

**EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y
A FLEXIÓN DEL CONCRETO SIMPLE DESPUÉS DE EXPUESTO A 450°C.**

**DUVAN CAMILO FIGUEROA ORJUELA
JOHN SEBASTIAN BELLO LÓPEZ**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
ALTERNATIVA TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
BOGOTÁ, D. C.**

2018

**EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y
A FLEXIÓN DEL CONCRETO SIMPLE DESPUÉS DE EXPUESTO A 450°C.**

**DUVAN CAMILO FIGUEROA ORJUELA
JOHN SEBASTIAN BELLO LÓPEZ**

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil

Director

**CESAR DAVID QUINTANA CABEZA
Ingeniero civil**

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
ALTERNATIVA TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
BOGOTÁ, D. C.
2018**



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

AGRADECIMIENTO

Ante todo, darle gracias a dios por hacer posible este gran proyecto que hoy marcar el inicio de una gran etapa de mi vida llena de éxitos y bendiciones que vendrán junto muchos sueños más que faltan por cumplir, agradecer a todos y cada uno de los docentes que hicieron parte de este proceso y a mi familia por el apoyo y comprensión durante esta etapa tan importante de mi vida.

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado a mi madre Ana Beatriz López Duarte y mi padre José Efraín Bello Godoy que hace cinco años me abrieron las puertas para lo que fue el inicio de este gran sueño y que hoy en día puedo decir ¡Lo logramos!, como un trabajo en equipo en el que sin ellos no habría sido posible, se culmina esta etapa de mi vida de la mejor manera estando completamente convencido que es solo el inicio de grandes proyectos que vendrán.

JOHN SEBASTIAN BELLO LOPEZ

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	10
1 GENERALIDADES	12
1.1 ANTECEDENTES	12
1.2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	17
2 OBJETIVOS	20
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	20
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
3 JUSTIFICACIÓN	21
4 DELIMITACIONES	23
4.1 ESPACIO	23
4.2 TIEMPO.....	23
4.3 CONTENIDO.....	23
4.4 ALCANCE	24
5 MARCO DE REFERENCIA	25
5.1 MARCO TEÓRICO.....	25
5.2 MARCO CONCEPTUAL.....	29
5.2.1 Componentes del concreto.....	29
5.2.2 Propiedades mecánicas del concreto	30
5.2.3 Cambios físicos del concreto al ser sometido a altas temperaturas.....	33
5.3 MARCO HISTÓRICO	36
5.4 MARCO LEGAL.....	39
6 METODOLOGÍA.....	40
6.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	40
6.2 FUENTES DE INFORMACIÓN.....	40
7 DISEÑO METODOLÓGICO	41
7.1 DISEÑO DE PROBETAS DE CONCRETO	41
7.1.1 Equipos requeridos.....	41
7.1.2 Dimensiones de las probetas.....	44

7.1.3	Diseño de mezcla de concreto.....	46
7.1.4	Proceso de preparación de probetas	50
7.1.5	División de la mezcla.....	51
7.1.6	Dosificación de aditivo.....	42
7.1.7	Curado probetas de concreto.....	43
8	EXPOSICIÓN DE PROBETAS A ALTAS TEMPERATURAS.....	44
8.1	PROCESO DE EVALUACIÓN DE MUESTRAS EXPUESTAS A 450°C A LOS 7, 14 Y 28 DÍAS DE FRAGUADO.....	44
9	SISTEMA DE QUEMADO	45
10	ENSAYOS DE PROBETAS	46
11	RESULTADOS.....	48
11.1	CALCULO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO...48	
11.2	RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS MUESTRAS FALLADAS A COMPRESIÓN, LUEGO DE SER SOMETIDAS A ALTAS TEMPERATURAS ..50	
11.2.1	Porcentaje de la resistencia a compresión perdida por el concreto al ser sometido a altas temperaturas y en condiciones normales	52
11.3	RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS MUESTRAS FALLADAS A FLEXIÓN	55
11.3.1	Porcentaje de la resistencia a flexión perdida por el concreto al ser sometido a altas temperaturas y en condiciones normales	56
11.4	RESULTADOS GRÁFICOS PARA CILINDROS SOMETIDOS A COMPRESIÓN A LOS 7, 14 Y 28 DÍAS	59
11.5	RESULTADOS GRÁFICOS PARA VIGUETAS SOMETIDAS A FLEXIÓN A LOS 7, 14 Y 28 DÍAS	65
11.6	CAMBIOS FÍSICOS SUPERFICIALES PRESENTES EN EL CONCRETO LUEGO DE EXPUESTO A UNA TEMPERATURA DE 450°C.....	66
12	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	69
12.2.	COMPRESION	69
12.3.	FLEXION	73
13	CONCLUSIONES	76
14	RECOMENDACIONES	78

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Influencia de la Temperatura Sobre la Coloración y Pérdida de Resistencia del Concreto.....	34
Tabla 2 Color y Daño del Concreto Estructural.....	36
Tabla 3 Calculo material a utilizar para cilindros.....	46
Tabla 4 Calculo material a utilizar para viguetas	47
Tabla 5 Diseño total mezcla.....	47
Tabla 6 Dosis de aditivo Eucon 37 para la mezcla	42
Tabla 7 Datos de laboratorio para probetas de concreto sometidas a compresión	50
Tabla 8 Diámetro promedio, área y carga a la falla por compresión.....	51
Tabla 9 Resistencia a compresión para probetas de concreto	51
Tabla 10 Porcentaje de resistencia a la compresión perdida por el concreto al ser sometido a altas temperaturas.....	52
Tabla 11 Carga de falla contra días de curado	55
Tabla 12 Resistencia a la flexión viguetas	56
Tabla 13 Porcentaje de resistencia a la compresión perdida por el concreto al ser sometido a altas temperaturas.....	56
Tabla 15 Cambios presentes en el concreto luego de una hora expuesto a 450°	66
Tabla 16 Cambios presentes en el concreto luego de una hora expuesto a 450°C	67
Tabla 17 Cambios presentes en el concreto luego de una hora expuesto a 450°C	68

LISTA DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1 ÁGORA- BOGOTÁ DC-JULIO 201</i>	13
<i>Ilustración 2 Muros pantalla sin recubrimiento</i>	13
<i>Ilustración 3 Fotografía 4 AGORA- centro de convenciones</i>	14
<i>Ilustración 4 Alto horno cerca de columnas de concreto</i>	16
<i>Ilustración 5 Fotografía horno de fundición sobre base en concreto</i>	17
<i>Ilustración 6 RCI (sistemas de redes contra incendio)</i>	19
<i>Ilustración 6 Influencia de la temperatura sobre la resistencia a compresión del hormigón</i>	35
<i>Ilustración 7 Fotografía 5 Palacio de justicia en llamas 1985</i>	37
<i>Ilustración 9 Mezcladora de concreto</i>	41
<i>Ilustración 10 Horno de quemado</i>	42
<i>Ilustración 11 Prensa MTS</i>	43

<i>Ilustración 12 Prensa multiusos</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 13 Dimensiones viguetas.....</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 14 Dimensiones cilindros.....</i>	<i>45</i>
<i>Ilustración 15 Dimensiones cilindros.....</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 16 Granulometría de agregados gruesos para la mezcla</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 17 Mezcla de materiales para la fabricación del concreto</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 18 Fracciones de la mezcla</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 19 Dosis de aditivo Eucon 37 para la mezcla</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 20 Encofrado de muestras de concreto</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 21 Curado de probetas de concreto por hidratación directa</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 22 Muestras a los 7 días de curado, antes de ser sometidas a altas temperaturas.....</i>	<i>45</i>
<i>Ilustración 23 Ensayo a compresión de muestras cilíndricas de concreto</i>	<i>46</i>
<i>Ilustración 24 Ensayo a flexión de probetas tipo vigueta de concreto.....</i>	<i>47</i>
<i>Ilustración 25 Falla a flexión de probetas tipo vigueta de concreto.....</i>	<i>47</i>
<i>Ilustración 26 Fotografía 22: Muestra en estado normal a los 28 días de curado..</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 27 Falla a compresión de cilindro con aditivo a los 28 días de curado</i>	<i>53</i>
<i>Ilustración 28 Falla a compresión de cilindros a los 7 días de curado</i>	<i>53</i>
<i>Ilustración 29 Falla a compresión de cilindros a los 14 días de curado</i>	<i>54</i>
<i>Ilustración 30 Falla a compresión de cilindros 28 días de curado.....</i>	<i>54</i>
<i>Ilustración 31 Fotografía 26: Falla a flexión de vigueta en estado normal a los 14 días de curado</i>	<i>57</i>
<i>Ilustración 32 Falla a flexión de viguetas a los 14 días de curado</i>	<i>58</i>
<i>Ilustración 33 Falla a flexión de viguetas a los 28 días de curado</i>	<i>58</i>
<i>Ilustración 34 Gráfico 2. Carga máxima soportada a los 7 días de curado en estado normal (L1).....</i>	<i>59</i>
<i>Ilustración 35 Gráfico 3. Carga máxima soportada a los 7 días de curado sometido a altas temperaturas (F1).....</i>	<i>59</i>
<i>Ilustración 36 Gráfico 4. Carga máxima soportada a los 7 días de curado sometido a altas temperaturas con aditivo (A1)</i>	<i>60</i>
<i>Ilustración 37 Gráfico 5. Carga máxima soportada a los 14 días de curado en condiciones normales (L2).....</i>	<i>60</i>
<i>Ilustración 38 Gráfico 6. Carga máxima soportada a los 14 días de curado en condiciones normales sometido a altas temperaturas (F2).....</i>	<i>61</i>
<i>Ilustración 39 Gráfico 7. Carga máxima soportada a los 14 días de curado con aditivo sometido a altas temperaturas (A2).....</i>	<i>61</i>
<i>Ilustración 40 Gráfico 8. Carga máxima soportada a los 28 días de curado en condiciones normales (L3).....</i>	<i>62</i>

<i>Ilustración 41 Gráfico 9. Carga máxima soportada a los 28 días de curado en condiciones normales sometido a altas temperaturas (F3).....</i>	<i>62</i>
<i>Ilustración 42 Gráfico 10. Carga máxima soportada a los 28 días de curado con aditivo sometido a altas temperaturas (A3).....</i>	<i>63</i>
<i>Ilustración 43 Gráfico 11. Desarrollo de la carga a compresión de los cilindros durante el periodo de curado</i>	<i>63</i>
<i>Ilustración 44 Gráfico 12. Resistencia a compresión probetas cilíndricas</i>	<i>64</i>
<i>Ilustración 45 Gráfico 13. Desarrollo de la carga a flexión de las viguetas durante el periodo de curado</i>	<i>65</i>
<i>Ilustración 46 Gráfico 14. Resistencia a la flexión por muestra</i>	<i>65</i>

INTRODUCCIÓN

El concreto es un material compuesto, y posee ciertas ventajas frente a otros materiales de construcción, una de las ventajas más importantes es su buen comportamiento frente a acciones térmicas, es evidente como una estructura de concreto no queda igual después de un incendio que una estructura en acero o en madera; sin embargo, saber que resiste mejor que otros materiales a altas temperaturas no es suficiente para evaluar la resistencia residual que tiene el concreto luego de la acción térmica.

En la presente investigación se determina la variabilidad de la resistencia a compresión y flexión del concreto simple en tres condiciones diferentes: concreto simple en condiciones normales (testigo), concreto luego de ser expuesto a una temperatura promedio de 450°C y concreto expuesto a la misma temperatura, pero con un aditivo reductor de agua.

Igualmente se identifican los cambios superficiales que presenta el concreto al someterse a tales cambios de temperatura con el fin de hacer una evaluación detallada del efecto adverso que puede tener este fenómeno en cuanto a su resistencia. Para el desarrollo de esta investigación, se preparó una mezcla de concreto con una proporción (1:2:2), donde se procede a dividir la mezcla en 3 fracciones iguales, de las cuales se toma un tercio de esta y se agrega un aditivo EUCON 37 (reductor de agua de alto poder) de Toxement, con el fin de identificar el efecto que este genera en el concreto que ha sido expuesto a altas temperaturas, los dos tercios sobrantes se dejan en condiciones normales. Se funden 15 probetas cilíndricas con dimensiones de 10x20 centímetros, para ser sometidas a compresión y de igual manera 15 probetas tipo viguetas con dimensiones de 24x8.5x7.5 centímetros, con el fin de identificar su resistencia a flexión. Todo esto con la finalidad de estudiar a

profundidad el comportamiento del concreto de manera individual frente a una temperatura específica mediante ensayos a los 7, 14 y 28 días de curado, utilizando el método de hidratación directa, posteriormente se realizan las respectivas curvas de resistencia las cuales se compararon con los resultados de probetas tanto en condiciones normales (L), en condiciones normales expuestas a altas temperaturas (F) y en presencia a altas temperaturas con aditivo (A), con el fin de determinar la variación de la resistencia y alteraciones que genera la presencia de altas temperaturas en el concreto.

1 GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

Los tipos de exposición térmica que se pueden presentar en una estructura de concreto, pueden ser producto de muchas causas, a continuación, se presentaran los casos más representativos:

1.1.1. Exposición por fuego directo

Muchas estructuras han sufrido incendios a lo largo de los tiempos debido a situaciones no previstas, dentro de los cuales se puede mencionar los siguientes casos: edificio Baptist en Atlanta Estados unidos - hotel Taikon Yak en Seúl - Corea, almacenes Tailo en Konamito - Japón, el edificio Joelma en Sao Paulo – Brasil.¹

Hace algunos meses se conoció el caso del Centro de Convenciones Corferias de Bogotá ² en donde los muros portantes fueron expuestos durante casi 2 horas a altas temperaturas dejando como resultado el desprendimiento total del recubrimiento de las mallas electro soldadas, suceso que se puede observar claramente en la fotografía 3, 4 y 5. En este caso los sistemas contraincendios no sirvieron de mucho debido a que la estructura se encontraba en construcción y sus instalaciones hidráulicas aún no se encontraban en funcionamiento.

