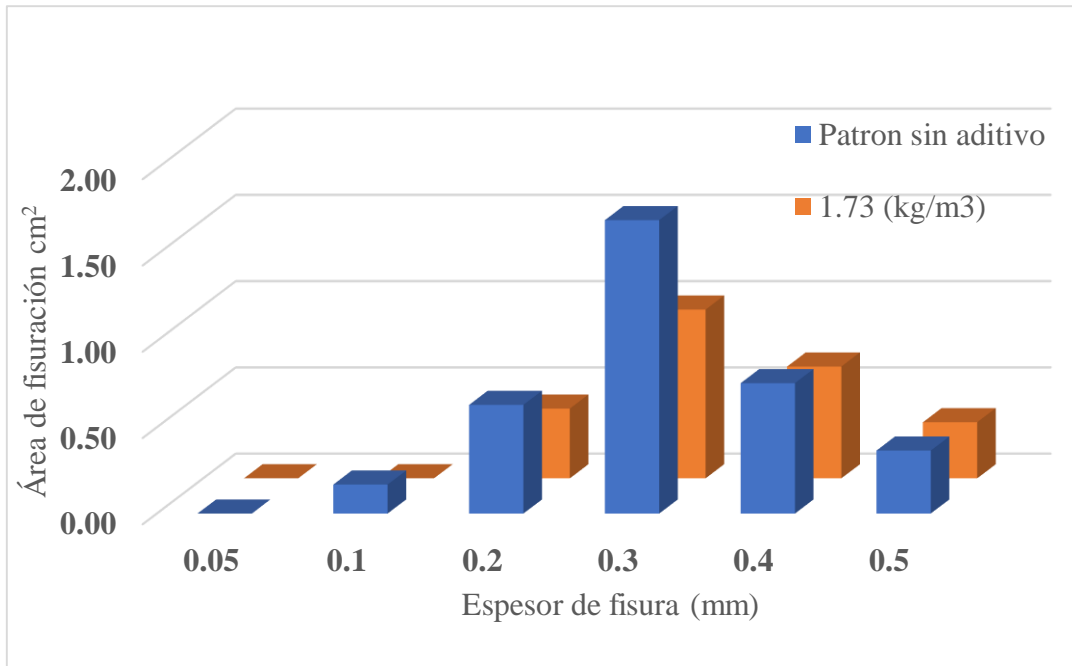


Figura 4.13 Muestra sin aditivo y muestra con 1.73 kg/m³ de aditivo TM 31
a/c = 0.57 (fuente: Propia)

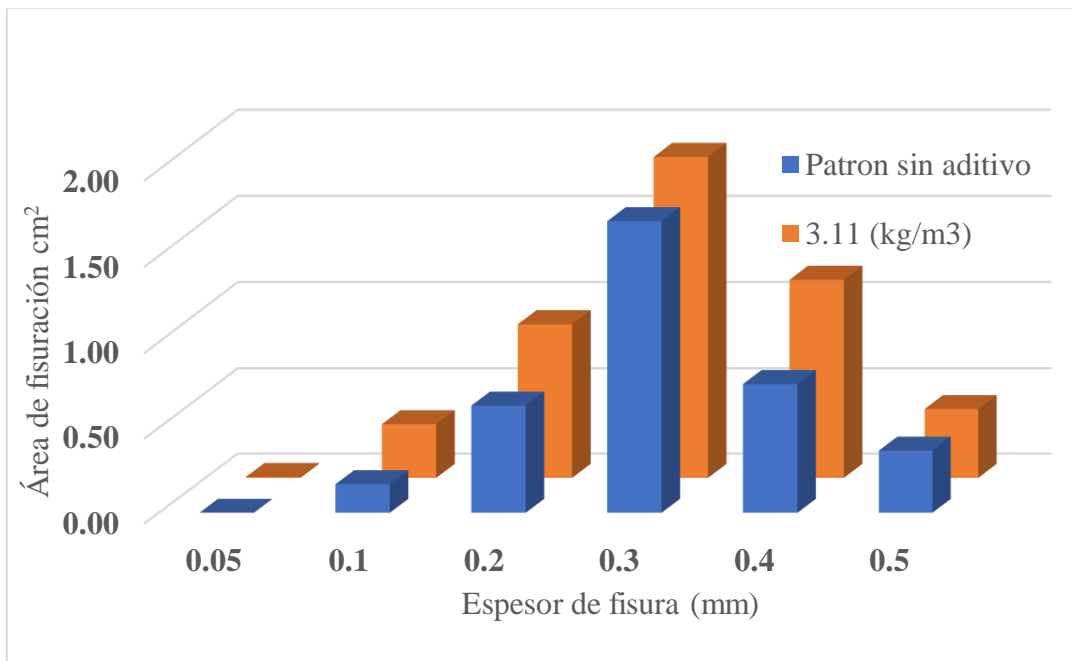


Figura 4.14 Muestra sin aditivo y muestra con 3.11 kg/m³ de aditivo TM 31
a/c = 0.57 (fuente: Propia)

Asimismo, en las figuras 4.15 y 4.16 se grafican los resultados de fisuración para las mezclas a₂₃ y a₂₄ con 1.3% y 1.9% de aditivo plastificante respectivamente y a/c = 0.57, donde se compara los resultados de fisuración del diseño de mezcla de un concreto sin y con aditivos;

observamos que en ambos casos la dosificación con aditivo superó el área de fisuración respecto a la mezcla patrón (concreto convencional sin aditivos).

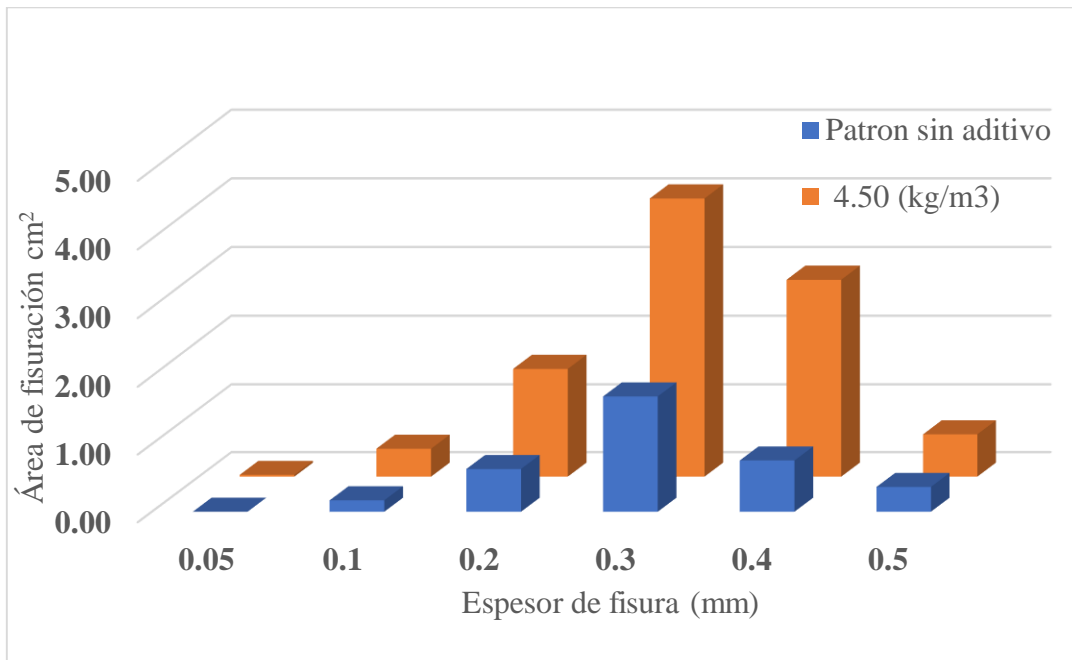


Figura 4.15 Muestra sin aditivo y muestra con 4.50 kg/m³ de aditivo TM 31
a/c = 0.57 (fuente: Propia)

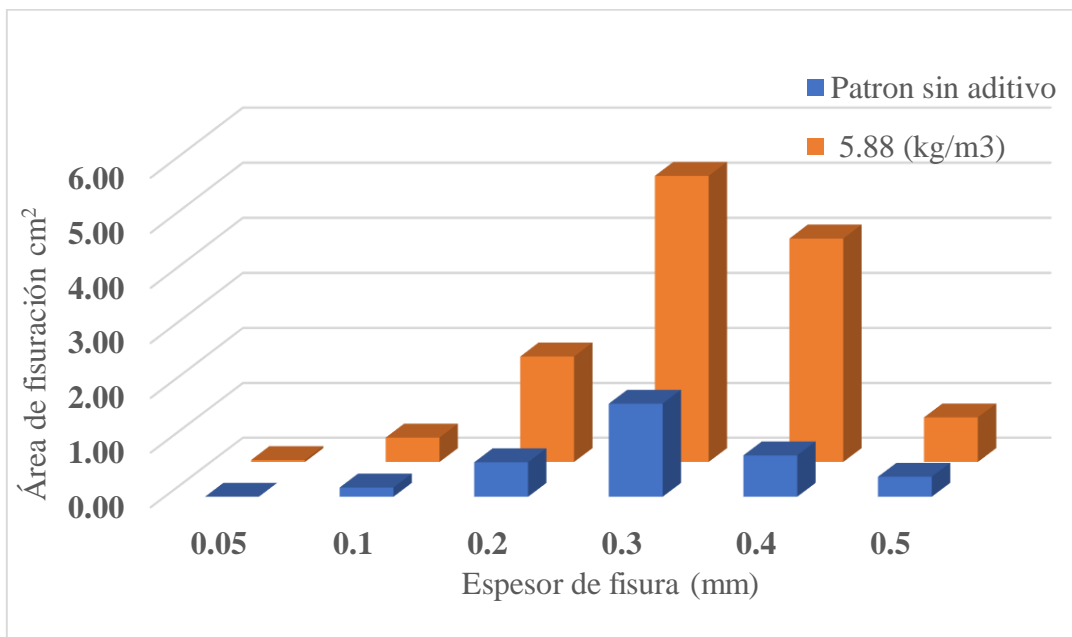


Figura 4.16 Muestra sin aditivo y muestra con 5.88 kg/m³ de aditivo TM 31
a/c = 0.57 (fuente: Propia)

Finalmente, en la tabla 4.18 se presentan los resultados de fisuración utilizando el método ACI 544.2R (molde tipo anillo), correspondientes al conjunto de mezclas que utilizaron una

relación agua/cemento de 0.62. De la misma manera cada columna indica los resultados de longitud y área de fisura para los diferentes porcentajes de aditivo (0.5%, 0.9%, 1.3% y 1.9%), además se presentan en esta tabla los resultados de fisuración para un diseño de mezcla sin contenido de aditivos (concreto convencional preparado in situ). Mientras que cada fila indica los distintos espesores de fisura medidos en los moldes tipo anillo (0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5 mm), igualmente cuando el espesor de fisura alcanzó un valor diferente al presentado en el rango, se aproximó el resultado a un valor inmediatamente superior. Por último, se adjunta al final la sumatoria total de las áreas de fisuración para cada porcentaje de aditivo utilizado, se denota que la muestra patrón (mezcla sin aditivos) alcanzó un área de fisuración de 4.23 cm² mientras que la muestra a₁₄ con 1.9% de aditivo obtuvo un valor de 12.56 cm², se advierte que los valores de fisuración son mayores a los alcanzados por las mezclas con una relación agua/cemento de 0.52 y 0.57.

Tabla 4.18 Área de fisuración a diferentes porcentajes de aditivo TM 31 – ACI 544.2R
a/c = 0.62 (fuente: Propia)

	Patrón sin aditivo		Cantidad de aditivo TM 31							
			1.59 (kg/m ³)		2.86 (kg/m ³)		4.12 (kg/m ³)		5.39 (kg/m ³)	
Espesor de fisura (mm)	Longitud (cm)	Área (cm ²)	Longitud (cm)	Área (cm ²)	Longitud (cm)	Área (cm ²)	Longitud (cm)	Área (cm ²)	Longitud (cm)	Área (cm ²)
0.05	0	0.00	1.9	0.01	2.3	0.01	3.1	0.02	8.4	0.04
0.1	16.8	0.17	43.9	0.44	46.1	0.46	63.8	0.64	81.6	0.82
0.2	31.5	0.63	47.6	0.95	50.7	1.01	109.6	2.19	133.7	2.67
0.3	56.7	1.70	66.2	1.99	62.4	1.87	134.3	4.03	152.1	4.56
0.4	18.9	0.76	10.7	0.43	22.6	0.90	57.4	2.30	91.2	3.65
0.5	7.3	0.37	7.0	0.35	8.4	0.42	10.7	0.54	16.3	0.82
Área Total (cm²)		4.23		4.16		4.68		9.71		12.56

De igual modo, a partir de los datos obtenidos en la tabla anterior se graficaron los valores de fisuración de las muestras con aditivo comparadas con el diseño de mezcla para un concreto convencional sin aditivos (muestra patrón). En la figura 4.17 y 4.18 se muestran los resultados de fisuración a para las mezclas con 0.5% y 0.9% de aditivo Plastiment TM

31 en ambos casos corresponden a un diseño de mezcla con relación agua/cemento de 0.62. cada gráfica relaciona el espesor de fisura (mm) versus el área de fisuración correspondiente.