¹ F Núñez Astray and others, 'INCENDIOS EN EDIFICIOS DE GRAN ALTURA (THE FIRE IN HIGH RISE BUILDINGS)' <<http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/viewFile/1623/1816>> [accessed 9 September 2017].

Ilustración 1 ÁGORA- BOGOTÁ DC-JULIO 201



Fuente: elespectador.com

En la universidad técnica de Ambato Ecuador en el 2016 se realizaron trabajos experimentales para determinar el efecto sobre la resistencia de un elemento de concreto expuesto a altas temperaturas con resistencia de diseño de 21 MPa y acero de refuerzo con esfuerzo de fluencia de 420 MPa, encontrando que la resistencia es inversamente proporcional a la temperatura de exposición³.

Ilustración 2 Muros pantalla sin recubrimiento



Fuente: Propia

² Mutual seguridad, 'Ficha Técnica de Prevención de Riesgos' <<https://www.mutual.cl/portal/wcm/connect/9cc9e120-358d-4b97-960f-397b59eb88d3/Hornero+de+fundiciones.pdf?MOD=AJPERES>> [accessed 22 May 2018].

³ Redacción Bogotá, 'Incendio No Afectaría Entrega Del Centro de Convecciones Ágora | ELESPECTADOR.COM', 2017 <<http://www.elespectador.com/noticias/bogota/incendio-no-afectaria-entrega-del-centro-de-convecciones-agora-articulo-703524>> [accessed 15 September 2017].

En la universidad de Carabobo de Valencia en Venezuela en el año 2010, en la Facultad de ingeniería, se llevó a cabo investigaciones para determinar el efecto sobre la resistencia a compresión de un elemento de concreto siendo esta una de las bases del planteamiento y desarrollo del proyecto, dicho artículo tiene su aplicación en ensayos a compresión de probetas de concreto previamente quemadas en intervalos de tiempo determinados⁴. Otros de las grandes referentes, fueron la existencia de estudios por parte del instituto Eduardo Torroja encargados de identificar el comportamiento del concreto estructural frente al fuego, también La Plataforma Europea del Hormigón⁵, Revista ALCONPAT (Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción)⁶, La Cinpar 2010 (VI congreso internacional sobre patología y recuperación de estructuras)⁷.

Ilustración 3 Fotografía 4 AGORA- centro de convenciones



Fuente: Propia

⁴ Nelson Hernández, 'Efecto Del Fuego Sobre La Resistencia a Compresión de Un Elemento de Concreto de Resistencia de Diseño de 210 Kg/cm²', 17.2 (2010), 38–43 <<http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/v17n2/art04.pdf>> [accessed 9 September 2017].

⁵ PE del Hormigón, 'Seguridad Y Protección Completa Frente Al Fuego Con Hormigón', *Cemento-Hormigón*, 2008 <<https://scholar.google.es/scholar?hl=es&q=SEGURIDAD+Y+PROTECCIÓN+COMPLETA+FRENTE+AL+FUEGO+CON+HORMIGÓN&btnG=&lr=>> [accessed 14 September 2017].

⁶ MC Alonso and VF Laguna, 'Determinación de La Profundidad de Daño En Estructuras de Hormigón Post-Incendio.', *Revista de La Asociación Latinoamericana de*, 2013 <<http://www.redalyc.org/pdf/4276/427639591002.pdf>> [accessed 14 September 2017].

⁷ Bahía Blanca and Argentina Iseñas, 'Evaluación de Elementos Estructurales de Hormigón Expuestos a Un Incendio' <https://digital.cic.gba.gob.ar/bitstream/handle/11746/4409/11746_4409.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [accessed 14 September 2017].

1.1.2. Exposición por hornos industriales o maquinaria similar

Existe un gran número de máquinas industriales que necesitan llegar a temperaturas bastante elevadas para poder trabajar, esto se evidencia de manera explícita en las máquinas de fabricación de acero donde se necesitan temperaturas muy elevadas para poder realizar las diferentes aleaciones.

Existen tres tipos mediante los cuales se puede transmitir el calor de un elemento a otro que son: Conducción, Convección y Radiación.

La conducción es el mecanismo básico gracias al cual el calor puede transmitirse a través de los objetos sólidos: si tocamos el borde de la sartén cuando está en el fuego, o la puerta del horno de la cocina, sentiremos que están calientes, aunque el foco principal de calor esté en otra parte. El mecanismo en este caso sería análogo al de una cadena humana que acarrea cubos de agua para sofocar un incendio: las personas no se mueven mucho de su sitio, pero los cubos sí que lo hacen⁸.

El segundo mecanismo es la convección. En este caso, los átomos y moléculas sí que cambian sus posiciones, y por ello es un mecanismo propio de fluidos: líquidos y gases. De nuevo tenemos un ejemplo en nuestra misma cocina: si ponemos una cacerola con agua al fuego, el fondo de la cacerola se calienta rápidamente, así como el agua en contacto con ella. Al principio, el agua de la parte superior sigue fría, pero por poco tiempo: el agua caliente “asciende” desde la parte inferior, ya que es menos densa, y es reemplazada

⁸ Giovanni Josué Alvarado Aguirre, 'Estudio Del Comportamiento Del Concreto Estructural Expuesto Al Fuego', 2016 <<http://repo.uta.edu.ec/handle/123456789/23040>> [accessed 15 September 2017].

por el agua más fría, que desciende por su mayor densidad, creándose una corriente de convección⁹.

Nos queda el tercer mecanismo, y el cual es el más importante con respecto a la presente investigación, este es completamente diferente a los anteriores, ya que no implica el movimiento de electrones, átomos o moléculas, sino de otro tipo de partículas: los fotones.

Cuando un cuerpo caliente no puede ceder ese calor por conducción o convección, todavía lo puede hacer por radiación. La radiación electromagnética puede transmitirse a través del vacío, y la prueba más clara la tenemos en la luz y calor que nos proporciona el sol, ya que los fotones que emite tienen que viajar nada menos que unos ciento cincuenta millones de kilómetros a través del vacío antes de poder iluminar y calentar nuestro planeta¹⁰.

Ilustración 4 Alto horno cerca de columnas de concreto



Fuente: hornoshinraperu.com/ horno-fundición

⁹ José I. García Laureiro, 'Calor Y Temperatura (II): La Transmisión Del Calor | Moléculas a Reacción' <<https://isqch.wordpress.com/2014/01/31/calor-y-temperatura-ii-la-transmision-del-calor/>>.

¹⁰ Encyclopaedia Britannica, 'Heat Transfer | Definition & Facts | Britannica.com' <<https://www.britannica.com/science/heat-transfer>>.

Este último proceso resulta de amplia importancia para la presente investigación ya que una problemática que se presenta hoy en día es la radiación térmica de máquinas en la industria¹¹, ya que en la mayoría de los casos las estructuras que sirven de base a estas maquinarias o los muros divisorios de los espacios donde estas funcionan se encuentran en concreto, y dicho concreto recibe una seria afectación por la radiación de calor principalmente en su aspecto con la aparición de grietas y cambios de color en su superficie, quizá también recibe afectación en su resistencia y es esto lo que se pretende verificar en esta investigación.

Ilustración 5 Fotografía horno de fundición sobre base en concreto.



Fuente: insertec.biz - Furnaces & Refractories

1.2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

Una de las grandes ventajas del concreto como material estructural es su naturaleza incombustible¹², pues cuando se presentan daños después de un incendio o de otro tipo de exposición térmica, permite que se pueda reparar y colocar nuevamente en servicio siempre y cuando los niveles de temperatura

¹¹ Encyclopaedia Britannica.

¹² Eilin, 'Análisis Del Artículo " Effect of Fire on Concrete Structures "'; <[https://portal.uah.es/portal/page/portal/GP_EPD/PG-MA-ASIG/PG-ASIG-200637/TAB42359/Efecto del fuego en las estructuras de hormigón \(Eilin Castillo\).pdf](https://portal.uah.es/portal/page/portal/GP_EPD/PG-MA-ASIG/PG-ASIG-200637/TAB42359/Efecto%20del%20fuego%20en%20las%20estructuras%20de%20hormig%20n%28Eilin%20Castillo%29.pdf)> [accessed 8 September 2017].

no hayan sido lo suficientemente altos, por el contrario las estructuras de madera normalmente sirven de combustible para alimentar el incendio y las metálicas pierden su resistencia en presencia de altas temperaturas.

Actualmente existen servicios de protección contra incendio que representan una herramienta muy importante para evitar que las estructuras alcancen temperaturas muy elevadas en caso de que se presente exposiciones térmicas de importancia, entre los sistemas de redes contra incendios (RCI) encontramos el sistema de gabinetes y el sistema por aspersores, ambos sistemas evitan que los incendios o cualquier otro tipo de exposición térmica generen una temperatura que pueda afectar de manera significativa a las edificaciones o a sus habitantes¹³, sin embargo la mejor herramienta que existe respecto a este tema es el uso de materiales resistentes al fuego, pues aunque un incendio puede extinguirse rápidamente, no puede evitarse que algunos elementos estén expuestos a temperaturas que no son lo suficientemente elevadas para activar los mecanismos de los sistemas contra incendio, elementos que si están localizados en un punto crítico podrían afectar la funcionalidad o la apariencia de la estructura drásticamente.

¹³ 'Material Solutions for Passive Fire Protection of Buildings and Structures and Their Performances Testing', *Procedia Engineering*, 151 (2016), 284–91 <<https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2016.07.388>>.

Ilustración 6 RCI (sistemas de redes contra incendio)



Fuente: inma.com/normativa colombiana sistema contra incendios.

Los daños en estructuras de concreto provocados por su exposición a altas temperaturas, depende principalmente de los factores a las que se vean sometida, como puede ser del nivel de temperatura expuesto, del tiempo de exposición, del tipo de enfriamiento, la composición del material y la sección que resiste la carga por temperatura ¹⁴. **¿Cuál es la relación entre la temperatura a la que son expuestos los elementos en concreto y la pérdida de resistencia por compresión y flexión de estos?**

¹⁴ Iñigo González De Arrieta, 'Aplicaciones de La Radiación Térmica', 2015 <<https://www.ehu.es/documents/3019013/3575588/radiacion+termica.pdf/20754cf4-02b0-454f-964f-b70184fb27c4>> [accessed 22 May 2018].

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Estudiar el comportamiento de la resistencia a compresión y flexión del concreto simple en presencia de una temperatura de 450°C.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Comparar las características físicas superficiales de probetas de concreto simple en condiciones normales y luego de ser expuesto a una temperatura de 450°C.

Determinar la resistencia a compresión y flexión de probetas cilíndricas y tipo vigueta, en condiciones normales y luego de ser sometida a una temperatura de 450°C a los 7, 14 y 28 días de curado por el método de hidratación directa.

Identificar la variabilidad de la resistencia del concreto simple al ser sometido a una temperatura determinada (450°C), mediante la implementación de un horno eléctrico con temperatura graduable.

Analizar el efecto que tiene el uso de un aditivo reductor de agua contra la presencia de altas temperaturas en el concreto simple.

3 JUSTIFICACIÓN

Debido al alto número de casos de exposiciones térmicas del concreto, en el mundo se han realizado múltiples estudios enfocados principalmente en el comportamiento del hormigón estructural expuesto a altas temperaturas, en base a evaluaciones y pruebas de elementos estructurales afectados por las exposiciones. Entre los países que registran mayor estudio de comportamiento de elementos de hormigón u otro tipo de material se encuentra España, que direcciona principalmente sus investigaciones en la regeneración de estructuras ya sea porque han cumplido su tiempo de trabajo o han sufrido algún daño¹⁵. Para realizar un diagnóstico acertado, son necesarias herramientas de calidad que permitan un análisis completo sobre la estructura, pero en ocasiones estas herramientas representan un costo elevado y es por esto que se hace necesario la creación de referentes de carácter experimental que permitan un análisis económico y acertado en sucesos que no posean demasiados recursos para su análisis, el hormigón es bueno para resistir la temperatura siempre y cuando la exposición a altas temperaturas no se dé durante periodos suficientemente prolongados¹⁶.

Jaime Gómez jurado en la revista noticreto, expresa que después de los 400°C se evapora el agua del gel de cemento y que es en este momento donde se empieza la pérdida de resistencia de los elementos y es por esto que se escoge una temperatura de 450°C para la investigación, esto en concordancia con MUTUAL de seguridad¹⁷ que en su ficha técnica de prevención de riesgos

¹⁵ D B Si and others, 'Efectos de Las Altas Temperaturas Estructuras de Hormigón Armado En Las', 2012.

¹⁶ MC Alonso and VF Laguna, 'Determinación de La Profundidad de Daño En Estructuras de Hormigón Post-Incendio.', *Revista de La Asociación Latinoamericana de*, 2013 <<http://www.redalyc.org/pdf/4276/427639591002.pdf>> [accessed 14 September 2017].

¹⁷ A M Neville, 'Properties of Concrete Fifth Edition', 2011 <<https://igitgeotech.files.wordpress.com/2014/10/properties-of-concrete-by-a-m-neville.pdf>> [accessed 15 September 2017].

especifica que la radiación térmica de hornos industriales puede ser del orden de 90°C a 120°C y que se aumenta en la zona donde se almacena el aire caliente donde la temperatura varía de 120°C a 150°C.

La presente investigación permitirá identificar de forma específica la pérdida de resistencia que sufre un elemento de concreto simple cuando sufre un evento de exposición térmica, que pueda servir como punto de referencia para la evaluación y diagnóstico de posibles aditivos para mitigar el efecto perjudicial de este fenómeno, aditivos que se podrán usar en estructuras con una alta amenaza de sufrir un incendio o expuestas constantemente a altas temperaturas como industrias de fundición o industrias en las que sea necesario el uso de temperaturas suficientemente elevadas.

4 DELIMITACIONES

4.1 ESPACIO

Esta investigación se realizó en la universidad católica de Colombia y los ensayos se llevaron a cabo en el laboratorio de concretos, en el cual se hizo uso de los diferentes equipos con los que cuenta la universidad y que fueron necesarios para el desarrollo de la investigación.