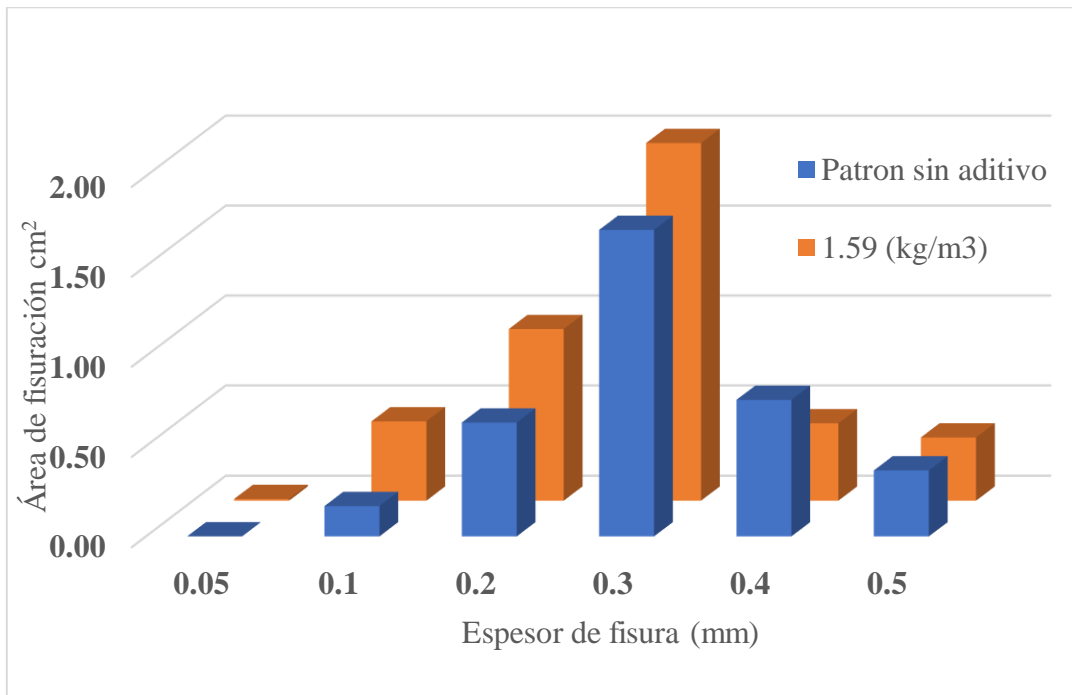


Figura 4.17 Muestra sin aditivo y muestra con 1.59 kg/m³ de aditivo TM 31 a/c = 0.62 (fuente: Propia)

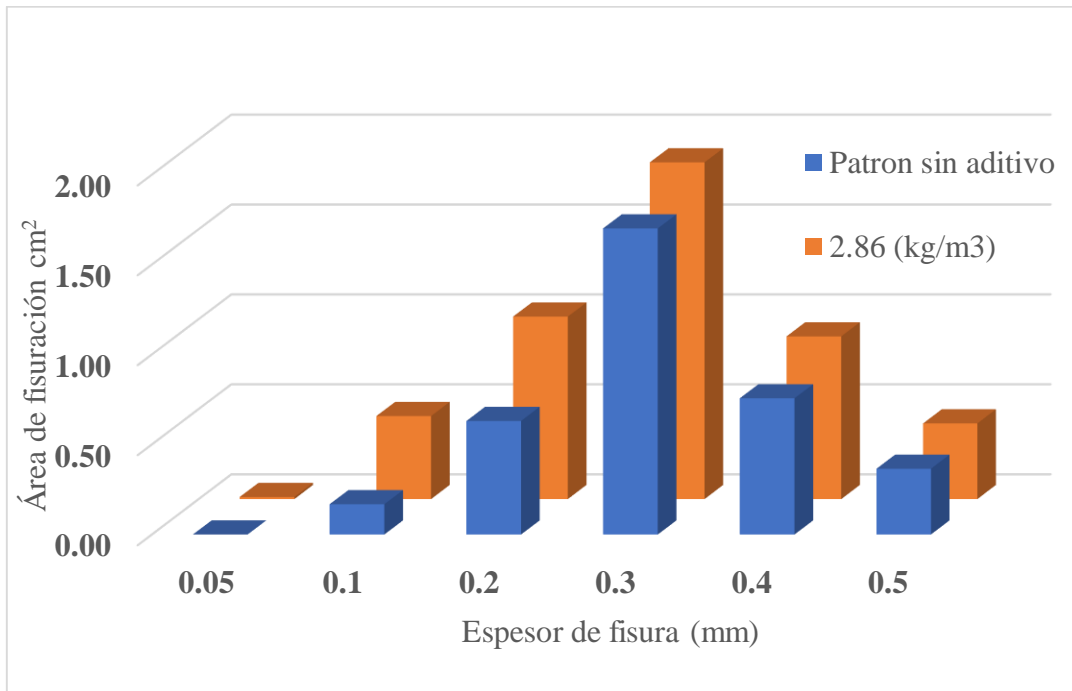


Figura 4.18 Muestra sin aditivo y muestra con 2.86 kg/m³ de aditivo TM 31 a/c = 0.62 (fuente: Propia)

Asimismo, en las figuras 4.19 y 4.20 se grafican los resultados de fisuración para las mezclas a_{23} y a_{24} con 1.3% y 1.9% de aditivo plastificante respectivamente y $a/c = 0.57$, donde se compara los resultados de fisuración del diseño de mezcla de un concreto sin y con aditivos; observamos que en ambos casos la dosificación con aditivo superó el área de fisuración respecto a la mezcla patrón (concreto convencional sin aditivos).

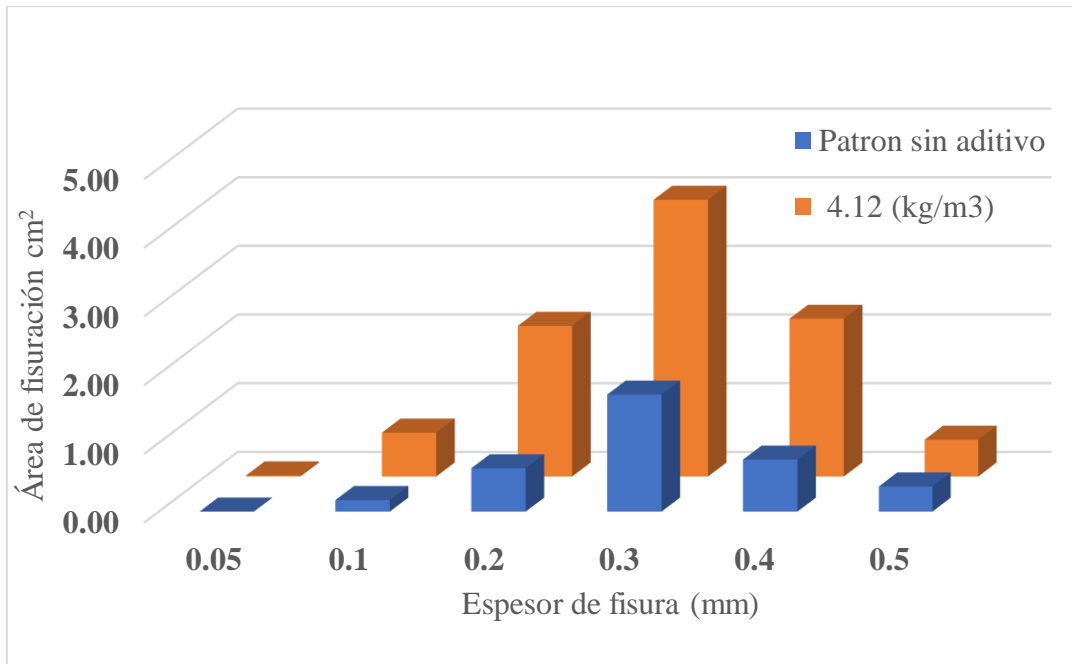


Figura 4.19 Muestra sin aditivo y muestra con 4.12 kg/m³ de aditivo TM 31 $a/c = 0.62$ (fuente: Propia)

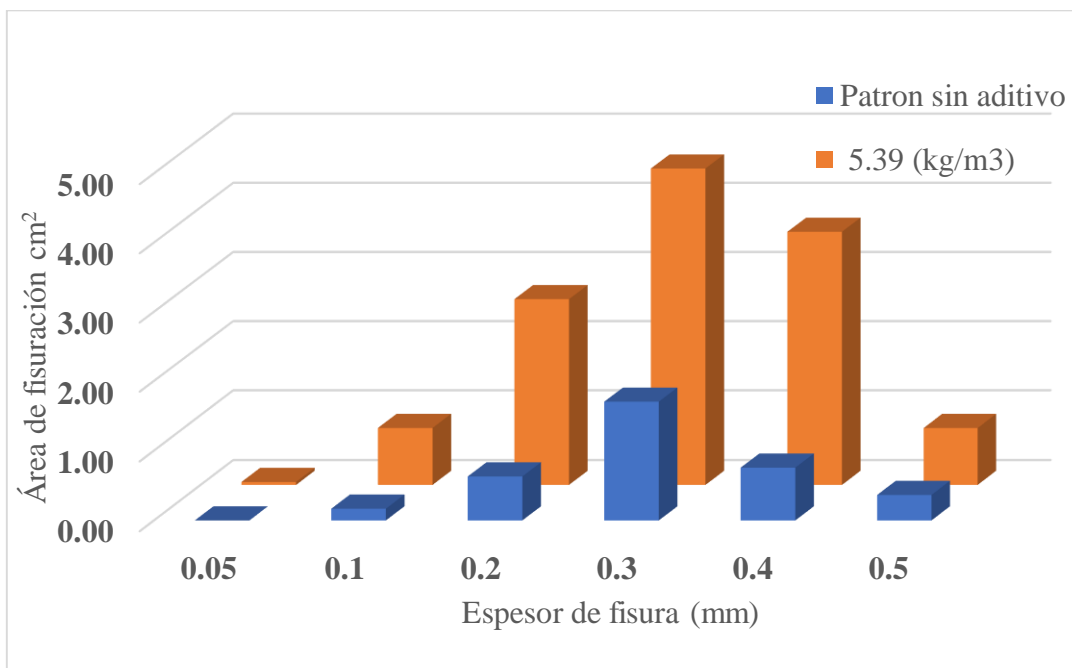


Figura 4.20 Muestra sin aditivo y muestra con 5.39 kg/m³ de aditivo TM 31 $a/c = 0.62$ (fuente: Propia)

En la tabla 4.19 se presentan los resultados de fisuración utilizando el método ASTM C 1579 (molde rectangular), correspondientes al conjunto de mezclas que utilizaron una relación agua/cemento de 0.52. Donde cada columna indica los resultados de longitud y área de fisura para los diferentes porcentajes de aditivo (0.5%, 0.9%, 1.3% y 1.9%), además se presentan en esta tabla los resultados de fisuración para un diseño de mezcla sin contenido de aditivos. Mientras tanto cada fila indica los distintos espesores de fisura medidos en los moldes tipo panel, cuando el espesor de fisura alcanzó un valor diferente al presentado en el rango, se aproximó el resultado a un valor inmediatamente superior. Por último, se adjunta al final la sumatoria total de las áreas de fisuración para cada porcentaje de aditivo utilizado, se denota que la muestra patrón (mezcla sin aditivos) alcanzó un área de fisuración de 3.87 cm² mientras que la muestra a₁₄ con 1.9% de aditivo obtuvo un valor de 8.90 cm², se advierte que los valores de fisuración son ligeramente menores a los alcanzados utilizando el método tipo anillo de la norma ACI 544.2R.

Tabla 4.19 Área de fisuración a diferentes porcentajes de aditivo TM 31 – ASTM C 1579
a/c = 0.52 (fuente: Propia)

Espesor de fisura (mm)	Patrón sin aditivo		Cantidad de aditivo TM 31							
			1.90 (kg/m ³)		3.42 (kg/m ³)		4.94 (kg/m ³)		6.46 (kg/m ³)	
	Longitud (cm)	Área (cm ²)	Longitud (cm)	Área (cm ²)	Longitud (cm)	Área (cm ²)	Longitud (cm)	Área (cm ²)	Longitud (cm)	Área (cm ²)
0.05	1.7	0.01	0.8	0.00	0.5	0.00	2.4	0.01	2.6	0.01
0.10	13.4	0.13	7.4	0.07	11.6	0.12	17.3	0.17	35.8	0.36
0.15	41.6	0.62	55.2	0.83	63.2	0.95	71.9	1.08	82.6	1.24
0.20	58.3	1.17	51.5	1.03	58.3	1.17	47.4	0.95	85.1	1.70
0.25	23.1	0.58	18.9	0.47	23.5	0.59	30.4	0.76	73.6	1.84
0.30	9.6	0.29	7.6	0.23	17.6	0.53	27.8	0.83	28.5	0.86
0.35	17.5	0.61	10.1	0.35	8.1	0.28	32.5	1.14	51.2	1.79
0.40	11.5	0.46	9.8	0.39	4.7	0.19	15.8	0.63	27.4	1.10
Área Total (cm²)		3.87		3.38		3.82		5.58		8.90

Asimismo, en la tabla 4.20 se presentan los resultados de fisuración utilizando el método ASTM C 1579 (molde rectangular), correspondientes al conjunto de mezclas que utilizaron una relación agua/cemento de 0.57. Donde cada columna indica los resultados de longitud y área de fisura para los diferentes porcentajes de aditivo, además se presentan en esta tabla los resultados de fisuración para un diseño de mezcla sin contenido de aditivos. Mientras tanto cada fila indica los distintos espesores de fisura medidos en los moldes tipo panel (0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35 y 0.40 mm), cuando el espesor de fisura alcanzó un valor diferente al presentado en el rango, se aproximó el resultado a un valor inmediatamente cercano. Se adjunta también al final la sumatoria total de las áreas de fisuración para cada porcentaje de aditivo utilizado, se denota que la muestra patrón (mezcla sin aditivos) alcanzó un área de fisuración de 3.98 cm² mientras que la muestra a₂₄ con 1.9% de aditivo obtuvo un valor de 9.05 cm², se advierte que los valores de fisuración son mayores a los alcanzados por las mezclas con una relación agua/cemento de 0.52.