4.2 TIEMPO

Se pudo estimar que no era necesario un tiempo de ejecución mayor del estipulado por la facultad de ingeniería; es decir, un tiempo de ejecución de un semestre, el cual corresponde al periodo académico I-2018, sin embargo, esto implicó seguir algunos lineamientos estrictos, que permitieron que la ejecución real del proyecto correspondiera con el tiempo límite establecido.

4.3 CONTENIDO

Comparación de la resistencia de concreto simple a compresión y flexión de probetas en concreto en condiciones normales vs Probetas que se expondrán a 450°C. En donde mediante pruebas de resistencia a compresión y flexión se realiza un análisis que permite cuantificar el cambio de resistencia y adicionalmente se estudia como beneficia este fenómeno de perdida de resistencia el uso de un aditivo reductor de agua. En la presente investigación se darán a conocer los resultados obtenidos mediante la elaboración de un artículo de investigación que resume el contenido de la investigación. Con todo

esto se pretende hacer un aporte un aporte a la ingeniería que sirva como referencia cuando se estudie a profundidad la patología del concreto frente a temperaturas elevadas.

4.4 ALCANCE

Para determinar el alcance de la investigación es necesario tener en cuenta las variables que tiene la misma como lo son:

- Determinación de resistencia la compresión y flexión
- Concreto simple
- Uso de mezcla tipo 1:2:2 (1 de cemento:2 de arena:2 de grava)
- Temperatura de exposición 450°C
- Tipo de inducción de temperatura por horno eléctrico
- El tipo de enfriamiento al aire (naturalmente)

Se debe aclarar que los resultados no son los mismos si se usa fuego inducido por combustión o altas temperaturas inducidas por horno, es por esto por lo que se deja el precedente de la diferencia entre estos dos métodos y la aclaración de que se usará un horno para simular las temperaturas dichas anteriormente. Finalmente, el alcance es explícitamente para el área de patología del concreto.

5 MARCO DE REFERENCIA

5.1 MARCO TEÓRICO

Según Fernández¹⁸ cuando el concreto es sometido al fuego, el agua libre o capilar comienza a evaporarse a partir de los 100°C esto es apenas obvio ya que el punto de ebullición del agua está aproximadamente en esta temperatura, esta primera etapa sirve para retrasar el calentamiento del elemento estructural cuando la conflagración está apenas iniciando, en base a lo dicho anteriormente se puede inferir que los concretos expuestos a estas temperaturas pueden no recibir afectaciones ni en su resistencia a la compresión ni en su resistencia a la flexión; sin embargo se necesitan ensayos de laboratorio que sustentan estas hipótesis. Entre 200 y 300°C se completa la pérdida de agua capilar sin que se pierda el agua de gel de cemento hidratado, en este intervalo de temperatura la energía de la conflagración se ha estado ocupando de eliminar el contenido de agua capilar lo que permite continuar con la hipótesis de que aún no se presenta afectaciones significativas a la resistencia del concreto¹⁹. Entre 300 y 400°C se evapora parte del gel de cemento hidratado ocasionando la aparición de grietas superficiales lo que permite deducir que la resistencia del elemento ha disminuido, esta deducción es de tipo totalmente cualitativa, para hacer un análisis cuantitativo habría que hacer estudios experimentales que permitieran cuantificar la relación entre la temperatura y la pérdida de resistencia del material. A los 600°C los agregados que no tienen el mismo coeficiente de

¹⁸ Manuel. Fernández Cánovas, *Patología Y Terapéutica Del Hormigón Armado* (Dossat, 1984) <[http://imcyc.com/biblioteca/ArchivosPDF/Patologia de la Construccion/4 Patologia y Terapeutica Del Hormigon Armado.pdf](http://imcyc.com/biblioteca/ArchivosPDF/Patologia%20de%20la%20Construccion/4%20Patologia%20y%20Terapeutica%20Del%20Hormigon%20Armado.pdf)>.

¹⁹ Manuel Buron Maestro Luis Vega Catalán, 'Seguridad Y Protección Completa Frente Al Fuego Con Hormigón', *Cemento-Hormigón*, 2007 <<https://scholar.google.es/scholar?hl=es&q=SEGURIDAD+Y+PROTECCIÓN+COMPLETA+FRENTE+AL+FUEGO+CON+HORMIGÓN&btnG=&lr=>> [accessed 14 September 2017].

dilatación térmica se expanden con diferente intensidad, dando lugar a fricciones internas que comienzan a disgregar el concreto, estas fricciones internas dan lugar a fisuras internas que afectan seriamente a la resistencia tanto a compresión como a la flexión del concreto. Es evidente que con respecto a este importante tema es necesario hacer una evaluación y diagnóstico cuantitativo que nos permita evidenciar de manera clara la relación numérica que existe entre la temperatura a la que se expone un elemento estructural en concreto y su resistencia tanto a la compresión como a la flexión. La conductividad térmica del concreto es mucho más baja que la del acero²⁰, lo que significa que en el concreto la transmisión de calor es mucho más lenta y el calentamiento por las llamas afecta sólo las capas superficiales, alcanzando temperaturas que pueden poner en peligro la integridad del concreto solo hasta profundidades de cinco a diez centímetros, salvo que el incendio tenga una gran duración²¹, cuando la capa de recubrimiento no es suficiente, el refuerzo queda expuesto a la acción del fuego, lo cual induce a que el acero se caliente rápidamente y se desprenda el concreto superficial que se encuentra a menor temperatura. Por otro lado, a temperaturas normales los cambios volumétricos del acero y el concreto son muy similares; sin embargo, a altas temperaturas el acero se dilata mucho más, produciendo flexiones en el recubrimiento y descascaramiento que podría dejar expuesto el acero al calor.

Existen diferentes metodologías para poder determinar el daño causado por el fuego en las estructuras y se pueden dividir en dos grupos, destructivas y no destructivas, como se sabe el concreto puede ser reparado después de un incendio, mientras que las estructuras de madera y acero no ofrecen esta

²⁰ Mark Churpek, 'Click to Edit Master Title Style Evaluation of Fire-Exposed Structural Members', 2013 <www.wje.com> [accessed 15 September 2017].

²¹ Alonso and Laguna.

ventaja; las columnas de acero de sección reducida no resisten por más de diez a veinte minutos ²².

Antes de la reparación de estructuras dañadas por el fuego debe efectuarse una evaluación preliminar para valorar el daño causado; posteriormente se debe elaborar una investigación muy detallada basada en ensayos destructivos y no destructivos que permiten estimar propiedades del concreto tales como resistencia a compresión, módulo de elasticidad y calidad del acero y concreto endurecido.

En la evaluación preliminar todos los procedimientos se basan en una inspección visual reforzada por ensayos en campo. La inspección visual consiste en revisar los cambios de coloración del concreto y los restos de materiales que han sido consumidos por el fuego de forma que se pueda determinar la intensidad de la conflagración y la importancia de las áreas afectadas.

Los ensayos de campo pueden incluir el uso de esclerómetros²³; un especialista en patología podría concluir si el daño es estructural o de apariencia, solamente comparando las lecturas y el sonido entre el concreto que ha sido y el que no ha sido expuesto a altas temperaturas, es válido aclarar que las lecturas no permiten determinar la resistencia residual de la estructura.

²² Bahía Blanca and Argentina Lsenas, 'Evaluación de Elementos Estructurales de Hormigón Expuestos a Un Incendio', 2010
<https://digital.cic.gba.gob.ar/bitstream/handle/11746/4409/11746_4409.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [accessed 14 September 2017].

²³'CAPITULO II: ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS DEL CONCRETO 2.1.-INTRODUCCIÓN'
<http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_153_164_104_1437.pdf> [accessed 15 September 2017].

En la investigación detallada se pueden usar métodos no destructivos²⁴ dentro de los cuales se pueden incluir la medición de ultrasonido, impacto-eco, y tecnología de radar. El ultrasonido además de permitir estimar propiedades mecánicas del concreto, ayuda a identificar la presencia de fisuras y el tamaño de las mismas. La medición de impacto-eco, que consiste en inducir ondas de baja frecuencia al concreto con un esclerómetro y grabar en un osciloscopio las ondas que rebotan, permite localizar y clasificar las discontinuidades tales como vacíos, fisuras y pérdida de adherencia entre la pasta y el cemento.

Las tecnologías de radar envían microondas que permiten localizar el acero y determinar el espesor de concreto en buen estado sobre el refuerzo en las zonas en que el daño del fuego no se extiende hasta el acero.

Cuando se usan ensayos destructivos²⁵ se debe tener precaución al retirar los núcleos y las muestras de acero. Sobre los núcleos se determinan directamente las propiedades como resistencia a la compresión.

²⁴INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCION EDUARDO TORROJA' <<http://www.ietcc.csic.es/index.php/es/informacion-general/26-80-aniversario>> [accessed 15 September 2017].

²⁵ Alejandro Pavez, 'Comportamiento Del Hormigón Ante Incendio', 2011 <[http://www.revistabit.cl/revistabit/Uploads/79/174161726165872419240-47 BIT 79.pdf](http://www.revistabit.cl/revistabit/Uploads/79/174161726165872419240-47%20BIT%2079.pdf)>.

5.2 MARCO CONCEPTUAL

5.2.1 Componentes del concreto

• Concreto

Se define como una mezcla de agua, cemento y agregados en la cual el agua y el cemento forman una pasta adhesiva, y el agregado conforma la carga “inerte” y constituye generalmente entre el 70% y el 80% del volumen del concreto, siendo este un material heterogéneo generando características especiales como el de la compresión.²⁶

• Cemento

El cemento es un material inorgánico dividido en pequeñas partículas que, amasado con agua, forma una pasta que fragua y endurece debido a las reacciones y procesos de hidratación de sus constituyentes, dando lugar a productos hidratados mecánicamente resistentes y estables tanto al aire como bajo el agua²⁷.

• Agua

El agua se puede definir como aquel componente del concreto en virtud del cual el cemento experimenta reacciones químicas que le dan propiedad de fraguar y endurecer para formar un sólido único con los agregados.

²⁶ Joaquín Porrero and others, 'CONCRETO ESTRUCTURAL', 2014 <[http://www.cei-ucab.com.ve/views/app/guias/materiales_de_construccion/Manual del Concreto Estructural.pdf](http://www.cei-ucab.com.ve/views/app/guias/materiales_de_construccion/Manual%20del%20Concreto%20Estructural.pdf)> [accessed 8 September 2017].

²⁷ Ing Manuel and Gonzáles De, 'En El Concreto', 2014.

• Agregados

Este material ocupa aproximadamente entre un 70% y un 80% del volumen total del hormigón, por lo que, su proporción suele condicionar el peso específico de cualquier hormigón. En hormigones tradicionales, el agregado suele ser la fase más resistente, aunque la resistencia del agregado de masa normal, suele ser de poca trascendencia. Sin embargo, el módulo de elasticidad del árido influye de forma más relevante sobre el módulo de deformación, la retracción y fluencia del hormigón.²⁸

• Aditivos

Son sustancias o productos que, agregados al hormigón (antes del amasado, durante el mismo o en el transcurso de un amasado suplementario) en unas cantidades determinadas, relacionadas con el peso del cemento, generan una modificación positiva deseada, tanto en estado fresco como en estado endurecido, de alguna de sus propiedades, características habituales o de su comportamiento.²⁹

5.2.2 Propiedades mecánicas del concreto

• Resistencia

²⁸Libia Gutiérrez De López, 'El Concreto Y Otros Materiales Para La Construcción', in 2003, 2003, pp. 1–29 <http://www.bdigital.unal.edu.co/6167/5/9589322824_Parte1.pdf>.

²⁹ Sika, 'BROCHURE FISURAS EN EL CONCRETO REFORZADO.pdf', 2012 <<https://es.scribd.com/document/340607670/BROCHURE-FISURAS-EN-EL-CONCRETO-REFORZADO-pdf>> [accessed 15 September 2017].

El concreto como material estructural se diseña para que tenga una determinada resistencia, esta se determina mediante resultados de ensayos sobre un conjunto de probetas. La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica más importante de un concreto y se utiliza normalmente para juzgar su calidad.³⁰

• Durabilidad

Es la característica que le hace mantener la forma original del concreto, su calidad y sus propiedades de servicio a través del tiempo y frente a problemas de clima, ataques químicos o cualquier otro proceso de deterioro. Esta puede verse afectada por causas internas, como su permeabilidad, los materiales constituyentes o cambios de volumen debido a diferentes propiedades térmicas.³¹

• Resistencia al fuego

Es la característica que corresponde a una solución constructiva, por la cual se determina la capacidad de resistir en el tiempo, a la acción del fuego. En todo caso, la característica es el tiempo: cuanto mayor sea el tiempo disponible, será mejor para evacuar personas o luchar contra el incendio.

³⁰ Lilia Señas and others, 'Evaluación de Elementos Estructurales de Hormigón Expuestos a Un Incendio', 2010 <<https://digital.cic.gba.gob.ar/handle/11746/4409>> [accessed 14 September 2017].

³¹Asociación Colombiana de ingeniería Sísmica, 'NSR-10 TÍTULO J - REQUISITOS DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS EN EDIFICACIONES', 2010 <<https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/10titulo-j-nsr-100.pdf>> [accessed 15 September 2017].

El concreto en general posee buenas propiedades de resistencia al fuego, es decir el concreto puede tener un comportamiento satisfactorio y sin emitir gases durante un tiempo relativamente alto³².

- **Conductividad (Kc)**

Se conoce como la cantidad de calor que puede ser transmitida a través una sección o estructura de un determinado material, por unidad de tiempo y gradiente de temperatura³³.

- **Difusividad**

Es la medición de velocidad o flujo de difusión del calor sobre el concreto. Los materiales con altas difusividad térmicas ajustan rápidamente su temperatura a la de su alrededor, en el caso de las probetas de concreto su difusividad térmica es baja³⁴.

- **Coefficiente de dilatación térmica**

Se considera como el incremento proporcional que experimenta el material al ser sometido a aumentos temperaturas Si se dan en condiciones de

³² 'Resistencia Al Fuego'

<<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Temall.2.3.6.TERMICAS.ResistenciaFuego.pdf>> [accessed 15 September 2017].

³³Sika.

³⁴ D. Patricio Jiménez Madrid and José Calvo López Carlos José Parra Costa, 'COMPORTAMIENTO DEL HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA FRENTE AL FUEGO', 2009 <<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/tutorial106.pdf>> [accessed 15 September 2017].

confinamiento puede ejercer grandes presiones y hacer que se dañe el concreto, no sólo por tracción o cizalla, sino incluso por compresión³⁵.

5.2.3 Cambios físicos del concreto al ser sometido a altas temperaturas

• Micro fisuras y Cuarteaduras en Mapa

Generada por la contracción térmica que sufre el concreto al ser sometido a altas temperaturas, llegando a ocasionar en la estructura planos de falla a lo largo de esta³⁶.

• Desintegración por Fatiga

Se le conoce como el desprendimiento de la superficie externa del concreto de una estructura al ser sometida a grandes temperaturas durante un período de tiempo prolongado³⁷.

• Coloración

Se produce un cambio en la tonalidad interna y externa de la estructura, su tonalidad varía dependiendo de las altas temperaturas a la que la estructura es expuesta³⁸.

³⁵ Nelson Hernández, 'Efecto Del Fuego Sobre La Resistencia a Compresion de Un Elemento de Concreto de Resistencia de Diseño de 210 Kg/cm 2', 17.2 (2010), 38–43 <<http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/v17n2/art04.pdf>> [accessed 9 September 2017].

³⁶ Manuel. Fernández Cánovas, *Patología Y Terapéutica Del Hormigón Armado* (Dossat, 1984) <<http://imcyc.com/biblioteca/ArchivosPDF/Patologia de la Construcción/4 Patologia y Terapeutica Del Hormigon Armado.pdf>>.

³⁷ Fernández Cánovas.

³⁸ Fernández Cánovas.

Una estructura de concreto al ser sometida a altas de temperatura genera una serie de alteración drástica en su resistencia, de igual forma se producen unos cambios en la tonalidad de la estructura todo esto en función de la temperatura a la que estos sean expuestos. Estos cambios de coloración que se generan son de gran importancia en la patología del concreto, ya que pueden servir como índice para determinar la pérdida de resistencia y los cambios de condiciones que ha experimentado el concreto³⁹, como se puede notar en la tabla 1 (Influencia de la Temperatura Sobre la Coloración y Pérdida de Resistencia del Concreto), donde se evidencia que, a mayor temperatura, la reducción de la resistencia del concreto expuesto va disminuir de forma considerable hasta llegar a una resistencia a la compresión de 0% a una temperatura de 1000 °C, actuando la temperatura de manera inversamente proporcional sobre el concreto y su resistencia como se nota en la gráfica 1 (Influencia de la temperatura sobre la resistencia a compresión del hormigón).

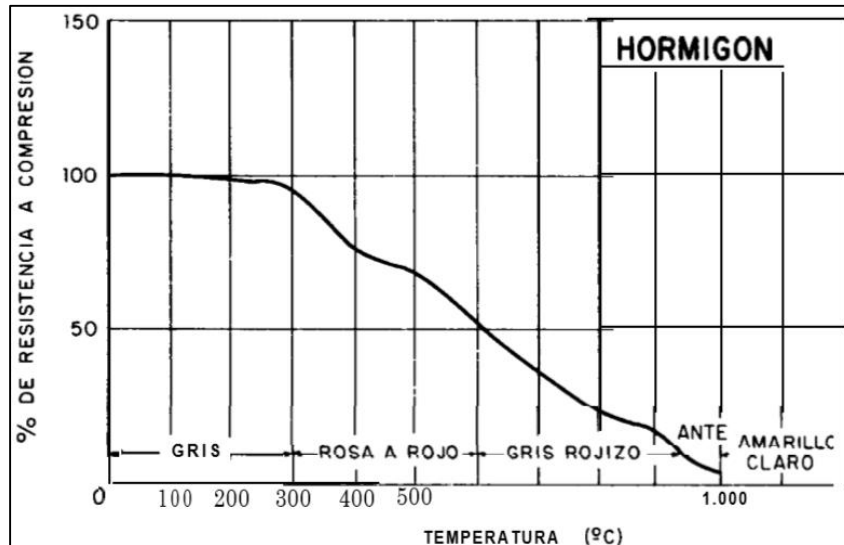
Tabla 1 Influencia de la Temperatura Sobre la Coloración y Pérdida de Resistencia del Concreto

Temperatura (°C)	Color del concreto	Resistencia Residual (%)
20	Gris	100
200	Gris	95
300	Rosa	95
400	Rosa	80
500	Rosa	75
600	Rojo	55
900	Gris Rojizo	10
1000	Amarillo Anaranjado	0

Fuente: Tomado del libro “Patología y Terapéutica del Hormigón Armado”, (Manuel Fernández Cánovas)

³⁹ Fernández Cánovas.

Ilustración 7 Influencia de la temperatura sobre la resistencia a compresión del hormigón



Fuente: Tomado del libro “Patología y Terapéutica del Hormigón Armado”, (Manuel Fernández Cánovas)

• Calcinación Incipiente

El concreto no presenta mayor cambio en su coloración, pese a ello se puede identificar pequeñas microfisuras en forma de mapa, notado por su cambio de tonalidad (color gris natural), como se nota en la tabla 2, (color y daño del concreto estructural)⁴⁰.

• Calcinación Superficial

Se puede observar una leve coloración amarillenta que puede dar origen a una des carbonatación, además presenta un fisura miento térmico por alabeo (color rosado)⁴¹.

⁴⁰ Avendaño Rodríguez, 'Detección Tratamiento Y Prevención de Patologías En Sistemas de Concreto Estructural Utilizados En Infraestructura Industrial', 2006
<<http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/936/27252.pdf?sequence=1>>.

⁴¹ Rodríguez.

Tabla 2 Color y Daño del Concreto Estructural

RANGO TEMPERATURA (°C)	COLORACIÓN SUPERFICIAL	DAÑO
0 – 300	Gris natural	Calcinación incipiente: Microfisuras y mapeo superficial
300 – 600	Rosado	Calcinación superficial: Fisuración térmica por alabeo y descarbonatación superficial
600 – 900	Gris claro	Calcinación avanzada: Descarbonatación profunda y pérdidas de masa por descascaramiento
> 900	Blanco o amarillo claro	Calcinación muy avanzada: Descarbonatación avanzada y pérdida de masa

Fuente: Detección tratamiento y prevención de patologías en sistemas de concreto estructural utilizados en infraestructura industrial, Universidad de Costa Rica, 2006

5.3 MARCO HISTÓRICO

Los incendios en edificaciones son eventos que se han presentado a través de la historia como una amenaza a la seguridad tanto de las personas que se encuentran en ellas como a la misma estructura. A nivel nacional existe una normativa que es cada vez más exigente para prevenir y tratar de minimizar sus efectos como es la NSR 10 y su sección J. Sin embargo, el riesgo de que ocurra un incendio siempre está vigente, y aunado a las grandes construcciones en donde se alberga mayor cantidad de personas en centros comerciales y oficinas, este riesgo es aún mayor⁴².

⁴² Eilin Castillo Jáquez, 'Análisis Del Artículo " Effect of Fire on Concrete Structures "', 2013 <[https://portal.uah.es/portal/page/portal/GP_EPD/PG-MA-ASIG/PG-ASIG-200637/TAB42359/Efecto del fuego en las estructuras de hormigon \(Eilin Castillo\).pdf](https://portal.uah.es/portal/page/portal/GP_EPD/PG-MA-ASIG/PG-ASIG-200637/TAB42359/Efecto%20del%20fuego%20en%20las%20estructuras%20de%20hormigon%20(Eilin%20Castillo).pdf)> [accessed 8 September 2017].

Colombia ha sido un claro ejemplo de este flagelo en edificaciones y posterior la rehabilitación de las misma. Bogotá ha sido una de las ciudades que más ha sufrido con estos eventos. De los cuales se tiene memoria de los atentados terroristas al Palacio de justicia en 1985 y el Club el Nogal en el 2003, eventos que su principal amenaza fue el fuego, generaron un impacto destructivo y catastrófico para las edificaciones, que llegaron a ocasionar hasta un 60% de daño en su infraestructura como fue el caso del Palacio de justicia.⁴³

Ilustración 8 Fotografía 5 Palacio de justicia en llamas 1985



Fuente:Semana.com

Algunos registros en la ciudad de Bogotá:

- Edificio Avianca: Julio 23 de 1973. Desde el piso 13 hasta el último nivel, el sistema hidráulico existente presentó fallas que impedían a las máquinas de bomberos inyectar agua adecuadamente, además, carecía de regaderas automáticas contra incendio.

⁴³ Carolina Arango Camacho and Derecho Bogotá, 'TERRORISMO Y SEGURO DE TERRORISMO. CONSIDERACIONES DE CARÁCTER JURÍDICO, ECONÓMICO Y SOCIAL', 2005 <[http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/derecho/dere7/DEFINITIVA/TESIS 24.pdf](http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/derecho/dere7/DEFINITIVA/TESIS%2024.pdf)> [accessed 14 September 2017].

- Almacén Éxito Fontibón: noviembre 17 de 2007. Destrucción total de la edificación de 4.500 metros cuadrados y colapso estructural. En su reconstrucción se instalaron regaderas automáticas contra incendio.

- Club El Nogal: Un atentado terrorista en el 2002 causó destrozos en tres pisos del Club, e inició un incendio en los pisos superiores al lugar de la explosión. Pese a contar con diez pisos y cinco escaleras, de las cuales solo una era cerrada, errores de construcción y deficiencias en sus equipos, no fue posible evacuar por las vías destinadas, y de igual modo no fue posible el ingreso de los bomberos. La gente fue evacuada por techos de las construcciones vecinas, ventanas laterales e incluso saltando al vacío. En este siniestro murieron 36 personas y más de 100 sufrieron lesiones.

En Bogotá, hay cerca de 1800 edificios altos, es decir, mayores a 23 metros de altura o un equivalente a siete pisos o más sobre el nivel del suelo, donde no pueden llegar máquinas aéreas y son imposibles de controlar desde afuera. En caso de presentarse un incendio en alguna de esas edificaciones, puede ocasionar un número de decesos mayor al registrado en las Torres gemelas de Nueva York en el 2001, por cuanto el combate exterior de un incendio en estos edificios no es posible. Son construcciones que deben tener incorporadas protecciones propias pues están fuera del alcance de la protección que pueda ofrecer el mejor cuerpo de bomberos del mundo⁴⁴.

⁴⁴ Proyecto de Acuerdo 141 de 2010 Concejo de Bogotá D.C., 'Proyecto de Acuerdo 141 de 2010 Concejo de Bogotá D.C.', 2010
<<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=39487>> [accessed 9 September 2017].

5.4 MARCO LEGAL

El ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial mediante la comisión asesora permanente para el régimen de construcciones sismo resistentes creado por la ley 400 de 1997 reglamenta la NSR-10 (Modificada ley 1229 de 2008), decreto 926 del 19 de marzo de 2010 y cada uno de sus títulos, dentro de los que se encuentra el título J, este hace referencia a los requisitos de protección contra incendios en edificaciones, en este título se especifica que toda edificación deberá cumplir con los requisitos correspondientes al uso de la edificación y su grupo de ocupación⁴⁵, de acuerdo a la clasificación dada por el mismo título. Sin embargo estos requisitos están basados en objetivos como: reducir el riesgo de incendios, evitar propagación del fuego, facilitar tareas de evacuación, facilitar proceso de extinción y minimizar el riesgo de colapso mientras labores de evacuación y extinción, cómo se puede evidenciar, en ningún momento se hace referencia a la resistencia de los elementos estructurales y mucho menos a materiales adicionales que se pueden usar para certificar un concreto que resista durante un largo periodo de tiempo altas temperaturas sin llegar a perder resistencia de forma significativa.

Con respecto a los ensayos de laboratorio que se realizarán en la presente investigación se deben nombrar las siguientes:

- INV E-402-13 Concreto para ensayos de compresión y flexión
- INV E-410-13 Resistencia a la compresión de cilindros de concreto

⁴⁵ Sísmica.

- INV E-415-13 Resistencia a la flexión del concreto método de la vigueta simple cargada en el punto central

- Norma internacional ASTM E 119 Métodos de Prueba Estándar para Pruebas de Fuego de Construcción de Edificios y Materiales.

6 METODOLOGÍA

6.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Análisis comparativo de resistencia a la falla por compresión y flexión de especímenes de concreto simple expuestos, sin exponer y expuestos con aditivo a 450°C, donde se pretende cuantificar la pérdida de resistencia que existe en este caso.

6.2 FUENTES DE INFORMACIÓN

Para el desarrollo de esta investigación se tuvieron en cuenta los diferentes artículos científicos encontrados en las bases de datos facilitadas por la universidad como ScienceDirect y Proquest y debidamente referenciados en la bibliografía del presente documento, adicionalmente se tomaron como referencia de procedimiento las Normas INV E-410-13 Resistencia a la compresión de cilindros de concreto, INV E-402-13 Concreto para ensayos de compresión y flexión y INV E-418-13 Resistencia a la flexión del concreto método de la vigueta simple cargada en el punto central.

7 DISEÑO METODOLÓGICO

7.1 DISEÑO DE PROBETAS DE CONCRETO

7.1.1 Equipos requeridos

Este proyecto se desarrolló en las instalaciones de los laboratorios de materiales y concreto con los equipos adecuados, proporcionados por la Universidad Católica de Colombia

- **Mezcladora de concreto**

Máquina diseñada para mezcla de grandes cantidades de concreto, estas utilizan sistema de impulsión eléctrico, su capacidad de mezcla oscila entre 42 y 84 litros.