Tabla 4.20 Área de fisuración a diferentes porcentajes de aditivo TM 31 – ASTM C 1579
a/c = 0.57 (fuente: Propia)

Espesor de fisura (mm)	Patrón sin aditivo		Cantidad de aditivo TM 31							
			1.73 (kg/m ³)		3.11 (kg/m ³)		4.50 (kg/m ³)		5.88 (kg/m ³)	
	Longitud (cm)	Área (cm ²)	Longitud (cm)	Área (cm ²)	Longitud (cm)	Área (cm ²)	Longitud (cm)	Área (cm ²)	Longitud (cm)	Área (cm ²)
0.05	2.3	0.01	1.5	0.01	3.2	0.02	7.9	0.04	14.5	0.07
0.10	17.5	0.18	13.8	0.14	10.6	0.11	21.8	0.22	37.4	0.37
0.15	21.7	0.33	25.2	0.38	28.4	0.43	52.5	0.79	70.6	1.06
0.20	42.3	0.85	34.1	0.68	33.7	0.67	54.7	1.09	78.2	1.56
0.25	35.8	0.90	40.6	1.02	45.1	1.13	40.6	1.02	77.1	1.93
0.30	23.1	0.69	22.0	0.66	21.9	0.66	28.2	0.85	61.7	1.85
0.35	16.8	0.59	12.5	0.44	9.3	0.33	12.6	0.44	40.4	1.41
0.40	11.1	0.44	2.6	0.10	13.7	0.55	17.3	0.69	19.8	0.79
Área Total (cm²)	3.98		3.42		3.88		5.13		9.05	

Por último, en la tabla 4.21 se presentan los resultados de fisuración, correspondientes al conjunto de mezclas que utilizaron una relación agua/cemento de 0.62. De la misma manera cada columna indica los resultados de longitud y área de fisura para los diferentes porcentajes de aditivo (0.5%, 0.9%, 1.3% y 1.9%), además se presentan en esta tabla los resultados de fisuración para un diseño de mezcla sin contenido de aditivos (concreto convencional preparado in situ). Mientras que cada fila indica los distintos espesores de fisura medidos en los moldes tipo anillo (0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5 mm), igualmente cuando el espesor de fisura alcanzó un valor diferente al presentado en el rango, se aproximó el resultado a un valor inmediatamente superior. Por último, se adjuntan las áreas de fisuración para cada porcentaje de aditivo utilizado, se denota que la muestra patrón (mezcla sin aditivos) alcanzó un área de fisuración de 4.16 cm² mientras que la muestra a₃₄ con 1.9% de aditivo obtuvo un valor de 9.54 cm², los valores de fisuración son mayores a los alcanzados por las mezclas con una relación agua/cemento de 0.52 y 0.57.

Tabla 4.21 Área de fisuración a diferentes porcentajes de aditivo TM 31 – ASTM C 1579
a/c = 0.62 (fuente: Propia)

	Patrón sin aditivo		Cantidad de aditivo TM 31							
			1.59 (kg/m ³)		2.86 (kg/m ³)		4.12 (kg/m ³)		5.39 (kg/m ³)	
Espesor de fisura (mm)	Longitud (cm)	Área (cm ²)	Longitud (cm)	Área (cm ²)	Longitud (cm)	Área (cm ²)	Longitud (cm)	Área (cm ²)	Longitud (cm)	Área (cm ²)
0.05	3.5	0.02	5.2	0.03	2.6	0.01	10.4	0.05	18.3	0.09
0.10	20.3	0.20	18.4	0.18	15.1	0.15	23.7	0.24	45.9	0.46
0.15	26.1	0.39	35.9	0.54	43.9	0.66	46.2	0.69	32.7	0.49
0.20	24.9	0.50	32.4	0.65	25.4	0.51	39.4	0.79	68.5	1.37
0.25	35.8	0.90	33.8	0.85	37.8	0.95	45.8	1.15	59.4	1.49
0.30	30.3	0.91	27.3	0.82	31.3	0.94	57.9	1.74	73.8	2.21
0.35	15.6	0.55	10.9	0.38	12.6	0.44	28.5	1.00	56.3	1.97
0.40	17.4	0.70	17.5	0.70	17.7	0.71	16.1	0.64	36.5	1.46
Área Total (cm²)		4.16		4.14		4.36		6.29		9.54

A partir de los datos obtenidos en las tablas 4.19, 4.20 y 4.21 se graficaron los valores de de fisuración de las muestras con aditivo comparadas con el diseño de mezcla para un concreto convencional sin aditivos (muestra patrón). En la figura 4.21 se muestran los resultados de fisuración para las mezclas con 0.5%, 0.9%, 1.3% y 1.7% de aditivo Plastiment TM 31 correspondiente a un diseño de mezcla con relación agua/cemento de 0.52. La gráfica relaciona el espesor de fisura (mm) en el eje “x” versus el área de fisuración correspondiente en el eje “y”, donde las barras de color azul pertenecen a la muestra patrón (concreto sin aditivo) mientras que los demás resultados corresponden a los diseños de mezcla propuestos en la matriz de análisis.

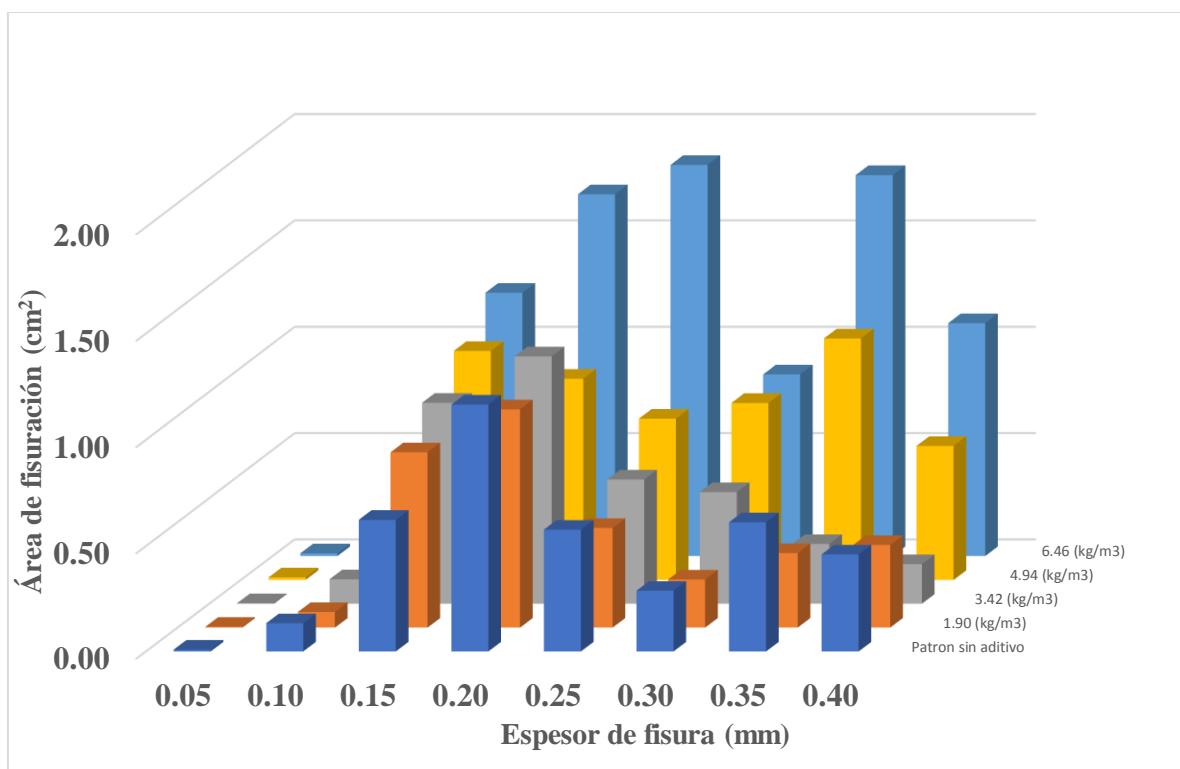


Figura 4.21 Muestra sin aditivo y muestras con diferentes porcentajes de aditivo TM 31 a/c = 0.52 (fuente: Propia)

Entretanto en las figuras 4.22 y 4.23 se grafican los resultados de fisuración para las mezclas con relación agua/cemento de 0.57 y 0.62 respectivamente, de igual manera cada gráfica presenta los valores de fisuración para las mezclas con 0.5, 0.9%, 1.3% y 1.9% de aditivo Plastiment TM 31, donde se compara los resultados del diseño de mezcla de un concreto sin y con aditivo, observando que la mezcla patrón alcanzó menor área de fisuración respecto a las dosificaciones que utilizaron más de 0.9% de aditivo plastificante, se destaca además que la mayor longitud de fisura tiene entre 0.20 y 0.35 mm de espesor.

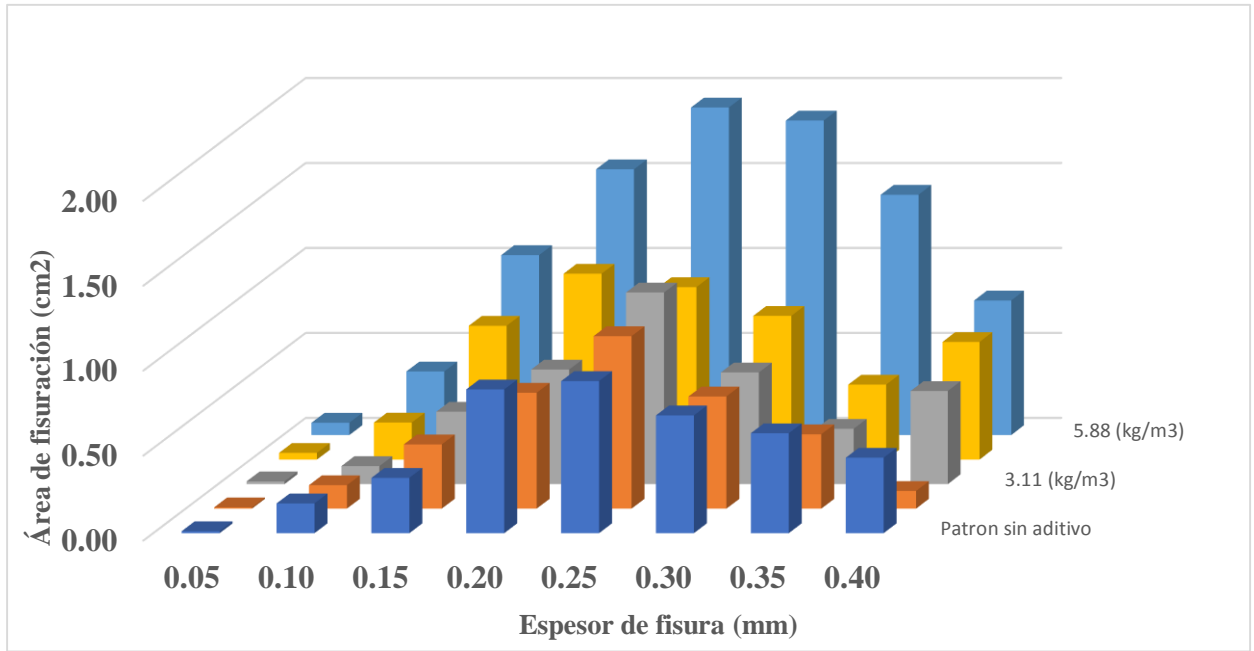


Figura 4.22 Muestra sin aditivo y muestras con diferentes porcentajes de aditivo TM 31
 $a/c = 0.57$ (fuente: Propia)

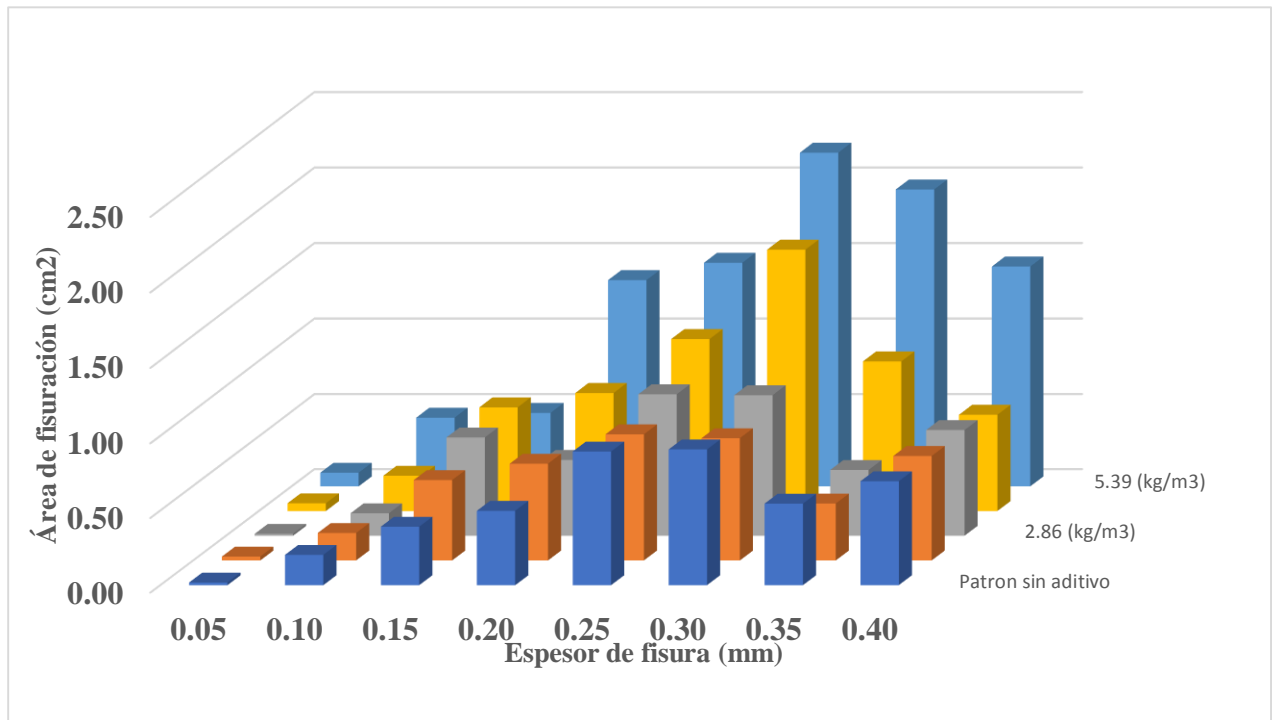


Figura 4.23 Muestra sin aditivo y muestras con diferentes porcentajes de aditivo TM 31
 $a/c = 0.62$ (fuente: Propia)

4.1.11. Ensayo de resistencia a la compresión

Además, se realizaron ensayos del concreto premezclado en su estado endurecido.

Para determinar la resistencia a la compresión se utilizó moldes metálicos de 15 cm (6”) de diámetro y 30 cm (12”) de altura de acuerdo con la norma ASTM C 39. Las muestras se prepararon en 3 capas, estas fueron compactadas uniformemente con 25 golpes utilizando una varilla estandarizada (5/8” de diámetro), posteriormente los especímenes fueron desmoldados al siguiente día y se colocaron en pozas de curado en la planta de procesamiento de la empresa Premezclados Ken, este procedimiento se ejecutó para cada diseño de mezcla definido en el programa experimental (diferentes porcentajes de aditivo y relación agua cemento).

En la **tabla 4.22** se presentan los resultados de resistencia a la compresión de los especímenes a los 7 y 14 días de curado, donde cada cuadro corresponde a los resultados de las mezclas con relación agua/cemento de 0.52, 0.57 y 0.62.

Tabla 4.22 Resistencia a la compresión del concreto premezclado Norma ASTM C 39

Aditivo TM 12 (cte. = 0.3% Peso del cemento)

	0.52		0.57		0.62	
Edad	Patrón sin aditivo	Aditivo TM 31 0.5%	Patrón sin aditivo	Aditivo TM 31 0.5%	Patrón sin aditivo	Aditivo TM 31 0.5%
Días	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
7	163.5	187.2	131.2	141.7	112.2	115.7
14	229.7	253.1	180.4	189.5	147.9	153.8
Edad	Patrón sin aditivo	Aditivo TM 31 0.9%	Patrón sin aditivo	Aditivo TM 31 0.9%	Patrón sin aditivo	Aditivo TM 31 0.9%
Días	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
7	163.5	189.6	131.2	146.4	112.2	117.3
14	229.7	255.3	180.4	196.2	147.9	156.9
Edad	Patrón sin aditivo	Aditivo TM 31 1.3%	Patrón sin aditivo	Aditivo TM 31 1.3%	Patrón sin aditivo	Aditivo TM 31 1.3%
Días	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
7	163.5	195.7	131.2	150.5	112.2	120.8
14	229.7	260.8	180.4	202.1	147.9	161.5
Edad	Patrón sin aditivo	Aditivo TM 31 1.7%	Patrón sin aditivo	Aditivo TM 31 1.7%	Patrón sin aditivo	Aditivo TM 31 1.7%
Días	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
7	163.5	196.2	131.2	151.3	112.2	120.7
14	229.7	262.4	180.4	204.6	147.9	163.5

Fuente: Propia

La resistencia a la compresión determinada refleja la carga máxima por unidad de área que poseen los testigos de concreto premezclado antes de la falla, esto se origina en la zona más débil, demostrando que este proceso genera fricción y pérdida de cohesión interna.

Se prepararon probetas para ser ensayadas a los 7 y 14 días, elaborando tres probetas para cada tiempo de curado. Obteniendo para 9 diseños de mezcla un total de 54 especímenes, siendo la relación agua cemento de 0.52, 0.57 y 0.62 y diferentes porcentajes de aditivo Plastiment TM 31 (al igual que los ensayos del concreto fresco se utilizó el aditivo retardante de fragua en un porcentaje constante), el detalle de estos resultados se presentó en la tabla 4.22.

Mientras tanto en la tabla 4.23 se resumen los valores promedio de resistencia a la compresión a los 7 y 14 días de curado para el conjunto de mezclas con relación agua/cemento de 0.52, la primera columna muestra identifica el diseño de mezcla correspondiente denotando la cantidad de aditivo utilizado por metro cúbico de concreto equivalente a los porcentajes mostrados en la matriz de diseño (0.5%, 0.9%, 1.3% y 1.9%).

Tabla 4.23 Resultados de compresión del concreto premezclado (**Fuente: Propia**)
a/c = 0.52

Compresión	7 Dias	14 Dias
Item	kg/cm ²	kg/cm ²
Patrón sin aditivo	163.5	229.7
Aditivo TM 31 1.90 (kg/m ³)	187.2	253.1
Aditivo TM 31 3.42 (kg/m ³)	189.6	255.3
Aditivo TM 31 4.94 (kg/m ³)	195.7	260.8
Aditivo TM 31 6.46 (kg/m ³)	196.2	262.4

Por otro lado, en la figura 4.24 se grafican los valores de resistencia a la compresión para cada porcentaje de aditivo utilizado, en este caso correspondiente al conjunto de mezclas con relación agua/cemento de 0.52. La línea color azul corresponde a la mezcla patrón sin contenido de aditivos que alcanzó una resistencia a la compresión de 163.5 kg/cm² y 229.7 kg/cm² a los 7 y 14 días respectivamente, mientras tanto las mezclas con contenido de aditivos obtuvieron valores de resistencia similares y ligeramente superiores la muestra

patrón siendo la máxima resistencia de 196.2 kg/cm² y 262.4 kg/cm² a los 7 y 14 días correspondiente a la muestra a₁₄.

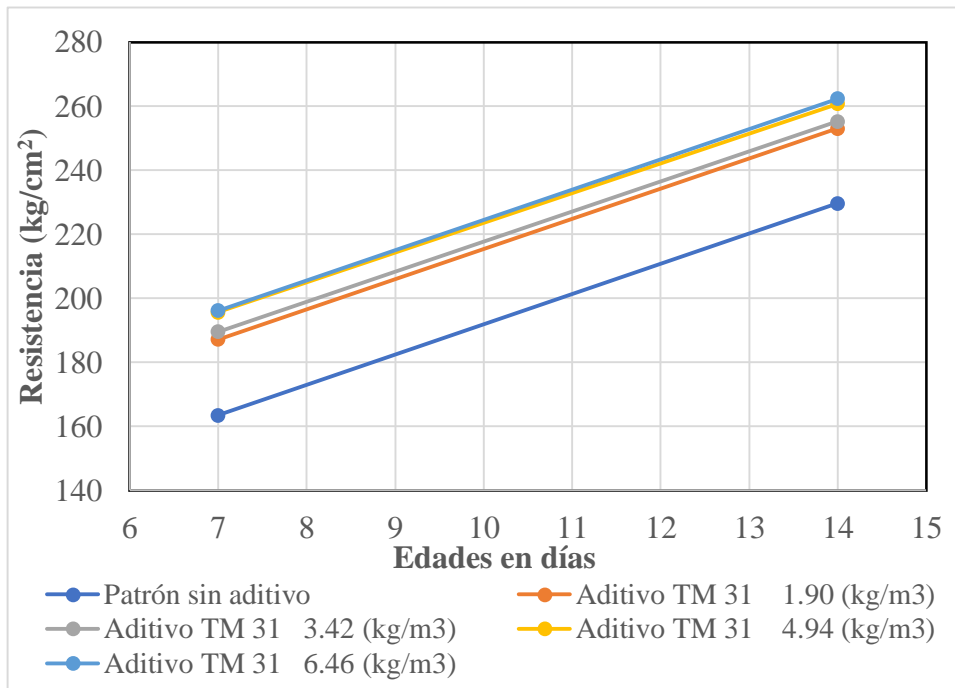


Figura 4.24 Resistencia a la compresión versus días de curado a/c= 0.52 (Fuente: Propia)

De igual forma en la tabla 4.24 se resumen los valores de resistencia a la compresión a los 7 y 14 días de curado del conjunto de mezclas con relación agua/cemento de 0.57, observando que en este caso la muestra patrón alcanzo una resistencia promedio de 131.2 kg/cm² y 180.4 kg/cm² a los 7 y 14 días respectivamente. En todos los casos las muestras superaron el porcentaje mínimo de resistencia estimada a los 28 días.

Tabla 4.24 Resultados de compresión del concreto premezclado (Fuente: Propia)
a/c = 0.57

Compresión	7	14
Item	kg/cm ²	kg/cm ²
Patrón sin aditivo	131.2	180.4
Aditivo TM 31 1.73 (kg/m ³)	141.7	189.5
Aditivo TM 31 3.11 (kg/m ³)	146.4	196.2
Aditivo TM 31 4.50 (kg/m ³)	150.5	202.1
Aditivo TM 31 5.88 (kg/m ³)	151.3	204.6

Por otro parte, en la figura 4.25 se grafican los valores de resistencia a la compresión para cada porcentaje de aditivo utilizado, en este caso correspondiente al conjunto de mezclas con relación agua/cemento de 0.57. La línea color azul corresponde a la mezcla patrón sin contenido de aditivos, mientras tanto las mezclas con contenido de aditivos se ilustran en las demás líneas, las que obtuvieron valores de resistencia similares y ligeramente superiores a la muestra patrón siendo la máxima resistencia de 151.3 kg/cm² y 204.6 kg/cm² a los 7 y 14 días correspondiente a la muestra a₂₄.

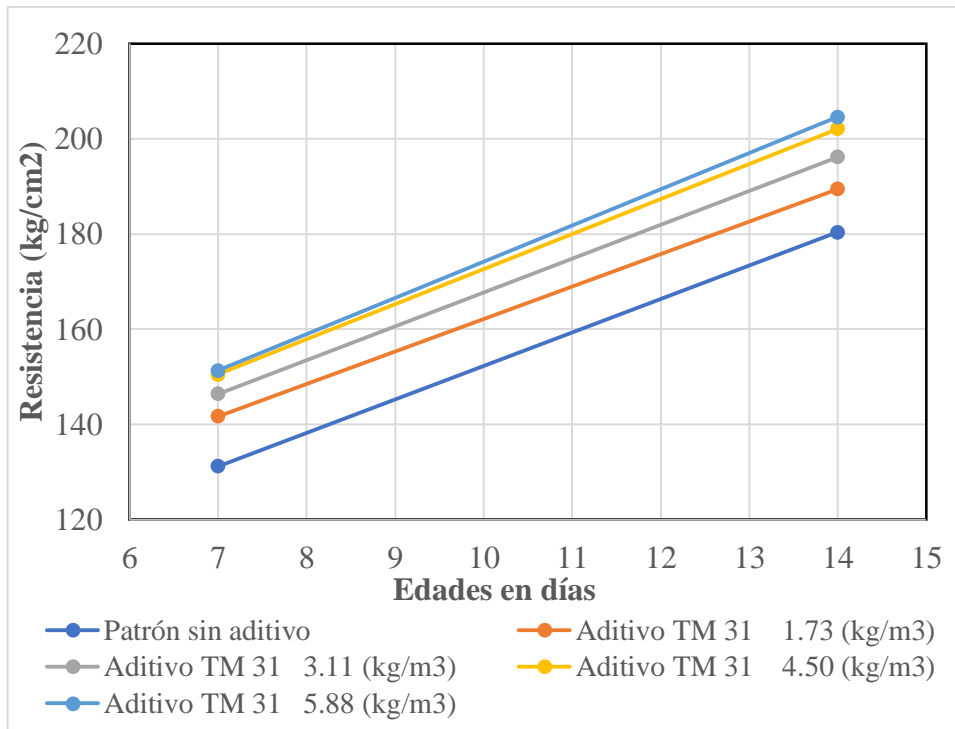


Figura 4.25 Resistencia a la compresión versus días de curado $a/c = 0.57$ (Fuente: Propia)

Igualmente, en la tabla 4.25 se resumen los valores de resistencia a la compresión a los 7 y 14 días de curado del conjunto de mezclas con relación agua/cemento de 0.62, observando que en este caso la muestra patrón alcanzó una resistencia promedio de 112.2 kg/cm² y 147.9 kg/cm² a los 7 y 14 días respectivamente. En todos los casos las muestras también superaron el porcentaje mínimo de resistencia estimada a los 28 días.

Tabla 4.25 Resultados de compresión del concreto premezclado (Fuente: Propia)
 $a/c = 0.62$

Compresión	7	14
Item	kg/cm ²	kg/cm ²
Patrón sin aditivo	112.2	147.9

Aditivo TM 31 1.59 (kg/m ³)	115.7	153.8
Aditivo TM 31 2.86 (kg/m ³)	117.3	156.9
Aditivo TM 31 4.12 (kg/m ³)	120.8	161.5
Aditivo TM 31 5.39 (kg/m ³)	120.7	163.5

Por último, en la figura 4.26 se grafican los valores de resistencia a la compresión para cada porcentaje de aditivo utilizado, en este caso correspondiente al conjunto de mezclas con relación agua/cemento de 0.62. De igual modo la línea color azul corresponde a la mezcla patrón sin contenido de aditivos, mientras tanto las mezclas con contenido de aditivos se ilustran la demás línea las que obtuvieron valores de resistencia similares y ligeramente superiores la muestra patrón siendo la máxima resistencia de 120.7 kg/cm² y 163.5 kg/cm² a los 7 y 14 días correspondiente a la muestra a₃₄.

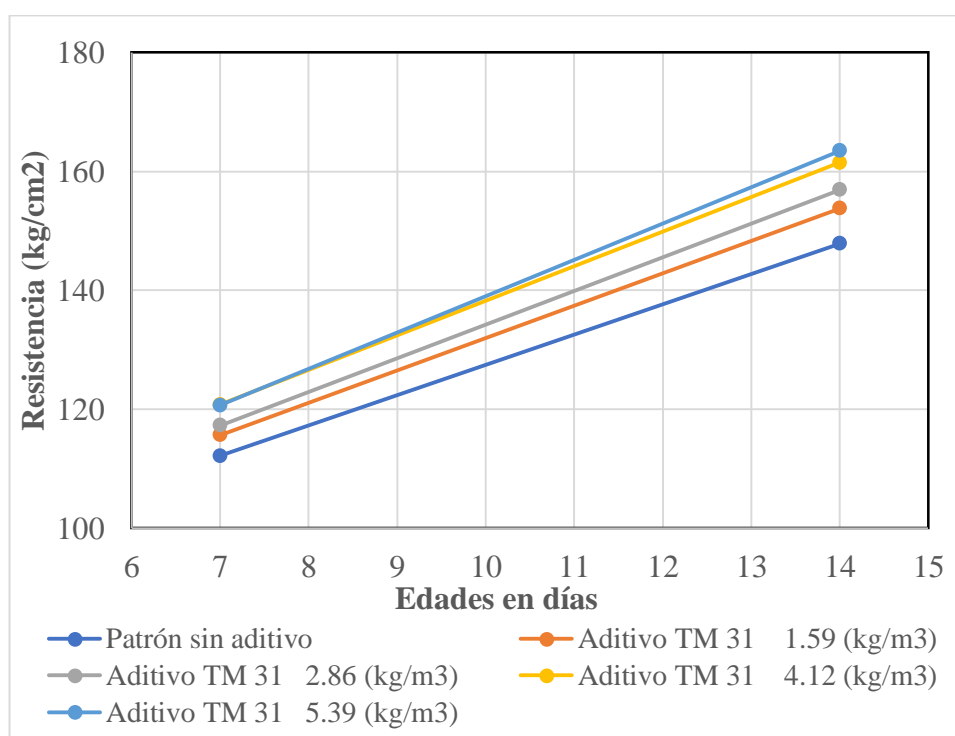


Figura 4.26 Resistencia a la compresión versus días de curado (a/c=0.62) **Fuente: Propia**

4.2. Contrastación y Prueba de la Hipótesis

Los resultados estadísticos corresponden a los valores del análisis de varianza (ANAVA) que permite determinar si las medidas de cada nivel o tratamiento (diferentes porcentajes de

aditivo superplastificante TM 31 y relación agua cemento) son estadísticamente diferentes. Para su aplicación se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

4.2.1. Hipótesis alternativa (H_1)

- Ensayo de peso unitario del concreto premezclado

A medida que aumenta el porcentaje de aditivo superplastificante Plastiment TM 31, disminuirá el peso unitario de la mezcla.