Ilustración 9 Mezcladora de concreto



Fuente: Propia

- **Horno**

Este equipo cuenta con la capacidad de alcanzar altas temperaturas (450°C), contiene un tablero digital que permite graduar la temperatura y especificar el periodo de tiempo que se desea, su funcionamiento está en base a electricidad.

Ilustración 10 Horno de quemado



Fuente: Propia

- **MTS**

Esta máquina está compuesta por un equipo principal, una fuente hidráulica, un controlador y un sistema de control computarizado. Por otra parte, esta máquina para ensayos de compresión se caracteriza por sus funciones de carga automática a velocidad constante, con una capacidad máxima de carga de 300kN y una sensibilidad de 2.87 mV/V que garantiza la obtención de datos más precisos con un margen de error muy mínimos, visualización de los valores de fuerza se genera través de su pantalla digital, con procesamiento automático de los datos.

Ilustración 11 Prensa MTS



Fuente: Propia

• Prensa multiusos

Equipo requerido para la falla a flexión de viguetas de concreto, con el fin de obtener datos precisos en unidades de KN.

Ilustración 12 Prensa multiusos



Fuente: Propia

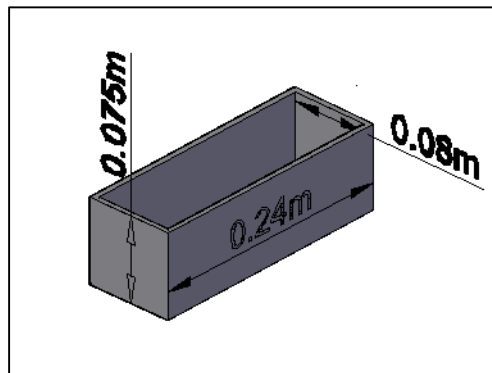
7.1.2 Dimensiones de las probetas

Camisas de viguetas sometidas a flexión

Para la realización del ensayo a flexión se fabricaron 12 camisas para las viguetas de concreto a fallar con una medida estándar.

- Ancho $b = 8.5 \text{ cm}$
- Alto $h = 7.5 \text{ cm}$
- Largo $L = 24 \text{ cm}$

Ilustración 13 Dimensiones viguetas



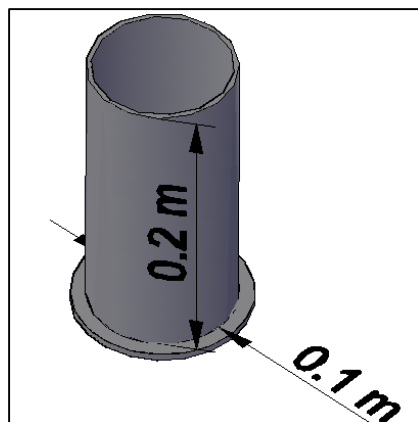
Fuente: Propia

Camisas de cilindros sometidos a compresión

Para la realización del ensayo a compresión se utilizaron 15 camisas ya existentes en el laboratorio con una medida estándar especificada por la norma ASTM C-39, C,192, para el ensayo a compresión de cilindros de concreto.

- Alto $h = 20 \text{ cm}$
- Diámetro $d = 10 \text{ cm}$

Ilustración 14 Dimensiones cilindros



Fuente: Propia

7.1.3 Diseño de mezcla de concreto

El diseño de mezclas de concreto es un proceso que consiste en la selección detallada de los ingredientes disponibles para su fabricación (cemento, agregados, agua y aditivos), con el fin de determinar sus cantidades relativas para producir de manera óptima una mezcla adecuada evitando así pérdidas económicas, en este caso se decidió utilizar una mezcla con proporción 1:2:2 para el adecuado desarrollo del presente trabajo de investigación.

- Calculo de material para diseño de cilindros de concreto

Tabla 3 Calculo material a utilizar para cilindros

CANTIDAD DE CONCRETO 1:2:2 (1 m ³)		
CEMENTO	ARENA	GRAVA
420,00 Kg	0,67 m ³	0,67 m ³
8 BULTOS	AGUA	9%

VOLUMEN PROBETA	
Altura	0,200 m
Diámetro	0,100 m
Volumen c/u	0,0016 m ³

VOLUMEN TOTAL PROBETAS	
N° PROBETAS	15
VOLUMEN	0,02 m ³

CANTIDADES (15 PROBETAS)		
CEMENTO	ARENA	GRAVA
0,21 BULTOS	0,011 m ³	0,011 m ³
10,39 Kg	19,32 Kg.	21,60 Kg.

Fuente: Propia

- Calculo de material para viguetas de concreto

Tabla 4 Calculo material a utilizar para viguetas

CANTIDAD DE CONCRETO 1:2:2 (1 m ³)		
CEMENTO	ARENA	GRAVA
420,00 Kg	0,67 m ³	0,67 m ³
8 BULTOS	AGUA	9%

VOLUMEN VIGUETA	
Altura	0,080 m
Largo	0,190 m
Ancho	0,080 m
Volumen c/u	0,0012 m ³

VOLUMEN TOTAL VIGUETAS	
N° PROBETAS	9
VOLUMEN	0,01 m ³

CANTIDADES (12 PROBETAS)		
CEMENTO	ARENA	GRAVA
0,10 BULTOS	0,005 m ³	0,005 m ³
4,83 Kg	8,97 Kg.	10,03 Kg.

Fuente: Propia

- Mezcla total concreto requerido en proporción (1:2:2) para el proyecto

Tabla 5 Diseño total mezcla

CANTIDAD TOTAL (27 PROBETAS)		
CEMENTO	ARENA	GRAVA
0,30 BULTOS	0,017 m ³	0,017 m ³
15,22 Kg	28,30 Kg.	31,63 Kg.

Fuente: Propia

7.1.3.1 Aditivo EUCON 37

Se trabajó con un aditivo reductor de agua de alto poder, proporcionado por Toxement, con el fin de determinar mediante ensayos de compresión y flexión que si existe alguna mejora en la resistencia del concreto al ser sometido a alta temperatura.

Ilustración 15 Dimensiones cilindros



Fuente: Propia

7.1.3.2 Ficha técnica aditivo implementado (Eucon 37)

Tabla 6 Ficha técnica aditivo

FICHA TECNICA ADITIVO EUCON 37
Información Técnica
Apariencia : Líquido de baja viscosidad Color : Café Densidad : 1.185 kg/l +/- 0.02 kg/l
Usos
EUCON 37 es especialmente recomendado cuando se requiere: <ul style="list-style-type: none">• Concreto de alto desempeño.• Concreto premezclado en general• Concreto fuertemente reforzado• Concreto para losas y concreto masivo• Concreto con relación baja de agua / cemento• Concreto superfluido
Ventajas
<ul style="list-style-type: none">• Reduce la permeabilidad de la mezcla.• Aumenta la resistencia del concreto a aguas agresivas.• Aumenta las resistencias mecánicas a temprana edad para un pronto desencofrado.• Densifica el concreto y disminuye el riesgo de hormigueros.• Acelera las resistencias de diseño.

Fuente: Toxement

7.1.4 Proceso de preparación de probetas

Granulometría de agregados

Ilustración 16 Granulometría de agregados gruesos para la mezcla



Fuente: Propia

Mezcla de material

Ilustración 17 Mezcla de materiales para la fabricación del concreto

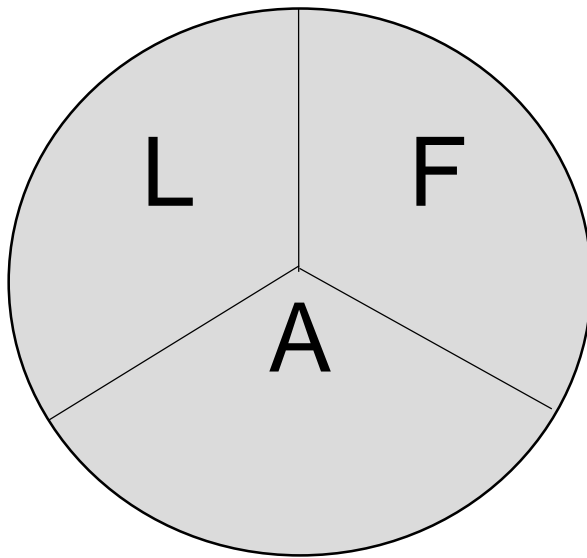


Fuente: Propia

7.1.5 División de la mezcla

Durante la preparación de la mezcla se dividió la misma en 3 parte iguales, de los cuales dos tercios ($2/3$) de esta se dejaron en estado normal, y al tercio sobrante se le fue agregado el aditivo EUCON 37, para evaluar su comportamiento al ser sometido a altas temperaturas.

Ilustración 18 Fracciones de la mezcla



L	Mezcla en estado normal.
F	Mezcla en estado normal expuesta al fuego.
A	Mezcla con aditivo expuesta al fuego.

Fuente: Propia

7.1.6 Dosificación de aditivo

Para el uso del aditivo de alta resistencia en la mezcla de concreto se estudió su ficha técnica y se identificó que la dosis de EUCON 37 está dada en una proporción 0,9% del peso del cemento usado en la mezcla, o sea de 450 g de EUCON 37 por saco de cemento de 50 kg, con lo genera relaciones bajas de agua/cemento en la mezcla.

Ilustración 19 Dosis de aditivo Eucon 37 para la mezcla



Fuente: Propia

Tabla 6 Dosis de aditivo Eucon 37 para la mezcla

Dosis de Eucon 37 para un bulto de cemento		
Cantidad cemento		Dosis eucon 37 (0.09%)
kg	g	g
50	50000	450
Cantidad de Eucon 37 para mezcla total (27 probetas)		
Cantidad cemento		Dosis eucon 37 (0.09%)
kg	g	g
16.33	16330	146.97

Fuente: Propia

Ilustración 20 Encofrado de muestras de concreto



Fuente: Propia

7.1.7 Curado probetas de concreto

Metodo de curado de probetas de concreto cilindricas y tipo viguetas mediante el metodo de hidratación directa, para las muestras a los 7, 14 y 28 dias de curado.

Ilustración 21 Curado de probetas de concreto por hidratación directa

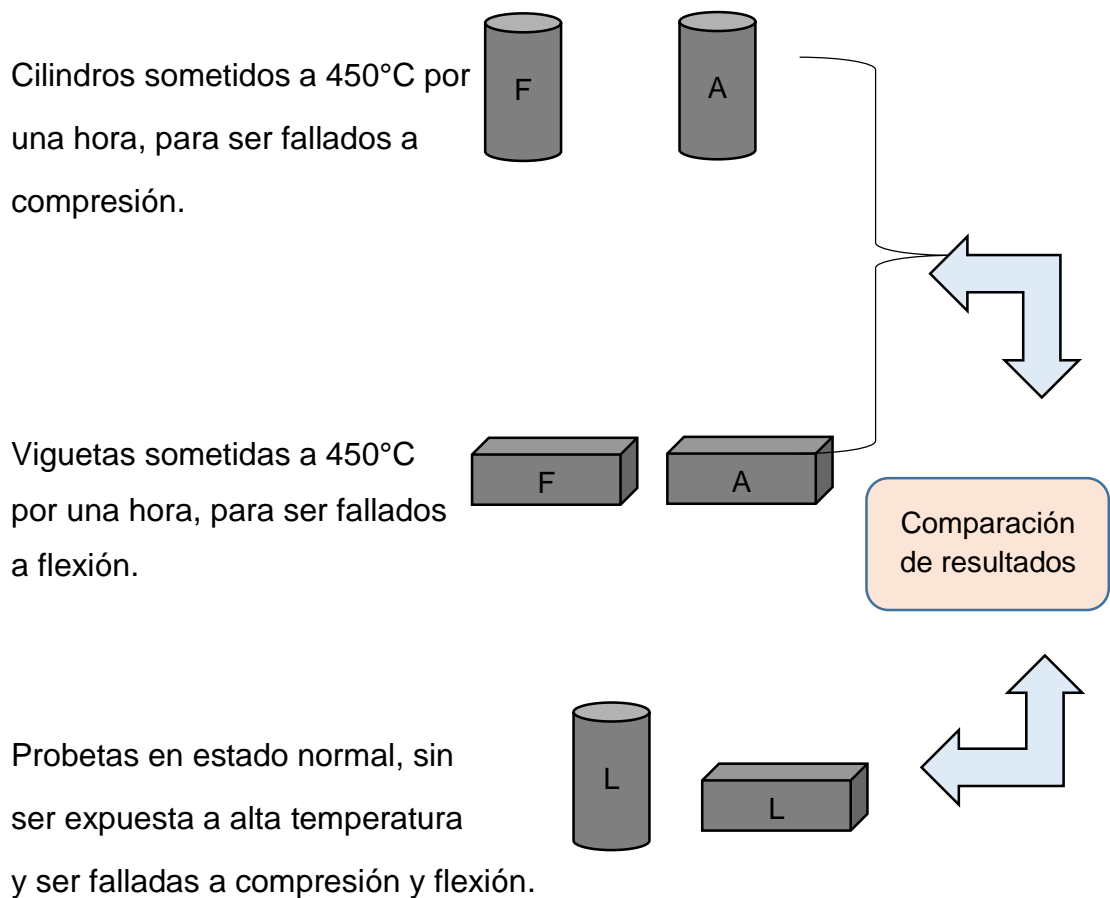


Fuente: Propia

8 EXPOSICIÓN DE PROBETAS A ALTAS TEMPERATURAS

Para la exposición de las probetas de concreto expuestas a altas temperaturas se establecieron parámetros de tiempo a una temperatura graduable determinada, de 450°C por un periodo de tiempo de una hora sometida a tal temperatura, en los cuales se observaron cambios físicos y mecánicos en las probetas teniendo como punto de comparación probetas en estado normal sin ser sometidas a tales temperaturas.

8.1 PROCESO DE EVALUACIÓN DE MUESTRAS EXPUESTAS A 450°C A LOS 7, 14 Y 28 DÍAS DE FRAGUADO



9 SISTEMA DE QUEMADO

Luego de establecido el número de probetas tanto cilíndricas como tipo vigueta a someter a una alta temperatura a sus 7, 14 y 28 días de curado y evaluar su resistencia y cambios físicos presentes en estas, se procede al quemado de dichas muestras en un horno eléctrico con temperatura graduable, a una temperatura determinada de 450°C en un periodo de tiempo de 1 hora, con el fin de que exista un quemado uniforme en todas las muestras y poder identificar la acción de la temperatura sobre estos.

Ilustración 22 Muestras a los 7 días de curado, antes de ser sometidas a altas temperaturas



Fuente: Propia

10 ENSAYOS DE PROBETAS

Se procede a realizar el ensayo tanto a flexión como a compresión para cada una de las viguetas y cilindros de concreto sometidos o no a altas temperaturas con el fin de determinar la variabilidad de la resistencia del concreto en condiciones normales y expuesta a una temperatura de 450°C, siguiendo de manera correcta cada uno de los parámetros especificados por las normas INV E-410-13 Resistencia a la compresión de cilindros de concreto y INV E-418-13 Resistencia a la flexión del concreto método de la viga simple cargada en el punto central, para obtener resultados precisos.

Ilustración 23 Ensayo a compresión de muestras cilíndricas de concreto



Fuente: Propia

Ilustración 24 Ensayo a flexión de probetas tipo viga de concreto



Fuente: Propia

Ilustración 25 Falla a flexión de probetas tipo viga de concreto



Fuente: Propia

11 RESULTADOS

Calculo para determinar la resistencia a compresión máxima soportada por la muestra en estado normal a los 28 días de curado

Ilustración 26 Fotografía 22: Muestra en estado normal a los 28 días de curado



Fuente: Propia

11.1 CALCULO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO

Datos de ensayo a compresión

Cilindro de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura.

Carga máxima: Carga máxima (P Max) alcanzada por la muestra en el ensayo a compresión fue de 155.256 KN.

$$P_{max} = 15831.76 \text{ Kgf}$$

Resistencia ultima:

La resistencia última se determina a partir de la siguiente ecuación:

R. ultima de la muestra = R u

$$Ru = \frac{Pmax}{S}$$

Donde

P Max: Carga máxima aplicada.

S: Sección transversal del cilindro utilizado

$$S = \pi * \frac{10.1^2}{4}$$

$$S = 80.12 \text{ cm}^2$$

A partir de esto se determinó la resistencia última o el esfuerzo máximo:

$$Rum = \frac{15831.76 \text{ Kgf}}{80.12 \text{ cm}^2}$$

$$Ru = 197.60 \text{ Kgf/cm}^2$$

$$Rum = \frac{197.60 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}}{0.07}$$

Resistencia máxima soportada por la muestra en estado normal a los 28 días de curado en Psi

$$Rum = 2822.92 \text{ PSI}$$

11.2 RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS MUESTRAS FALLADAS A COMPRESIÓN, LUEGO DE SER SOMETIDAS A ALTAS TEMPERATURAS

Tabla 7 Datos de laboratorio para probetas de concreto sometidas a compresión

PROBETA No	DÍAMETRO (mm)	TIEMPO A LA FALLA (DÍAS)	CARGA MAX FALLA (KN)	CARGA MAX FALLA (Kgf)
L1	101	7	29.41	2822.00
	99			
	100			
F1	100	7	24.76	2524.83
	101			
	102			
A1	99	7	33.39	3404.85
	98			
	100			
L2	100	14	105.174	10724.80
	102			
	101			
F2	102	14	72.19	7361.36
	101			
	101			
A2	100	14	85.967	8766.23
	102			
	102			
L3	101	28	155.256	15831.76
	102			
	100			
F3	102	28	115.659	11793.98
	103			
	101			
A3	99	28	125.659	12813.70
	101			
	102			

Fuente: Propia

Tabla 8 Diámetro promedio, área y carga a la falla por compresión

PROBETA No	DIAS	DIAMETRO PROMEDIO (mm)	ÁREA (Cm ²)	CARGA MAX A LA FALLA (Kgf)
L1	7	100	78.54	2822.00
F1		101	80.12	2524.83
A1		99	76.98	3404.85
L2	14	101	80.12	10724.80
F2		101.33	80.64	7361.36
A2		101.33	80.64	8766.23
L3	28	101	80.12	15831.76
F3		102	81.71	11793.98
A3		100.67	79.60	12813.70

Fuente: Propia

Tabla 9 Resistencia a compresión para probetas de concreto

PROBETA No.	<i>Ru</i> (Kgf/cm ²)	<i>Ru</i> (psi)
L1	38.18	545.49
F1	31.51	450.20
A1	44.23	631.89
L2	133.86	1912.31
F2	91.28	1304.05
A2	108.70	1552.92
L3	197.60	2822.92
F3	144.33	2061.92
A3	160.98	2299.78

Fuente: Propia

11.2.1 Porcentaje de la resistencia a compresión perdida por el concreto al ser sometido a altas temperaturas y en condiciones normales

Tabla 10 Porcentaje de resistencia a la compresión perdida por el concreto al ser sometido a altas temperaturas

7 DIAS	
	RESISTENCIA (psi)
L	545.49
F	450.20
DIFERENCIA	95.30
	17%

14 DIAS	
	RESISTENCIA (psi)
L	1912.31
F	1304.05
DIFERENCIA	608.26
	32%

28 DIAS	
	RESISTENCIA (psi)
L	2822.92
F	2061.92
DIFERENCIA	761.00
	27%

7 DIAS	
	RESISTENCIA (psi)
L	545.49
A	631.89
DIFERENCIA	-86.39
	-16%

14 DIAS	
	RESISTENCIA (psi)
L	1912.31
A	1552.92
DIFERENCIA	359.39
	19%

28 DIAS	
	RESISTENCIA (psi)
L	2822.92
A	2299.78
DIFERENCIA	523.14
	19%

7 DIAS	
	RESISTENCIA (psi)
F	450.20
A	631.89
DIFERENCIA	181.69
	-40%

14 DIAS	
	RESISTENCIA (psi)
F	1304.05
A	1552.92
DIFERENCIA	248.87
	-19%

28 DIAS	
	RESISTENCIA (psi)
F	2061.92
A	2299.78
DIFERENCIA	237.86
	-12%

Fuente: Propia

Ilustración 27 Falla a compresión de cilindro con aditivo a los 28 días de curado



Fuente: Propia

Ilustración 28 Falla a compresión de cilindros a los 7 días de curado



Fuente: Propia

Ilustración 29 Falla a compresión de cilindros a los 14 días de curado



Fuente: Propia

Ilustración 30 Falla a compresión de cilindros 28 días de curado



Fuente: Propia

11.3 RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS MUESTRAS FALLADAS A FLEXIÓN

Tabla 11 Carga de falla contra días de curado

L		F		A	
DIAS	CARGA FALLA (KN)	DIAS	CARGA FALLA (KN)	DIAS	CARGA FALLA (KN)
7	1.65	7	1.56	7	1.79
14	4.2	14	2.38	14	3.1
28	5.32	28	2.7	28	3.2

Fuente: propia.

Calculo para determinar la resistencia a flexión máxima soportada por la muestra en estado normal a los 7, 14 y 28 días de curado.

Con base en I.N.V. E – 415 – 13 en su numeral 6, se calcula la resistencia a la flexión usando la siguiente formula:

$$R = \frac{3 P l}{2 b d^2}$$

Donde:

R = Módulo de rotura, MPa (psi)

P = Máxima carga aplicada indicada por la máquina de ensayo, N (lbf)

L = Longitud de la luz, mm (in)

b = Ancho promedio del espécimen en el punto de fractura, mm (in)

d = Altura promedio del espécimen en el punto de fractura, mm (in)

Es importante aclarar que este cálculo solo se aplica cuando la falla ha ocurrido en el tercio central de la luz, en este caso todas las fallas se presentaron en el tercio central por lo que no fue necesario recurrir a un cálculo diferente, en el anterior calculo no se incluye la masa de la viga

Tabla 12 Resistencia a la flexión viguetas

	DIAS	CARGA FALLA (KN)	RESISTENCIA (MPa)	RESISTENCIA (psi)
L	7	1.65	1.13	164.51
	14	4.20	2.89	418.75
	28	5.32	3.66	530.42
F	7	1.56	1.07	155.54
	14	2.38	1.64	237.29
	28	2.70	1.86	269.20
A	7	1.79	1.23	178.47
	14	3.10	2.13	309.08
	28	3.20	2.20	319.05

Fuente: Propia

11.3.1 Porcentaje de la resistencia a flexión perdida por el concreto al ser sometido a altas temperaturas y en condiciones normales

Tabla 13 Porcentaje de resistencia a la compresión perdida por el concreto al ser sometido a altas temperaturas

7 DIAS		14 DIAS		28 DIAS	
	RESISTENCIA (psi)		RESISTENCIA (psi)		RESISTENCIA (psi)
L	164.51	L	418.75	L	530.42
F	155.54	F	237.29	F	269.20
DIFERENCIA	8.97	DIFERENCIA	181.46	DIFERENCIA	261.22
	5%		43%		49%

7 DIAS		14 DIAS		28 DIAS	
	RESISTENCIA (psi)		RESISTENCIA (psi)		RESISTENCIA (psi)
L	164.51	L	418.75	L	530.42
A	178.47	A	309.08	A	319.05
DIFERENCIA	-13.96	DIFERENCIA	109.67	DIFERENCIA	211.37
	-8%		26%		40%

7 DIAS		14 DIAS		28 DIAS	
	RESISTENCIA (psi)		RESISTENCIA (psi)		RESISTENCIA (psi)
F	155.54	F	237.29	F	269.20
A	178.47	A	309.08	A	319.05
DIFERENCIA	-22.93	DIFERENCIA	-71.79	DIFERENCIA	-49.85
	-15%		-30%		-19%

Fuente: Propia

Ilustración 31 Fotografía 26: Falla a flexión de vigueta en estado normal a los 14 días de curado



Fuente: Propia

Ilustración 32 Falla a flexión de viguetas a los 14 días de curado



Fuente: Propia

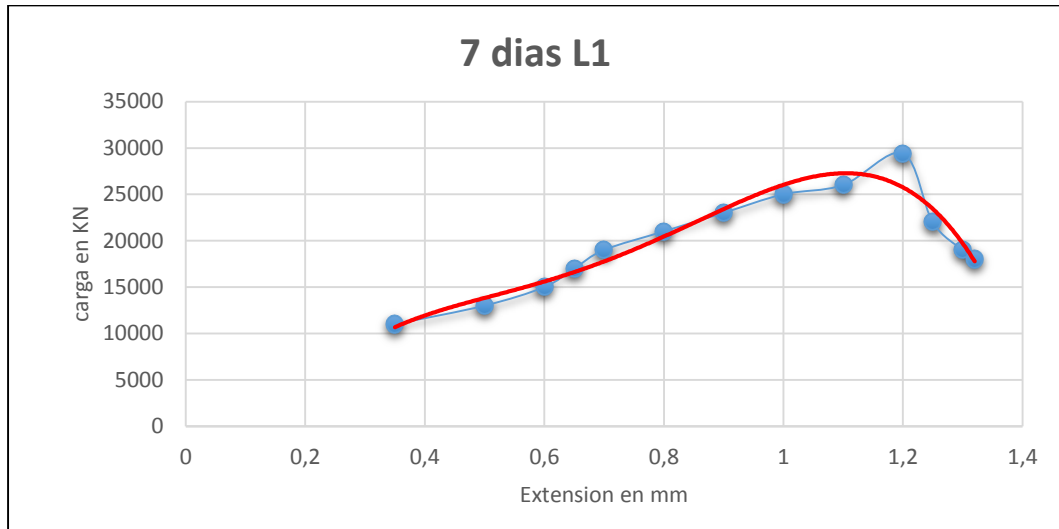
Ilustración 33 Falla a flexión de viguetas a los 28 días de curado



Fuente: Propia

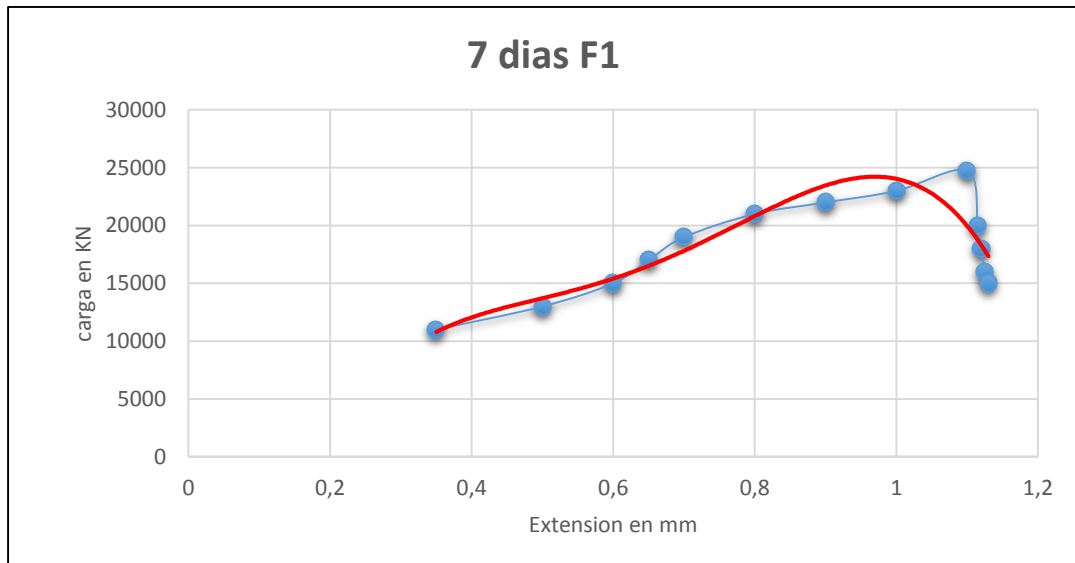
11.4 RESULTADOS GRÁFICOS PARA CILINDROS SOMETIDOS A COMPRESIÓN A LOS 7, 14 Y 28 DÍAS