- Ensayo de contenido de aire

A medida que aumenta el porcentaje de aditivo superplastificante Plastiment TM 31, aumentará el contenido de aire.

- Ensayo de cono de Abrams

A medida que aumenta el porcentaje de aditivo Plastiment TM 31, aumenta el asentamiento del concreto premezclado.

- Ensayo de fisuración

A medida que aumenta el porcentaje de aditivo Plastiment TM 31, aumentará la fisuración durante el fraguado del concreto premezclado.

- Ensayo de resistencia a la compresión

A medida que aumenta el porcentaje de aditivo Plastiment TM, 31 aumentará la resistencia a la compresión.

4.2.2. Hipótesis nula (H_0)

- Ensayo de peso unitario del concreto premezclado

A medida que aumenta el porcentaje de aditivo superplastificante Plastiment TM 31, no disminuirá el peso unitario de la mezcla.

- Ensayo de contenido de aire

A medida que aumenta el porcentaje de aditivo superplastificante Plastiment TM 31, no aumentará el contenido de aire.

- **Ensayo de cono de Abrams**

A medida que aumenta el porcentaje de aditivo Plastiment TM 31, no aumenta el asentamiento del concreto premezclado.

- **Ensayo de fisuración**

A medida que aumenta el porcentaje de aditivo Plastiment TM 31, no aumentará la fisuración durante el fraguado del concreto premezclado.

- **Ensayo de resistencia a la compresión**

A medida que aumenta el porcentaje de aditivo Plastiment TM 31, no aumentará la resistencia a la compresión.

4.2.3. Nivel de significancia

En ingeniería se trabaja con un 95% de confianza ($\alpha = 0.05$)

4.2.4. Criterio de rechazo

Se rechaza la hipótesis nula (H_0) si $F_0 > F_{\alpha, v_1, v_2}$ donde:

- F_0 se obtiene experimentalmente
- F_{α, v_1, v_2} se obtiene por defecto (Puntos porcentuales de la distribución $F_{0.05, v_1, v_2}$)
- $V_1 = a-1$ y $V_2 = ab(n-1)$; “a y b” son el número de niveles, “n” es el número de repeticiones.

4.2.5. Resultado de análisis ANAVA

En la siguiente tabla se resumen los valores estadísticos presentados en los apéndices posteriores, en la primera columna se registran las variables respuesta de la presente investigación, luego se muestra los valores teóricos de “ F_0 ” según el análisis estadístico para los niveles de estudio, mientras que en la última columna se colocan los valores correspondientes “ F_{α} ” teórico.

Los valores presentados en las tablas 4.26, 4.27 y 4.28 corresponden al análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo para los ensayos de peso unitario, contenido de aire y asentamiento, en la primera columna de cada tabla se muestran las variables de estudio, mientras que en los demás recuadros se resumen los valores estadísticos donde resaltan los resultados del F_o y F_a .

Tabla 4.26 Análisis de varianza ensayo de peso unitario (Fuente: Propia)

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F_o</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F_a</i>
a/c	1364.24	2	682.12	236.25	0.00	3.40
% Aditivo	537.79	3	179.26	62.09	0.00	3.01
Interacción	16.49	6	2.75	0.95	0.48	2.51
Dentro del grupo	69.30	24	2.89			
Total	1987.82	35				

Tabla 4.27 Análisis de varianza ensayo de contenido de aire (Fuente: Propia)

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F_o</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F_a</i>
a/c	0.1801	2	0.090	140.312	5.720E-14	3.403
% Aditivo	0.0381	3	0.013	19.791	1.118E-06	3.009
Interacción	0.0121	6	0.002	3.146	2.026E-02	2.508
Dentro del grupo	0.0154	24	0.001			
Total	0.2457	35				

Tabla 4.28 Análisis de varianza ensayo de cono de Abrams (Fuente: Propia)

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F_o</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F_a</i>
a/c	1.901	2	0.951	92.921	5.010E-12	3.403
% Aditivo	13.787	3	4.596	449.200	3.292E-21	3.009
Interacción	0.712	6	0.119	11.602	4.278E-06	2.508
Dentro del grupo	0.246	24	0.010			
Total	16.646	35				

De igual forma, en las tablas 4.29 y 4.30 se muestran los resultados del análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo para los ensayos de fisuración y resistencia a la compresión respectivamente, en la primera columna de cada tabla se muestran las variables de estudio, mientras que en los demás recuadros se resumen los valores estadísticos de la sumatoria de cuadrados, grados de libertad, F_o y F_α . Los resultados obtenidos permitieron aceptar la hipótesis alternativa propuesta en el ítem anterior.

Tabla 4.29 Análisis de varianza ensayo de fisuración (**Fuente: Propia**)

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F_o</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F_α</i>
a/c	6.192	2	3.096	4846.004	5.160E-32	3.403
% Aditivo	511.872	3	170.624	267063.612	2.103E-54	3.009
Interacción	4.613	6	0.769	1203.372	1.581E-28	2.508
Dentro del grupo	0.015	24	0.001			
Total	522.692	35				

Tabla 4.30 Análisis de varianza ensayo de resistencia a la compresión (**Fuente: Propia**)

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F_o</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F_α</i>
a/c	59627.085	2	29813.543	18305.491	6.249E-39	3.403
% Aditivo	718.1875222	3	239.396	146.989	1.406E-15	3.009
Interacción	38.39917778	6	6.400	3.930	7.086E-03	2.508
Dentro del grupo	39.088	24	1.629			
Total	60422.7597	35				

Finalmente, en la tabla 4.31 se resumen los valores de F_o y F_α correspondientes al análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo para los ensayos de peso unitario, contenido de aire, asentamiento, fisuración y resistencia a la compresión de la presente investigación. En la primera columna se muestran las variables respuesta evaluadas, mientras que en los demás recuadros se indican los valores estadísticos para contratar la hipótesis propuesta, en todos los casos el F_o es mayor al F_α , por lo que se acepta la hipótesis

alternativa y se rechaza la hipótesis nula para las variables de análisis de contenido de aditivo y relación agua/cemento.

Tabla 4.31 Resumen de análisis de varianza para “ F_0 ” experimental y “ F_α ” teórico
(Fuente: Propia)

Variable	(Experimental)	F_0	F_α
Peso unitario	F_A	236.25	3.40
	F_B	62.09	3.01
	F_{AXB}	0.95	2.51
Contenido de aire	F_A	140.312	3.403
	F_B	19.791	3.009
	F_{AXB}	3.146	2.508
Cono de Abrams	F_A	92.921	3.403
	F_B	449.200	3.009
	F_{AXB}	11.602	2.508
Fisuración	F_A	4846.004	3.403
	F_B	267063.612	3.009
	F_{AXB}	1203.372	2.508
Resistencia a la compresión	F_A	18305.491	3.403
	F_B	146.989	3.009
	F_{AXB}	3.930	2.508

CAPÍTULO 5.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Del agregado fino

El agregado fino utilizado fue proveniente de la cantera el milagro de la ciudad de Trujillo que es una combinación de arena natural y arena manufacturada, según el análisis granulométrico se trata de un material libre de polvo y partículas blandas. Los resultados presentados demuestran que la arena cumple con los requisitos por tener una granulometría uniforme y continúa ubicándose dentro de los límites sugeridos por la norma ASTM C 33-84, tal y como lo muestra la figura 4.1 del capítulo anterior.

Además, destacamos que el porcentaje retenido en dos mallas sucesivas es menor al 45% con lo cual el diseño de mezcla elaborado resultara apropiado, ya que se utilizó cantidades de cemento menores a 255 kg por metro cúbico de concreto, por su parte el módulo de finura se encuentra en el rango de 2.3 a 3.1 (M.F. = 2.68) con lo cual logramos que la mezcla sea más trabajable y requiera un contenido de agua razonable, además el contenido de humedad se equipara con el porcentaje de absorción que presenta.

Según la proporción relativa de partículas más del 96% es arena por lo que efectivamente el agregado fino no presentó consistencia plástica al combinarse con el agua de la mezcla, conformando así una estructura simple. Siendo el porcentaje que pasa la malla N° 200 del 3.23% cuyo valor es menor al límite establecido por la NTP 400.011 (material más fino que la malla N° 200 < 5%)

5.2. Del agregado grueso

El agregado grueso utilizado cumplió con los límites establecidos por la norma ASTM C 33, correspondiente al huso N° 67, cuyas propiedades físicas presentadas favorecieron el comportamiento del agregado en el concreto premezclado. En cuanto a la granulometría, el tamaño máximo nominal del agregado fue de 3/4" lo que permitió utilizar alrededor de 380 kg de cemento por metro cúbico de concreto para lograr asentamientos cercanos a 7.5 cm, logrando diseñar de esta manera una mezcla económica en el mercado local, cumpliendo además los requisitos máximos de tamaño según la norma ASTM 467 correspondiente a la geometría del encofrado y el refuerzo

del acero en la armadura de la estructura, el cual prescribe un tamaño máximo menor a 1/3 del peralte de la losa (T.M.N. < 2.5”).

5.3. Del tipo de cemento

El cemento utilizado en la planta de procesamiento de concreto premezclado de la empresa Ken SAC corresponde al tipo I portland ASTM C-150, el cual es trasladado y almacenado en silos que cumplen los requisitos de calidad, evitando alterar la composición química original del cemento. En la tabla 4.3 del capítulo anterior se muestra las características del cemento determinadas en el laboratorio, los ensayos realizados corroboran la reacción de hidratación que desarrollará el cemento durante su proceso de fraguado siendo el lapso inicial durante las 2 primeras horas el cual libera un calor de hidratación superior a 50 calorías por gramo de cemento.

Por otro lado, los porcentajes de óxido de calcio, alúmina y sílice del cemento utilizado cumplen con los límites recomendados por Bogue para la formación de los silicatos y aluminatos que darán lugar al endurecimiento y ganancia de resistencia del concreto premezclado.

5.4. Del Contenido de aditivos

Los aditivos utilizados en la dosificación de las mezclas fueron: aditivo retardante PLASTIMENT TM 12 y aditivo súperplastificante PLASTIMENT TM 31 que son usados convencionalmente en el concreto premezclado para transportarlo a mayores distancias y facilitar los vaciados en encofrados difíciles proporcionando mayor trabajabilidad de la mezcla, sin embargo la dosis de consumo no está bien definida en las fichas técnicas puesto que su uso depende de las características particulares del agregado y el cemento de la zona. En esta investigación se realizaron pruebas para optimizar la dosificación de aditivo respecto a la fisuración del concreto premezclado en estructuras con gran superficie horizontal como losas y pisos.

5.5. Del diseño de mezcla

EL diseño de mezcla original o patrón fue proporcionado en el laboratorio de la empresa Premezclados Ken, sin embargo, se hicieron reajustes en el porcentaje de los agregados teniendo en cuenta los análisis físicos recientes de la cantera, también se reajustó

ligeramente el contenido de agua según el porcentaje de humedad y absorción de los agregados utilizados (para un Slump de 5”). El resultado de resistencia a la compresión con diferentes porcentajes de agregado refleja que las muestras con 57.5% de agregado grueso alcanza mayores valores, siendo la resistencia promedio a los 7 días de 164.6 kg/cm² demostrando que el contenido de agregado fino o grueso en exceso disminuye la compactación de la mezcla ocasionando menor resistencia.

Posteriormente se definió el contenido de agua teniendo en cuenta las características de los materiales a utilizar durante el proceso de investigación (procedencia de los agregados, tipo de cemento y categoría de aditivos). Según el slump de diseño en la 4.3 se estableció que para un asentamiento de 5” se utilizará 207 litros de agua por metro cubico de concreto, cumpliendo con los parámetros de la norma ASTM C143.

En cuanto al porcentaje de los aditivos se partió del diseño de mezcla utilizado en un concreto premezclado, donde se añade el 1.3% de aditivo plastificante (reductor de agua) y 0.3% de aditivo retardante de fragua (para el traslado a largas distancias del concreto desde la planta de procesamiento), además según la ficha técnica que indica los rangos de dosificación se resolvió utilizar porcentajes de 0.5%, 0.9%, 1.3% y 1.7% para el aditivo plastificante y por otro lado mantener constante la cantidad del aditivo retardante de fragua. De igual forma se utilizó diferente relación agua/cemento (0.52, 0.57 y 0.62) que corresponde a distintas resistencias de diseño, donde una $r: a/c = 0.57$ es utilizado como concreto premezclado $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en la empresa Premezclado Ken (en los anexos se adjunta dicha dosificación que es utilizada para el vaciado de losas aligeradas); con estas condiciones se evaluó, si el contenido en exceso de aditivos o cemento provocan la fisuración plástica del concreto premezclado.

5.6. Del peso unitario del concreto premezclado

Para este ensayo se muestran dos gráficas (figura 4.4 y 4.5) donde se relaciona el contenido de aditivo vs el peso unitario de las mezclas a diferente relación agua/cemento. La curva color rojo corresponde a la dosificación con $r: a/c = 0.52$, evidenciando que el peso unitario para esta dosificación disminuye con el contenido de aditivo, reduciendo hasta en 10 kg/m³ con el mayor porcentaje de aditivo (1.7% en peso del cemento) donde la tendencia va en aumento; por otro lado, para mayor relación

agua/cemento se disminuye el peso unitario ligeramente y la tendencia decreciente a constante.