Ilustración 34 Gráfico 2. Carga máxima soportada a los 7 días de curado en estado normal (L1)



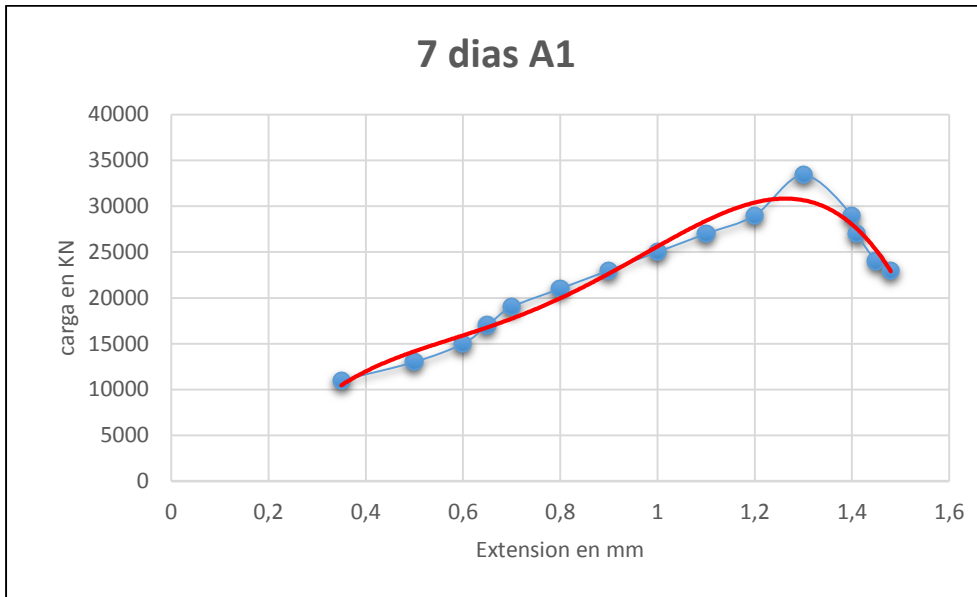
Fuente: Propia

Ilustración 35 Gráfico 3. Carga máxima soportada a los 7 días de curado sometido a altas temperaturas (F1)



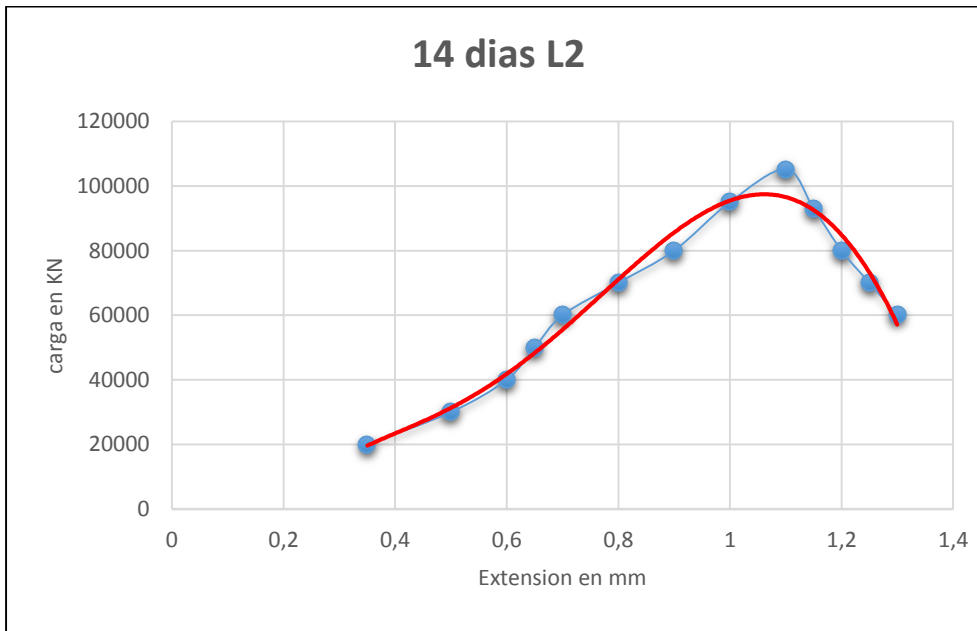
Fuente: Propia

Ilustración 36 Gráfico 4. Carga máxima soportada a los 7 días de curado sometido a altas temperaturas con aditivo (A1)



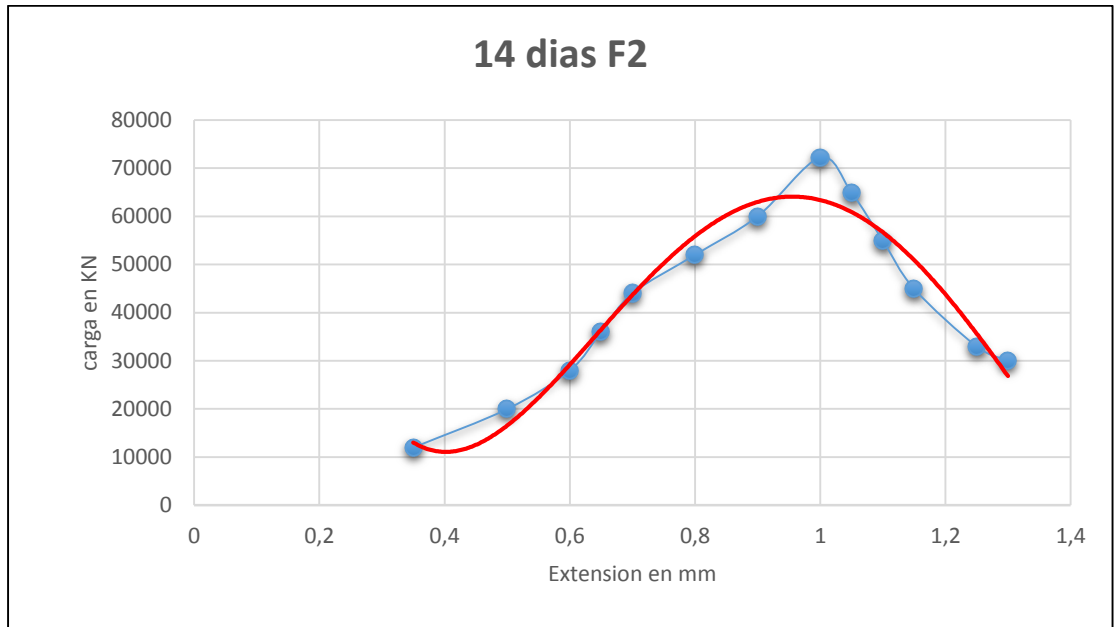
Fuente: Propia

Ilustración 37 Gráfico 5. Carga máxima soportada a los 14 días de curado en condiciones normales (L2)



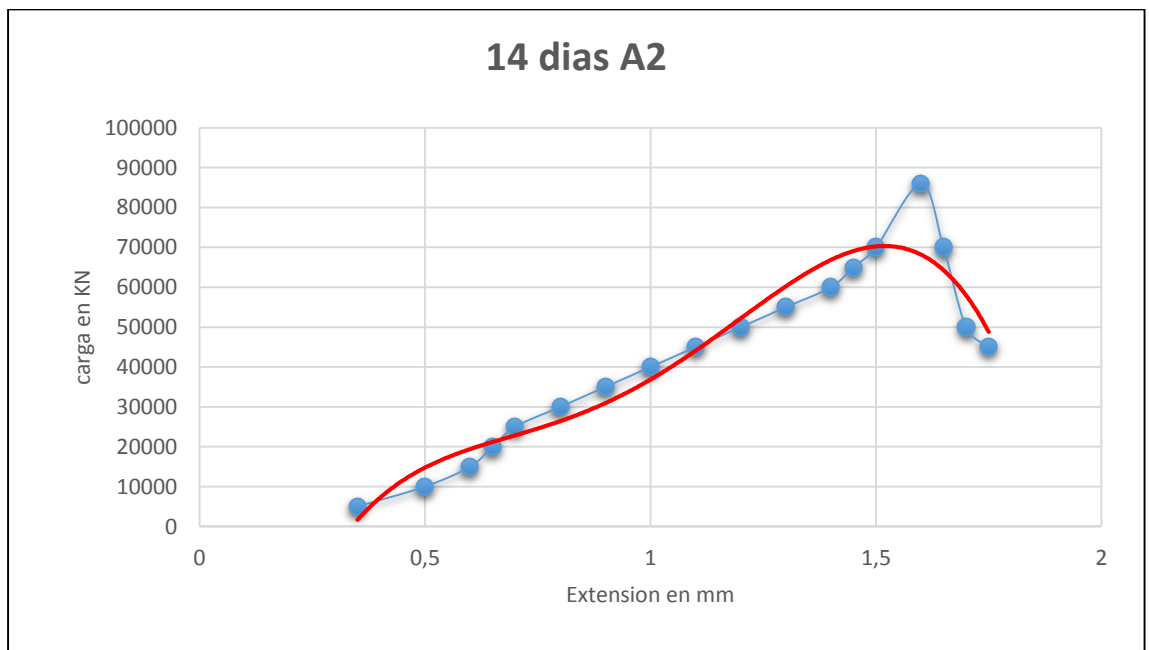
Fuente: Propia

Ilustración 38 Gráfico 6. Carga máxima soportada a los 14 días de curado en condiciones normales sometido a altas temperaturas (F2)



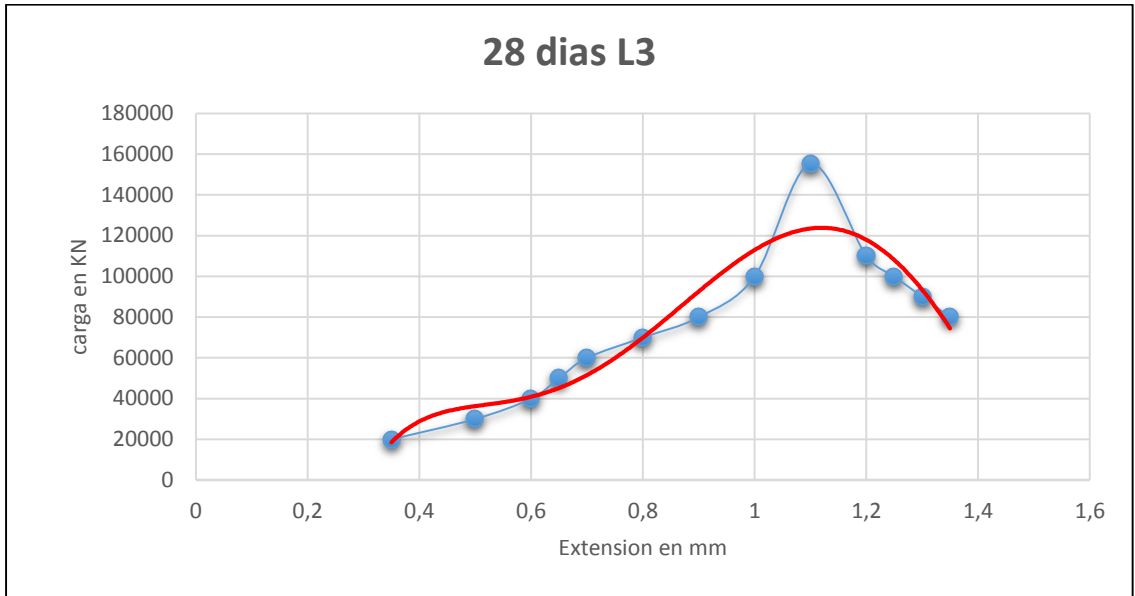
Fuente: Propia

Ilustración 39 Gráfico 7. Carga máxima soportada a los 14 días de curado con aditivo sometido a altas temperaturas (A2)



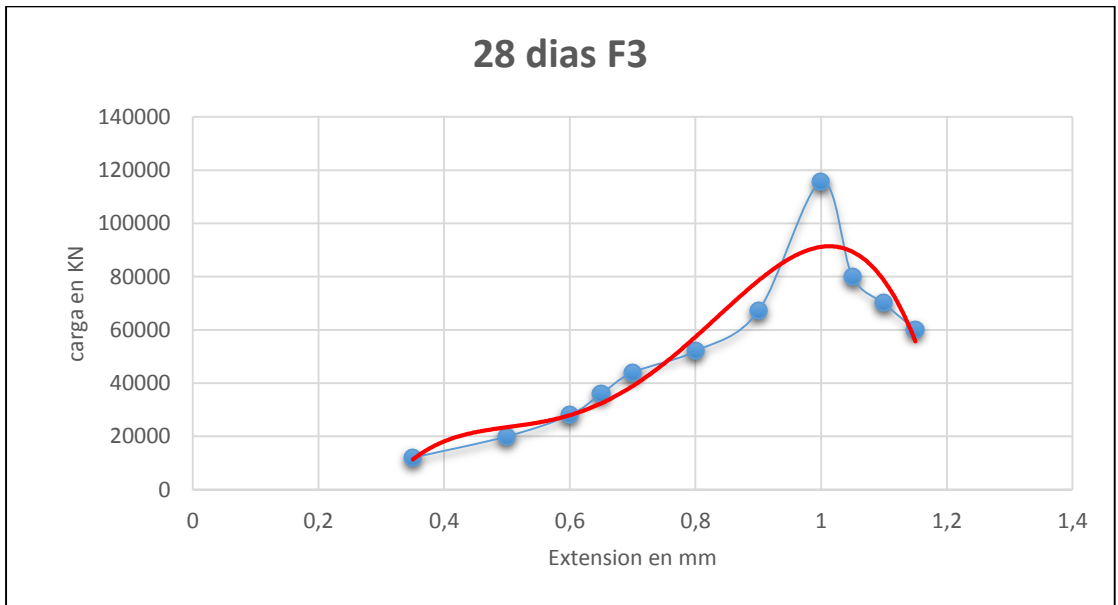
Fuente: Propia

Ilustración 40 Gráfico 8. Carga máxima soportada a los 28 días de curado en condiciones normales (L3)