5.7. Del ensayo de cono de Abrams

El ensayo de cono de Abrams se realizó según la norma ASTM C 143, determinando que el asentamiento aumenta con el contenido de aditivo de manera creciente y en aumento, además observamos en la figura 4.7 que porcentajes mayores a 1.7% de aditivo Plastiment TM 31 afectaran considerablemente la calidad del concreto pues se alcanzan asentamientos superiores a 6 ½” cuyo rango genera segregación y pérdida en la resistencia de diseño según la norma en mención. Mientras que para porcentajes menores a 1.3% en el contenido de aditivo, se alcanza asentamientos cercanos a 5” cuyo valor representa un rango óptimo para el vaciado de concreto en losas y pisos según el reglamento nacional de edificaciones.

5.8. Del ensayo de fisuración

Se evaluó la fisuración del concreto premezclado utilizando moldes tipo anillo y de panel rectangular según las normas ACI 544.2R y ASTM C 1579 respectivamente. La matriz de diseño experimental que resume la dosificación de aditivo y relación agua/cemento se muestra en la tabla 3.2 y 3.3.

El primer grupo de resultados corresponde a los especímenes tipo anillo, donde cada tabla representa los resultados de fisuración de las mezclas con relación a/c de 0.52, 0.57 y 0.62, particularmente para una dosificación de mezcla con r: a/c = 0.52 podemos apreciar en la tabla 4.16 el área de fisuración en cm² para espesores de fisura de 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5 mm y diferentes porcentajes de aditivo Plastiment TM31 (0.5, 0.9, 1.3 y 1.7 %). Los valores reflejan el índice de fisura para dosificaciones de mezcla sin aditivo (muestra patrón) y con aditivo, podemos notar para este caso que la muestra sin aditivo alcanzó un área promedio de fisuración de 3.21 cm² mientras que la mezcla con mínimo porcentaje de aditivo obtuvo 2.34 cm², en ambos casos cumplen con las condiciones de resistencia, asentamiento y contenido de aire. Sin embargo, a medida que se incrementa el porcentaje de aditivo también crece el área de fisuración, evidenciando en cada gráfico que la tendencia es creciente y en aumento. Para la muestra

con mayor porcentaje de aditivo se alcanzó un índice de fisura que aproximadamente cuadruplica el valor alcanzado por la muestra patrón sin aditivo.

Por otro lado, de la tabla 4.17 y 4.18 que muestran los valores de fisuración para dosificaciones con relación agua/cemento de 0.57 y 0.62 observamos que el máximo índice de fisura es de 12.56 cm² cuyo valor más grande es semejante a las demás dosificaciones, demostrando que un exceso de aditivo (mayor a 0.9%) supera el área de fisuración original. Además, los resultados evidencian que el área de fisuración aumenta en mayor medida con el porcentaje de aditivo y no con el contenido de cemento (representado por la relación agua/cemento), para cada caso la longitud de fisura tiene una tendencia creciente con un pico máximo para el rango de dosificaciones evaluadas. La explicación se debe a que un exceso de aditivo genera segregación, en la práctica este fenómeno es recién perceptible cuando se altera el Slump de la mezcla (con dosificaciones de aditivo mayores al 2%), sin embargo los resultados de esta investigación muestran que al superar contenidos de aditivo de 0.9% y 1.3% se incrementa el área de fisuración en el concreto premezclado de forma gradual, esto afectaría la vulnerabilidad al intemperismo y ambientes agresivos en mayor medida, de las estructuras con gran área horizontal como losas y pavimentos.

Por otro lado, para el grupo de muestras tipo panel observamos que el fenómeno de fisuración es semejante, donde la fisuración para la mezcla patrón (sin aditivo) y con relación a/c de 0.52 es en promedio de 3.87 cm². En este las dosificaciones de concreto premezclado con hasta 1.3% de aditivo no exceden de manera diferenciada el área de fisuración de un concreto base, de igual forma cada dosificación cumplió con las condiciones de asentamiento, resistencia y contenido de aire. El mayor índice de fisura fue de 9.54 cm² para la dosificación con 1.7% de aditivo y menor contenido de cemento (relación a/c de 0.62), exhibiendo que porcentajes de aditivo mayores a 1.3% en el concreto premezclado ya sea con f'c de 175, 210 o 280 kg/cm² generan un área de fisuración que duplica los rangos recomendados en la norma ASTM C 1579.

5.9. Del ensayo de resistencia

Los resultados de resistencia a la compresión del conjunto de dosificaciones diseñadas en el plan experimental se adjuntan en la tabla 4.22, en todos los casos la resistencia alcanzada tanto a los 7 y 14 días de curado superan los valores exigidos en la norma

ASTM C 39, desde otro punto de vista observamos en las figuras 4.24, 4.25 y 4.26 que la resistencia del concreto premezclado es ligeramente superior a la de un dosificación de mezcla sin aditivos, además se concluye que la resistencia a la compresión del concreto aumenta en mayor medida con el contenido de cemento resultando que las mezclas con mayor porcentaje de aditivo alcanzan valores de resistencia que también cumplen con las condiciones de diseño.

Finalmente, argumentamos que efectivamente el contenido de aditivos mejora la trabajabilidad y fraguado de las mezclas, además las dosificaciones para el concreto premezclado utilizadas en la zona cumplen con los requisitos de diseño (resistencia, asentamiento y contenido de aire), sin embargo un exceso en el contenido de aditivos plastificantes (mayor al 1.3%) no solo altera las propiedades del concreto premezclado antes mencionadas, sino que además según los resultado de fisuración se advierte que porcentajes superiores a 0.9% o 1.3% (conforme al contenido de cemento) afectaran la durabilidad de la estructura pues los valores alcanzados indican que la fisuración se cuadruplica respecto a una dosificación de mezcla convencional sin aditivos.

5.10. Análisis de la prueba de hipótesis

En la tabla 4.31 se resumen los parámetros estadísticos que resultaron del análisis de varianza de los resultados alcanzado tanto del ensayo de peso unitario, contenido de aire, cono de Abrams, fisuración y resistencia a la compresión.

En todos los casos se revela que el “ F_0 ” experimental tanto para el nivel “A”, “B” como para la interacción de ambos niveles “AB” es mayor que el F_α (donde, F_A : relación agua/cemento y F_B : porcentaje de aditivos). Resultando lo siguiente: tanto para el ensayo de peso unitario, contenido de aire y resistencia a compresión, la cantidad de cemento influye en mayor medida que el porcentaje de aditivo mientras que para los ensayos de asentamiento y fisuración el porcentaje de aditivos incide principalmente en los resultados alcanzados; se rechaza en todos los casos la hipótesis nula.

CONCLUSIONES

- Al usar el aditivo tipo B (retardante de fragua) más el aditivo superplastificante Plastiment TM 31 en el diseño encontramos que un exceso de estos puede provocar las fisuras por contracción plástica, sin embargo, en dosificaciones controladas el aditivo ayuda a mantener una película de agua en la superficie de tal manera que ayudan a que el agua que sale del concreto por capilaridad no produzcan tensiones que puedan causar las fisuras.
- Se puede reducir las fisuras por contracción plástica de manera eficaz añadiendo solamente hasta un 0.9% de aditivo superplastificante tanto para dosificaciones con relación agua cemento de 0.52, 0.57 y 0,62.
- Existe una relación directa entre el contenido de aire y la cantidad de aditivo superplastificante que se añade: Al aumentar la dosificación de aditivo el contenido de aire aumenta.
- El peso unitario disminuye ligeramente al añadirle aditivo Plastiment TM 31 recuperándose al disminuir la relación agua cemento.
- Al aumentar la dosificación de aditivo Plastiment TM 31 el asentamiento obtenido es mayor, independientemente de la relación agua – cemento hasta un límite de 0.57. Los resultados indican efectivamente que los aditivos del concreto premezclado actúan controlando la trabajabilidad.
- A mayor relación agua – cemento el slump inicial es mayor, sin embargo, según las condiciones ambientales puede perderse rápidamente. Por ello el periodo de trabajabilidad es mayor si usamos el aditivo tipo B Plastiment TM 12, ya que el agua tiende a evaporarse o a perderse, caso contrario este aditivo controla exclusivamente la trabajabilidad.
- Utilizando mayor cantidad de aditivo, según los ensayos de resistencia a la compresión a 7 y 14 días, es factible reducir la cantidad de cemento en el diseño.
- El usar aditivo Plastiment TM 12 y TM 31 en dosificaciones controladas no influye en la aparición de las fisuras causadas por la contracción plástica, por el contrario, pueden aumentar el ancho de estas a más de 0,05mm, las cuales son imperceptibles a simple vista.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda ampliar la investigación utilizando dosificaciones con diferentes tipos de cemento, mediante la utilización de concreto premezclado distribuido por otras empresas, las cuales también son parte del problema de esta investigación.
- Para mejorar el análisis de resultados respecto a la fisuración en moldes tipo anillo y panel se recomienda realizar la recolección de datos en tiempos de curados mayores a las 24 horas.
- Estudiar el comportamiento a la fisuración del concreto premezclado utilizando diferentes porcentajes de aditivo retardante de fragua, de esta forma se podría recomendar una dosificación óptima que cumpla tanto con los requerimientos de resistencia, como de durabilidad (mínimo porcentaje de fisuración).
- Implementar metodologías de calidad en las empresas que distribuyen el concreto premezclado, que controlen las dosificaciones de aditivo mediante ensayos de fisuración en mezclas utilizadas en estructuras con gran superficie horizontal como losas, pisos, cúpulas, etc.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM C1579, A. (2012). *Standard Test Method for Evaluating Plastic Shrinkage Cracking of Restrained Fiber Reinforced Concrete*. UNITED STATES: ASTM INTERNATIONAL.
- Aymar, P. A. (2007). *Verificación de la dosificación de fibras sintéticas para neutralizar las fisuras causadas por contracción plástica en el concreto*. Lima, Perú: Universidad Ricardo Palma .
- Concrete society, n. 2. (1992). Non-structural cracks in concrete. *Concrete Society technical report*, 48.
- CONSTRUCCIÓN, I. Y. (2 de 12 de 2018). *CIVIL G*. Obtenido de CIVIL G: <https://civilg.com/2011/12/09/el-concreto-premezclado/>
- CORRAL, J. T. (2004). Patología de la construcción, Grietas y fisuras en obras de hormigón. *Ciencia y Sociedad*, 72-114.
- Cristelo N, Glendinning S., Fernandes L. y Teixeira P. (2013). Effects of alkaline-activated fly ash and Portland cement on soft soil stabilization. *Acta Geotechnica*, 8, 395-405. doi:10.1007/s11440-012-0200-9
- ESPITIA, J. S. (2015). *BIO PRECIPITACIÓN DE CARBONATO DE CALCIO: UNA ALTERNATIVA PARA LA REPARACIÓN DE FISURAS EN CONCRETO*. Bogota D.C.: UNIVERSIDAD DE LOS ANDES.
- Frederik, L. (2004). *Chemistry of Cement and Concrete*. London: Eward Arnold Publishers.
- GRI, G. G. (2016). Reporte de sostenibilidad 2016. *CEMENTOS P A CASMA YO REPORTE DE SOSTENIBILIDAD 2016*, 95.
- Instituto del cemento y el concreto, A. (2016). FISURACIÓN DEL CONCRETO. *IMCYC*, 21.
- Instituto Mexicano del cemento y del concreto. (2017). Agrietamiento en el concreto. *IMCYC*, 78.

- Lövgren, O. E. (2005). Cracking due to plastic and autogenous shrinkage - Investigation of early age deformation of self-compacting concrete - Experimental study. *Department of Building Technology, Building Materials, Chalmers University of Technology.*
- Manufacturers, A. c. (02 de 12 de 2018). *PCA SINCE 1916*. Obtenido de PCA SINCE 1916: <https://www.cement.org/cement-concrete-applications/concrete-materials/cement-types>
- Moreno, D. F. (2009). INFLUENCIA DE LOS CICLOS HIELO-DESHIELO EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO (CASO TUNJA). *Universidad de Medellín*, 12.
- MTC. (2013). Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. *Ministerio de Transportes y Comunicaciones*, Lima.
- Nagataki. (2013). *Drying Shrinkage and Creep of High*. Ames, Iowa: Report ACI committee 517.
- Neville, A. M. (2011). *Properties of concrete*. England: Pearson.
- Nicolás González, J. C. (2014). Influencia del volumen de fibras y curado posterior sobre el comportamiento post - fisura de un concreto de ultra alto desempeño. *Revista ingeniería de construcción*, 10.
- Oré, K. R. (2016). *Aplicación del concreto autocompactante con aditivo incorporador de aire para el estudio de fisuras en losas de concreto armado*. Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo: Universidad Nacional del Centro.
- OSPINA, J. C. (2015). *CONTROL DE COLOCACIÓN DE CONCRETO EN OBRA*. MEDELLÍN, COLOMBIA: UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN.
- PACASMAYO. (23 de 01 de 2018). *PACASMAYO*. Obtenido de PACASMAYO: <http://www.cementospacasmayo.com.pe/productos-y-servicios/concreto-premezclado/>
- Pasquel, E. (2015). Tecnología del concreto. En E. Pasquel, *Cambios Volumétricos en el concreto, fisuración, causas y control* (págs. 75-101). Lima: ACI Capítulo Peruano.

Premezclados KEN, S. (2 de 12 de 2018). *Premezclados KEN*. Obtenido de Premezclados KEN: <https://concretoken.com/>

Rios, S.; Cristelo, N.; Viana da Fonseca, A y Ferreira, C. (2016). Structural performance of alcali-activated soil ash versus soil cement. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 28(2), 04015125-1 - 04015125-11. doi:10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001398


Shah ACI 544.2, S. P. (1999). *Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete*. United states: ACI.

SIKA, B. T. (01 de 12 de 2018). *EDIFICACIÓN Y VIVIENDA SIKA PERU*. Obtenido de EDIFICACIÓN Y VIVIENDA SIKA PERU: https://per.sika.com/content/peru/main/es/solutions_products/Sika_at_work/edificios-y-oficinas/edificacion-y-vivienda.html

APÉNDICE

APÉNDICE A. Características Físicas de los Agregados

Tabla A.1 Caracterización física del agregado fino

		PLANTA DE PREMEZCLADOS KEN S.A.C							
		LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD							
		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO DE AGREGADO FINO PARA CONCRETO ASTM C136 / C33 / NTP 400.012 / NTP 400.037							
MATERIAL	AGREGADO FINO					SOLICITADO POR	JOSE CASTILLO NINATANTA		
PROCEDENCIA	CANTERA EL MILAGRO					REALIZADO POR	EDIN BLAS CALDERON		
FECHA DE ENSA	05/06/2018					SUPERVISADO POR	IRVIN LLANOS.L		
APLICACIÓN	TESIS_UPAO								
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ASTM C136/33 NTP 400.012 / NTP 400.037						Peso de la muestra (g)	1200		
Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	Retenido (%)	Retenido acumulado (%)	Pasante acumulado (%)	ASTM C33 / NTP	% Pasante malla N° 200 (ASTM C117)		
							Peso de la muestra seca (g)	620	
3"	76.200						Peso de la muestra lavada seca (g)	600	
2 1/2"	63.500						Pasante malla N° 200 (%)	3.23	
2"	50.800						Contenido de humedad (ASTM C566)		
1 1/2"	38.100						Peso húmedo de la muestra (g)	630	
1"	25.400						Peso seco de la muestra (g)	620	
3/4"	19.050						Humedad (%)	1.61	
1/2"	12.700						Propiedades físicas del material		
3/8"	9.525	0.0	0.00	0.00	100.00	100 - 100	Modulo de fineza	2.68	
#4	4.750	10.0	0.83	0.83	99.17	95 - 100	Tamaño máximo TM	3/8"	
#8	2.360	80.0	6.67	7.50	92.50	80 - 100	Tamaño máximo nominal TMN	4.750	
#16	1.180	210.0	17.50	25.00	75.00	50 - 85	Gravedad específica	2.68	
#30	0.600	380	31.67	56.67	43.33	25 - 60	Análisis granulométrico		
#50	0.300	320.0	26.67	83.33	16.67	10 - 30	D60:	0.89	
#100	0.150	130.0	10.83	94.17	5.83	0 - 10	D30:	0.42	
#200	0.075	40.0	3.33	97.50	2.50	0 - 5	D10:	0.20	
FONDO		30.0	2.50	100.00	0.00		Cu:	4.45	[< 6]
TOTAL		1200.0			Mf		Cc:	0.99	[< 1]
Error(%)	<0.3%	0.00					LL: NP	LP: NP	IP: NP
Clasificación SUCS:								SP	

(Fuente: Propia)


Tabla A.2 Caracterización física del agregado grueso

		PLANTA DE PREMEZCLADOS KEN S.A.C							
		LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD							
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO DE AGREGADO GRUESO PARA CONCRETO ASTM C136 / C33 NTP400.012 / NTP400.037									
MATERIAL		AGREGADO GRUESO HUSO 67				SOLICITADO POR		JOSE CASTILLO NINATANTA	
PROCEDENCIA		CANTERA EL MILAGRO				REALIZADO POR		EDIN BLAS CALDERON	
FECHA DE ENSA		05/06/2018				SUPERVISADO POR		IRVIN LLANOS L.	
APLICACIÓN		TESIS_UPAO							
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ASTM C136/C33 NTP 400.012 / NTP 400.037							Peso de la muestra		1670
Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	Retenido (%)	Retenido acumulado (%)	Pasante acumulado (%)	ASTM C33 / NTP	% Pasante malla N° 200 (ASTM C117)		
							Peso de la muestra seca (g)	2500	
5"	127.000						Peso de la muestra lavada seca (g)		2484
4"	101.000						Pasante malla N° 200 (%)		0.640
3"	76.200						Contenido de humedad (ASTM C566)		
2 1/2"	63.500						Peso húmedo de la muestra (g)		686
2"	50.800						Peso seco de la muestra (g)		683
1 1/2"	38.100	0	0.00	0.00	100.00		Humedad (%)		0.44
1"	25.400	0.0	0.00	0.00	100.00	100 - 100	Propiedades físicas del material		
3/4"	19.050	0.0	0.00	0.00	100.00	90 - 100	Modulo de fineza		6.70
1/2"	12.700	770.0	46.11	46.11	53.89		Tamaño máximo TM		1"
3/8"	9.525	410.0	24.55	70.66	29.34	20 - 55	Tamaño máximo nominal TMN		3/4"
N°4	4.750	480.0	28.74	99.40	0.60	0 - 10	Peso específico		---
N°8	2.360	10.0	0.60	100.00	0.00	0 - 5	Peso unitario suelto		---
<N°8	FONDO	0.0	0.00	100.00	0.00		Peso unitario compactado		---
TOTAL		1670.0					Abrasión		---
OBSERVACIONES									

(Fuente: Propia)

APÉNDICE B. Diseño de mezcla del concreto premezclado

Tabla B.1 Diseño de mezcla concreto a/c = 0.52

	PLANTA DE PREMEZCLADOS KEN S.A.C TRUJILLO				
DATOS GENERALES					
Cliente	Jose Castillo Ninatanta				
Obra	Tesis UPAO				
Dirección de obra	LAS HORTENCIAS DE CALIFORNIA (EDIFICIO SAN GABRIEL)				
Estructura	LOSAS ALIGERADAS				
Fecha Emisión	19/08/2018				
CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO					
Concreto Tipo	f'c= 280 -B-H67-I-A4-6				
Cemento Tipo	"I"				
Método de colocación	BOMBA				
Concreto	POR RESISTENCIA				
DOSIFICACIÓN PARA UN METRO CÚBICO					
Materiales	Unidad	Cantidad			
Aditivo Superplastificante (Plastiment TM 31)	%	0.5	0.9	1.3	1.7
	kg/m ³	1.900	3.420	4.940	6.460
Aditivo Retardante (Plastiment TM 12)	%	0.3	0.3	0.3	0.3
	kg/m ³	1.140	1.140	1.140	1.140
Cemento Tipo "I"	kg/m ³	380	380	380	380
Agua	kg/m ³	210	209	207	205
Arena zarandeada	kg/m ³	782	782	782	782
Piedra zarandeada HUSO 67	kg/m ³	1052	1052	1052	1052
Peso unitario concreto	kg/m ³	2427.1	2427.1	2427.1	2427.1
Asentamiento	pulg.	5 1/2"	5"	5"	4 3/4"
Relación agua/cemento de diseño		0.52	0.52	0.52	0.52


(Fuente: Propia)

Tabla B.2 Diseño de mezcla concreto $a/c = 0.57$

		PLANTA DE PREMEZCLADOS KEN S.A.C TRUJILLO			
DATOS GENERALES					
Cliente	Jose Castillo Ninatanta				
Obra	Tesis UPAO				
Dirección de obra	LAS HORTENCIAS DE CALIFORNIA (EDIFICIO SAN GABRIEL)				
Estructura	LOSAS ALIGERADAS				
Fecha Emisión	19/08/2018				
CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO					
Concreto Tipo	f'c= 210 -B-H67-I-A4-6				
Cemento Tipo	"I"				
Método de colocación	BOMBA				
Concreto	POR RESISTENCIA				
DOSIFICACIÓN PARA UN METRO CÚBICO					
Materiales	Unidad	Cantidad			
Aditivo Superplastificante (Plastiment TM 31)	%	0.5	0.9	1.3	1.7
	kg/m ³	1.729	3.112	4.495	5.878
Aditivo Retardante (Plastiment TM 12)	%	0.3	0.3	0.3	0.3
	kg/m ³	1.037	1.037	1.037	1.037
Cemento Tipo "I"	kg/m ³	346	346	346	346
Agua	kg/m ³	210	208	207	206
Arena zarandeada	kg/m ³	782	782	782	782
Piedra zarandeada HUSO 67	kg/m ³	1052	1052	1052	1052
Peso unitario concreto	kg/m ³	2392.3	2392.3	2392.3	2392.3
Asentamiento	pulg.	5 1/2"	5"	5"	4 3/4"
Relación agua/cemento de diseño		0.57	0.57	0.57	0.57

(Fuente: Propia)

Tabla B.3 Diseño de mezcla concreto a/c = 0.62

		PLANTA DE PREMEZCLADOS KEN S.A.C TRUJILLO			
DATOS GENERALES					
Cliente	Jose Castillo Ninatanta				
Obra	Tesis UPAO				
Dirección de obra	LAS HORTENCIAS DE CALIFORNIA (EDIFICIO SAN GABRIEL)				
Estructura	LOSAS ALIGERADAS				
Fecha Emisión	19/08/2018				
CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO					
Concreto Tipo	f'c= 175 -B-H67-I-A4-6				
Cemento Tipo	"I"				
Método de colocación	BOMBA				
Concreto	POR RESISTENCIA				
DOSIFICACIÓN PARA UN METRO CÚBICO					
Materiales	Unidad	Cantidad			
Aditivo Superplastificante (Plastiment TM 31)	%	0.5	0.9	1.3	1.7
	kg/m ³	1.586	2.855	4.124	5.393
Aditivo Retardante (Plastiment TM 12)	%	0.3	0.3	0.3	0.3
	kg/m ³	0.952	0.952	0.952	0.952
Cemento Tipo "I"	kg/m ³	317	317	317	317
Agua	kg/m ³	210	208	207	206
Arena zarandeada	kg/m ³	782	782	782	782
Piedra zarandeada HUSO 67	kg/m ³	1052	1052	1052	1052
Peso unitario concreto	kg/m ³	2363.3	2363.3	2363.3	2363.3
Asentamiento	pulg.	5 1/2"	5"	5"	4 3/4"
Relación agua/cemento de diseño		0.62	0.62	0.62	0.62

(Fuente: Propia)

APÉNDICE C. Estadística ensayo de peso unitario

Tabla C.1 Análisis de varianza de dos factores del Peso Unitario

En la presente tabla se muestran los resultados del ensayo de peso unitario con el análisis de varianza con las cuatro adiciones de aditivo y nuestras tres relaciones a/c de diseño

Adiciones	0.5% A. TM 31	0.9% A. TM 31	1.3% A. TM 31	1.9% A. TM 31
a/c = 0.52	2430.13	2425.19	2424.87	2425.38
	2436.14	2428.16	2429.35	2422.17
	2433.06	2428.34	2426.63	2423.31
a/c = 0.57	2421.12	2419.07	2418.37	2411.48
	2425.64	2422.25	2416.55	2412.24
	2423.03	2416.69	2418.23	2413.22
a/c = 0.62	2419.25	2413.72	2410.87	2407.32
	2419.29	2413.84	2410.99	2407.28
	2419.26	2413.98	2411.04	2407.37

(fuente: Propia)

Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo

<i>a/c = 0.52</i>	0.5% A. TM 31	0.9% A. TM 31	1.3% A. TM 31	1.9% A. TM 31	Total
Cuenta	3	3	3	3	12
Suma	7299.33	7281.69	7280.85	7270.86	29132.73
Promedio	2433.11	2427.23	2426.95	2423.62	2427.7275
Varianza	9.0319	3.1293	5.0944	2.6481	16.35382045

<i>a/c = 0.57</i>	0.5% A. TM 31	0.9% A. TM 31	1.3% A. TM 31	1.9% A. TM 31	Total
Cuenta	3	3	3	3	12
Suma	7269.79	7258.01	7253.15	7236.94	29017.89
Promedio	2423.26	2419.34	2417.72	2412.31	2418.16
Varianza	5.15	7.78	1.03	0.76	19.53

<i>a/c = 0.62</i>	0.5% A. TM 31	0.9% A. TM 31	1.3% A. TM 31	1.9% A. TM 31	Total
Cuenta	3	3	3	3	12
Suma	7257.80	7241.54	7232.90	7221.97	28954.21
Promedio	2419.27	2413.85	2410.97	2407.32	2412.85
Varianza	0.00	0.02	0.01	0.00	20.80

<i>Total</i>	0.5% A. TM 31	0.9% A. TM 31	1.3% A. TM 31	1.9% A. TM 31
Cuenta	9	9	9	9
Suma	21826.92	21781.24	21766.90	21729.77
Promedio	2425.21	2420.14	2418.54	2414.42
Varianza	41.62	36.68	49.82	53.14

(fuente: Propia)

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Muestra	1364.24	2	682.12	236.25	0.00	3.40
Columnas	537.79	3	179.26	62.09	0.00	3.01
Interacción	16.49	6	2.75	0.95	0.48	2.51
Dentro del grupo	69.30	24	2.89			
Total	1987.82	35				

(fuente: Propia)

APÉNDICE D. Estadística ensayo de contenido de aire

Tabla D.1 Análisis de varianza de dos factores del contenido de aire

Adiciones	0.5% A. TM 31	0.9% A. TM 31	1.3% A. TM 31	1.9% A. TM 31
a/c = 0.52	2.41	2.43	2.38	2.43
	2.37	2.4	2.4	2.45
	2.36	2.35	2.45	2.48
a/c = 0.57	2.39	2.42	2.43	2.45
	2.41	2.43	2.45	2.49
	2.45	2.47	2.44	2.46
a/c = 0.62	2.48	2.56	2.6	2.64
	2.51	2.58	2.59	2.63
	2.46	2.57	2.63	2.62

(fuente: Propia)

Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo

<i>a/c = 0.52</i>	0.5% A. TM 31	0.9% A. TM 31	1.3% A. TM 31	1.9% A. TM 31	Total
Cuenta	3	3	3	3	12
Suma	7.14	7.18	7.23	7.36	28.91
Promedio	2.38	2.39	2.41	2.45	2.41
Varianza	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

<i>a/c = 0.57</i>	0.5% A. TM 31	0.9% A. TM 31	1.3% A. TM 31	1.9% A. TM 31	Total
Cuenta	3	3	3	3	12
Suma	7.25	7.32	7.32	7.40	29.29
Promedio	2.42	2.44	2.44	2.47	2.44
Varianza	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

<i>a/c = 0.62</i>	0.5% A. TM 31	0.9% A. TM 31	1.3% A. TM 31	1.9% A. TM 31	Total
Cuenta	3	3	3	3	12
Suma	7.45	7.71	7.82	7.89	30.87
Promedio	2.48	2.57	2.61	2.63	2.57
Varianza	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

<i>Total</i>	0.5% A. TM 31	0.9% A. TM 31	1.3% A. TM 31	1.9% A. TM 31	Total
Cuenta	9	9	9	9	
Suma	21.84	22.21	22.37	22.65	
Promedio	2.43	2.47	2.49	2.52	
Varianza	0.00	0.01	0.01	0.01	

(fuente: Propia)

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Muestra	0.1801	2	0.090	140.312	5.720E-14	3.403
Columnas	0.0381	3	0.013	19.791	1.118E-06	3.009
Interacción	0.0121	6	0.002	3.146	2.026E-02	2.508
Dentro del grupo	0.0154	24	0.001			
Total	0.2457	35				

(fuente: Propia)

APÉNDICE E. Estadística ensayo de cono de Abrams

Tabla E.1 Análisis de varianza de dos factores del cono Abrams

Adiciones	0.5% A. TM 31	0.9% A. TM 31	1.3% A. TM 31	1.9% A. TM 31
a/c = 0.52	4.3	4.73	5.2	5.76
	4.6	4.74	4.8	5.74
	4.6	4.77	5	5.75
a/c = 0.57	4.75	4.77	5.3	6.22
	4.73	4.75	5.7	6.24
	4.77	4.74	5.5	6.28
a/c = 0.62	4.73	4.9	5.74	6.76
	4.74	5.1	5.76	6.74
	4.77	5	5.75	6.74

(fuente: Propia)

Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo

<i>a/c = 0.52</i>	0.5% A. TM 31	0.9% A. TM 31	1.3% A. TM 31	1.9% A. TM 31	Total
Cuenta	3	3	3	3	12
Suma	13.50	14.24	15.00	17.25	59.99
Promedio	4.50	4.75	5.00	5.75	5.00
Varianza	0.03	0.00	0.04	0.00	0.25

<i>a/c = 0.57</i>	0.5% A. TM 31	0.9% A. TM 31	1.3% A. TM 31	1.9% A. TM 31	Total
Cuenta	3	3	3	3	12
Suma	14.25	14.26	16.50	18.74	63.75
Promedio	4.75	4.75	5.50	6.25	5.31
Varianza	0.00	0.00	0.04	0.00	0.43

<i>a/c = 0.62</i>	0.5% A. TM 31	0.9% A. TM 31	1.3% A. TM 31	1.9% A. TM 31	Total
Cuenta	3	3	3	3	12
Suma	14.24	15.00	17.25	20.24	66.73
Promedio	4.75	5.00	5.75	6.75	5.56
Varianza	0.00	0.01	0.00	0.00	0.66

<i>Total</i>	0.5% A. TM 31	0.9% A. TM 31	1.3% A. TM 31	1.9% A. TM 31
Cuenta	9	9	9	9
Suma	41.99	43.50	48.75	56.23
Promedio	4.67	4.83	5.42	6.25
Varianza	0.02	0.02	0.13	0.19

(fuente: Propia)

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Muestra	1.901	2	0.951	92.921	5.010E-12	3.403
Columnas	13.787	3	4.596	449.200	3.292E-21	3.009
Interacción	0.712	6	0.119	11.602	4.278E-06	2.508
Dentro del grupo	0.246	24	0.010			
Total	16.646	35				

(fuente: Propia)

APÉNDICE F. Estadística ensayo de fisuración

Tabla F.1 Análisis de varianza de dos factores del ensayo de fisuración

Adiciones	0.5% A. TM 31	0.9% A. TM 31	1.3% A. TM 31	1.9% A. TM 31
a/c = 0.52	2.33	3.69	9.62	11.45
	2.36	3.66	9.52	11.49
	2.34	3.66	9.55	11.46
a/c = 0.57	2.35	4.63	9.62	12.47
	2.36	4.68	9.59	12.51
	2.36	4.64	9.6	12.52
a/c = 0.62	4.13	4.68	9.74	12.54
	4.19	4.69	9.72	12.58
	4.15	4.67	9.68	12.55

(fuente: Propia)

Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo

a/c = 0.52	0.5% A. TM 31	0.9% A. TM 31	1.3% A. TM 31	1.9% A. TM 31	Total
Cuenta	3	3	3	3	12
Suma	7.03	11.01	28.69	34.40	81.13
Promedio	2.34	3.67	9.56	11.47	6.76
Varianza	0.00	0.00	0.00	0.00	16.11

a/c = 0.57	0.5% A. TM 31	0.9% A. TM 31	1.3% A. TM 31	1.9% A. TM 31	Total
Cuenta	3	3	3	3	12
Suma	7.07	13.95	28.81	37.50	87.33
Promedio	2.36	4.65	9.60	12.50	7.28
Varianza	0.00	0.00	0.00	0.00	17.40

<i>a/c = 0.62</i>	0.5% A. TM 31	0.9% A. TM 31	1.3% A. TM 31	1.9% A. TM 31	Total
Cuenta	3	3	3	3	12
Suma	12.47	14.04	29.14	37.67	93.32
Promedio	4.16	4.68	9.71	12.56	7.78
Varianza	0.00	0.00	0.00	0.00	13.44

Total	0.5% A. TM 31	0.9% A. TM 31	1.3% A. TM 31	1.9% A. TM 31
Cuenta	9	9	9	9
Suma	26.57	39.00	86.64	109.57
Promedio	2.95	4.33	9.63	12.17
Varianza	0.82	0.25	0.01	0.28

(fuente: Propia)

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Muestra	6.192	2	3.096	4846.004	5.160E-32	3.403
Columnas	511.872	3	170.624	267063.612	2.103E-54	3.009
Interacción	4.613	6	0.769	1203.372	1.581E-28	2.508
Dentro del grupo	0.015	24	0.001			
Total	522.692	35				

(fuente: Propia)

ANEXOS

ANEXO A. Panel fotográfico



Figura A.1 Visita a la planta de procesamiento de concreto premezclados Ken S.A.C
(Fuente: Propia)



Figura A.2 Caseta de control y dosificación de mezclas de la empresa premezclados Ken
S.A.C (Fuente: Propia)



Figura A.3 Muestras de aditivo utilizados en la dosificación de concreto premezclado en la empresa Ken S.A.C (Fuente: Propia)

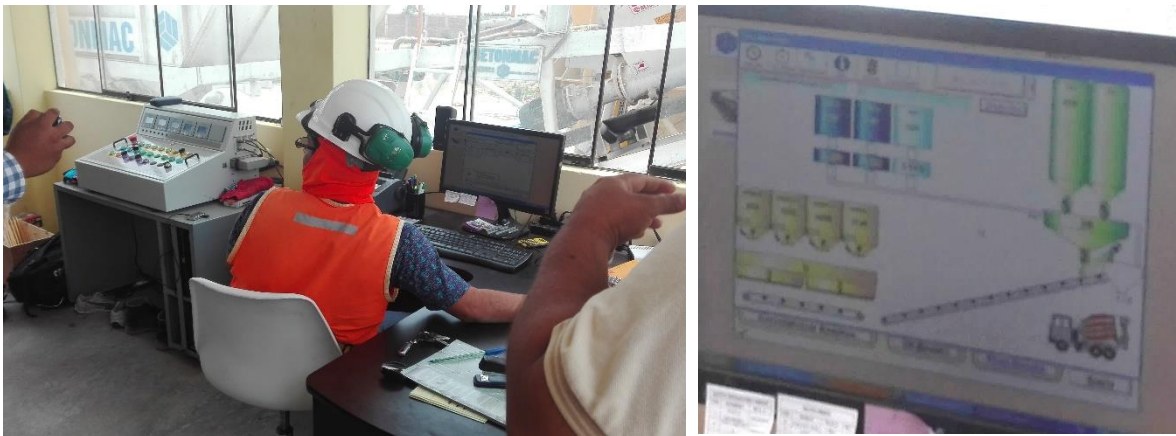


Figura A.4 Área de pesaje electrónico para la dosificación de concreto premezclado en la empresa Ken S.A.C (Fuente: Propia)



Figura A.5 Caracterización del agregado grueso y agregado fino (Fuente: Propia)



Figura A.6 Ensayo de peso unitario a diferente porcentajes de aditivo (Fuente: Propia)

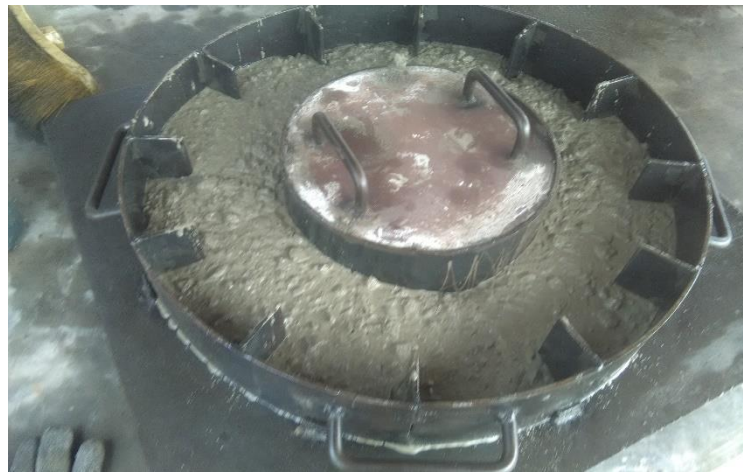


Figura A.7 Ensayo de fisuración método del ACI (Fuente: Propia)



Figura A.8 Muestra de concreto premezclado con y sin aditivo en el ensayo de fisuración

(Fuente: Propia)



Figura A.9 Muestra de concreto premezclado con y sin aditivo elaborados en obra



(fuente: Propia)

Figura A.10 Muestra de concreto premezclado para ensayo de resistencia a la compresión

(fuente: Propia)

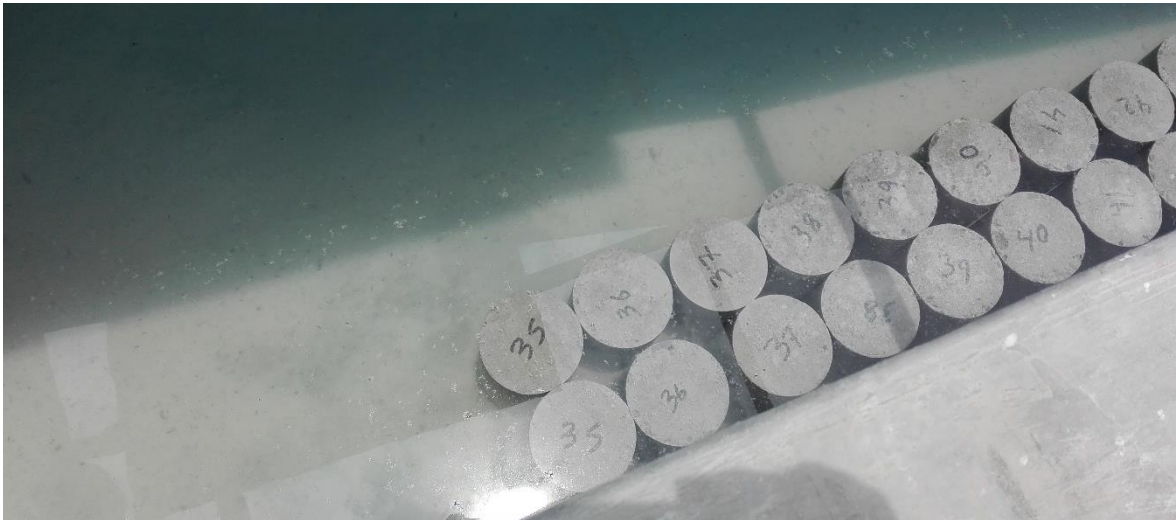


Figura A.11 Ensayo de resistencia a la compresión para muestras con diferentes dosificaciones de aditivo y relación agua cemento (**fuelle: Propia**)



HOJA TÉCNICA

Plastiment® TM-12

Retardante de fragua y reductor de agua.

<p>DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO</p>	<p>Plastiment® TM-12 es un aditivo plastificante y retardante de fragua, exento de cloruros.</p> <p>USOS</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Vaciado de concreto en tiempo caluroso. ▪ Vaciado de concreto en grandes volúmenes. ▪ Evita juntas frías en faenas continuas. ▪ Concreto premezclado. ▪ Transporte de concreto a largas distancias. ▪ Concreto bombeado.
<p>NORMA</p>	<p>Plastiment® TM-12 cumple con la Norma ASTM C 494 como aditivo tipo D y tipo B.</p>
<p>DATOS BÁSICOS</p>	
<p>FORMA</p>	<p>ASPECTO Líquido</p> <p>COLORES Marrón claro a oscuro</p> <p>PRESENTACIÓN</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Granel x 1 L ▪ Cilindro x 200 L ▪ Dispenser x 1,000 L
<p>ALMACENAMIENTO</p>	<p>CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL</p> <p>1 año en sitio fresco y bajo techo en su empaque original bien cerrado.</p>
<p>DATOS TÉCNICOS</p>	<p>DENSIDAD 1,17 kg/L ± 0,02</p> <p>USGBC VALORACIÓN LEED</p> <p>Plastiment TM-12 cumple con los requerimientos LEED. Conforme con el LEED V3 IEQc 4.1 Low-emitting materials - adhesives and sealants.</p> <p>Contenido de VOC < 420 g/L (menos agua)</p>

Figura B.1 Ficha técnica del aditivo retardante PLASTIMENT TM 12

HOJA TÉCNICA

Plastiment® TM-31

Aditivo plastificante para concreto.

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Plastiment TM®-31 es un aditivo para concretos que puede ser empleado como plastificante. Plastiment® TM-31 no contiene cloruros y no ejerce ninguna acción corrosiva sobre las armaduras.

USOS

Plastiment® TM-31 está particularmente indicado para:

- Especialmente para concreto convencional.
- En concretos bombeados, porque permite obtener consistencias adecuadas sin aumentar la relación agua/cemento.
- Se usa para hacer entregas de concreto a sitios distantes de la planta de concreto premezclado.
- Para elementos con alta cuantía de acero de refuerzo.
- Para encofrados dificultosos por su forma.

VENTAJAS

- Facilita los vaciados en encofrados difíciles.
- Aumento de las resistencias mecánicas en todas sus edades.
- Mayor adherencia a las armaduras.
- Permite reducir agua de la mezcla, para lograr concretos fluidos. (dependiendo de la dosis y el tipo de cemento)
- Incrementa considerablemente la impermeabilidad y durabilidad del concreto.
- Proporciona una gran trabajabilidad de la mezcla evitando segregación y la formación de cangrejeras.
- No mancha el concreto.

NORMA

Como plastificante cumple con la Norma ASTM C-494, tipo D.

DATOS BÁSICOS

FORMA

ASPECTO

Líquido

COLORES

Pardo oscuro

PRESENTACIÓN

- Cilindro x 200 L
- Dispenser x 1,000 L
- Granel

Figura B.2 Ficha técnica del aditivo súperplastificante PLASTIMENT TM 31