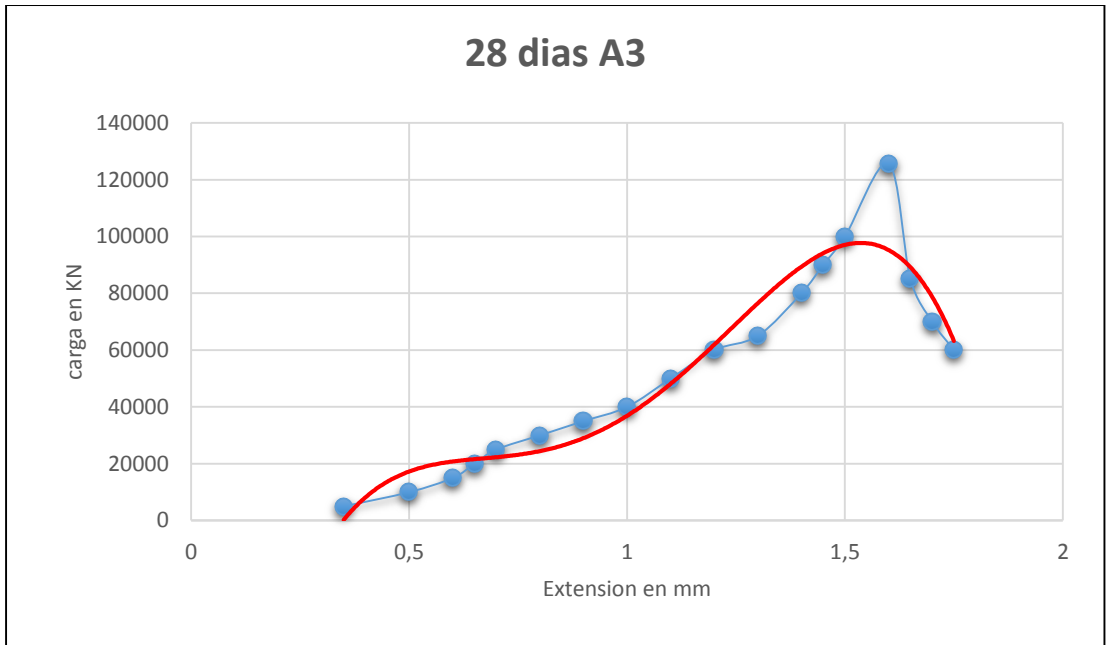
Fuente: Propia

Ilustración 41 Gráfico 9. Carga máxima soportada a los 28 días de curado en condiciones normales sometido a altas temperaturas (F3)



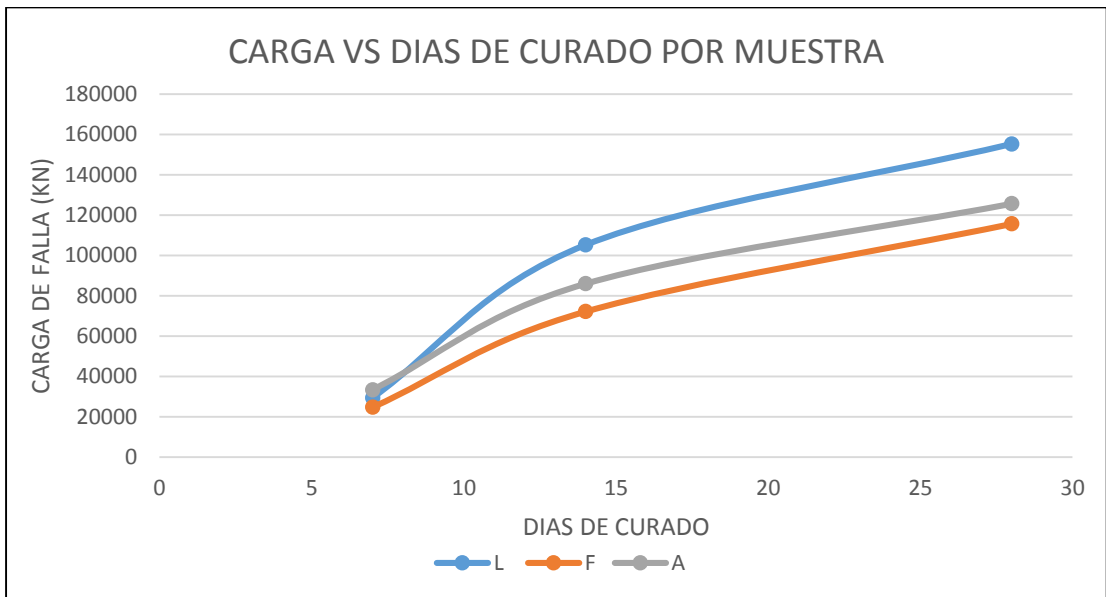
Fuente: Propia

Ilustración 42 Gráfico 10. Carga máxima soportada a los 28 días de curado con aditivo sometido a altas temperaturas (A3)



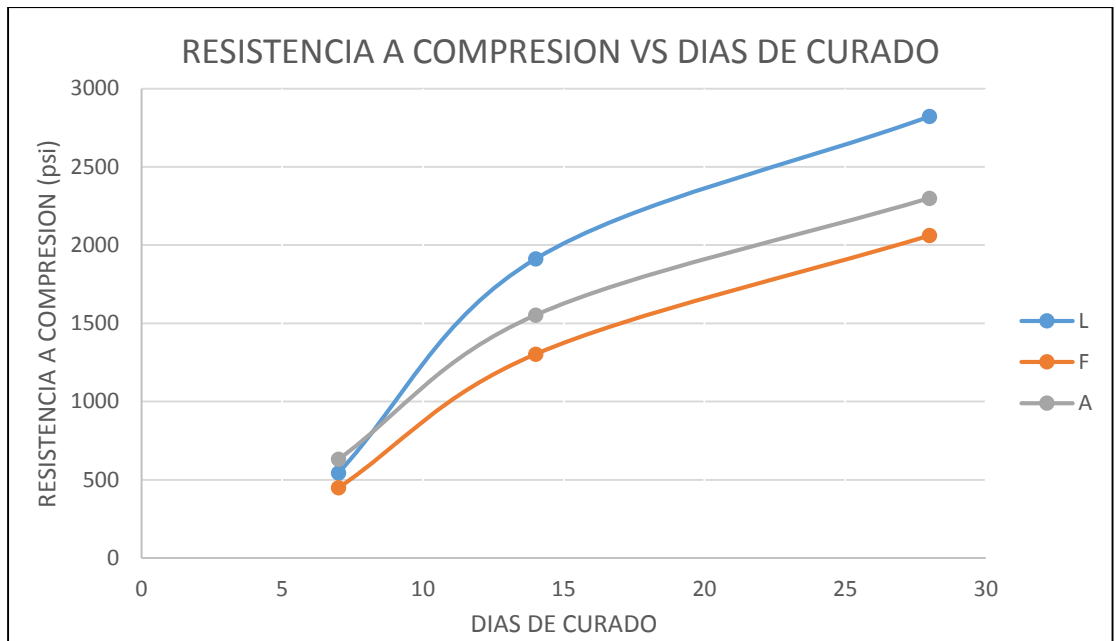
Fuente: Propia

Ilustración 43 Gráfico 11. Desarrollo de la carga a compresión de los cilindros durante el periodo de curado



Fuente: Propia

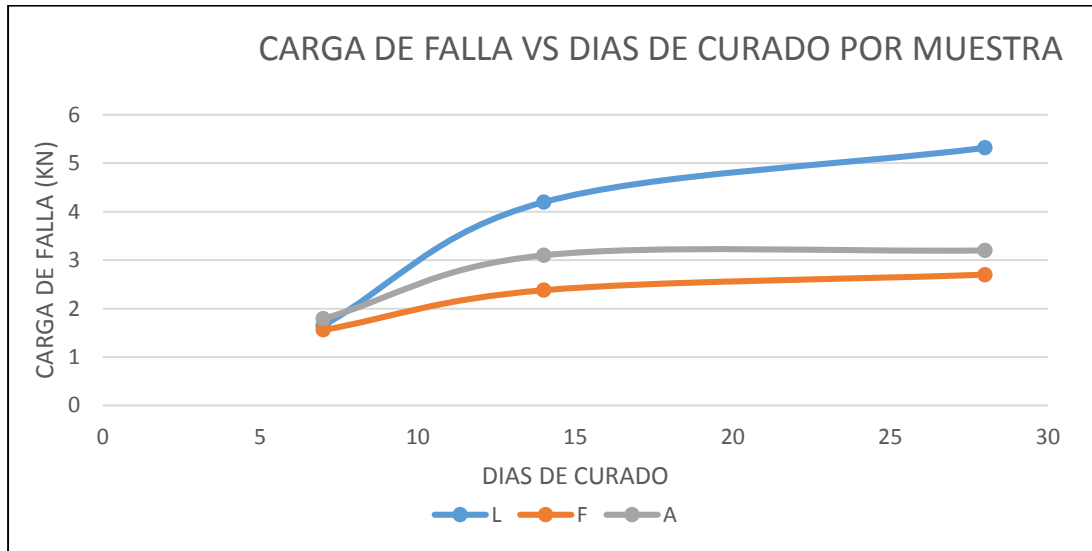
Ilustración 44 Gráfico 12. Resistencia a compresión probetas cilíndricas



Fuente: Propia.

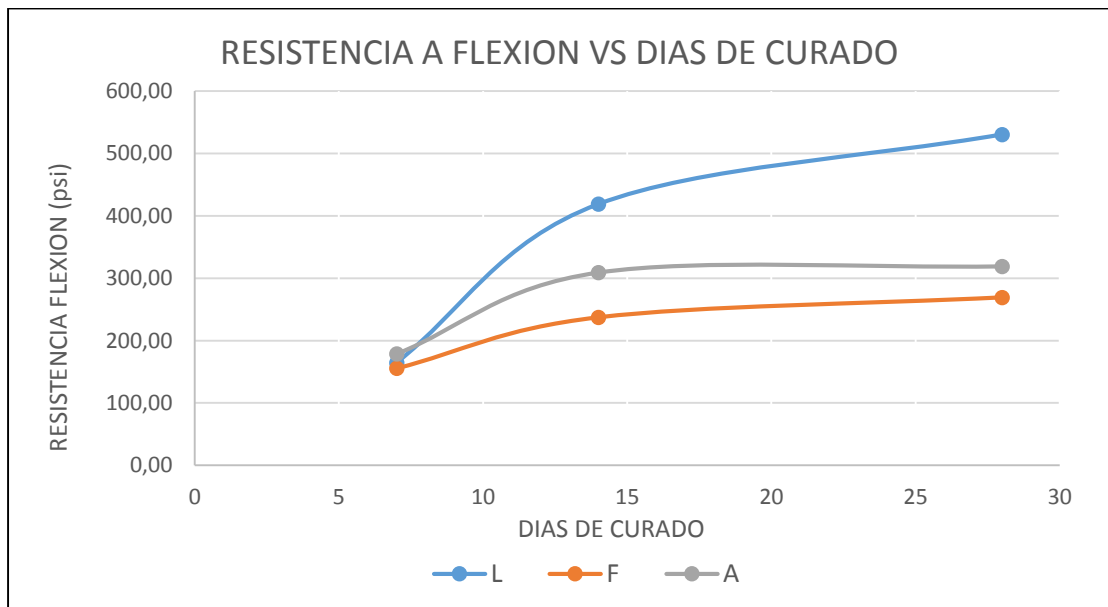
11.5 RESULTADOS GRÁFICOS PARA VIGUETAS SOMETIDAS A FLEXIÓN A LOS 7, 14 Y 28 DÍAS

Ilustración 45 Gráfico 13. Desarrollo de la carga a flexión de las viguetas durante el periodo de curado



Fuente: Propia


Ilustración 46 Gráfico 14. Resistencia a la flexión por muestra



Fuente: Propia

11.6 CAMBIOS FÍSICOS SUPERFICIALES PRESENTES EN EL CONCRETO LUEGO DE EXPUESTO A UNA TEMPERATURA DE 450°C

Tabla 14 Cambios presentes en el concreto luego de una hora expuesto a 450°

TIPO DE DAÑO	DESCRIPCIÓN	TIPO DE DAÑO	DESCRIPCIÓN
	<p>Microfisuras y Cuarteaduras en Mapa</p> <p>Microfisuras ocasionadas por contracción térmica con un ancho no mayor a 1mm.</p>		<p>Desintegración por fatiga o descascamiento</p> <p>Desprendimiento de la superficie externa del concreto, ocasionado por el choque térmico del concreto al ser sometido a una temperatura alta.</p>


Fuente: Propia

Tabla 15 Cambios presentes en el concreto luego de una hora expuesto a 450°C

TIPO DE DAÑO	DESCRIPCIÓN	TIPO DE DAÑO	DESCRIPCIÓN
	<p>Calcinación Superficial</p> <p>Se puede observar una leve coloración amarillenta que puede dar origen a una descarbonatación, además presenta un fisuramiento térmico por alabeo (color rosado).</p>		<p>Coloración</p> <p>Cambio en la tonalidad interna y externa del elemento (Rosado)</p>

Fuente: Propia

Tabla 16 Cambios presentes en el concreto luego de una hora expuesto a 450°C

TIPO DE DAÑO	DESCRIPCIÓN	TIPO DE DAÑO	DESCRIPCIÓN
 <p>A photograph of a cylindrical concrete specimen on a laboratory table. A red circle highlights the top surface, which shows several small, irregular cracks and a slightly darker, more textured appearance compared to the rest of the cylinder.</p>	<p>Calcinación Superficial</p> <p>Un leve cambio en su tonalidad acompañado de un fisuramiento térmico</p>	 <p>A photograph of a cylindrical concrete specimen on a laboratory table. A red circle highlights the side of the cylinder, which shows a distinct reddish-pink discoloration, particularly near the top edge, indicating internal and external color change.</p>	<p>Coloración</p> <p>Cambio en la tonalidad interna y externa del elemento (Rosado)</p>

Fuente: Propia

12 ANALISIS DE RESULTADOS

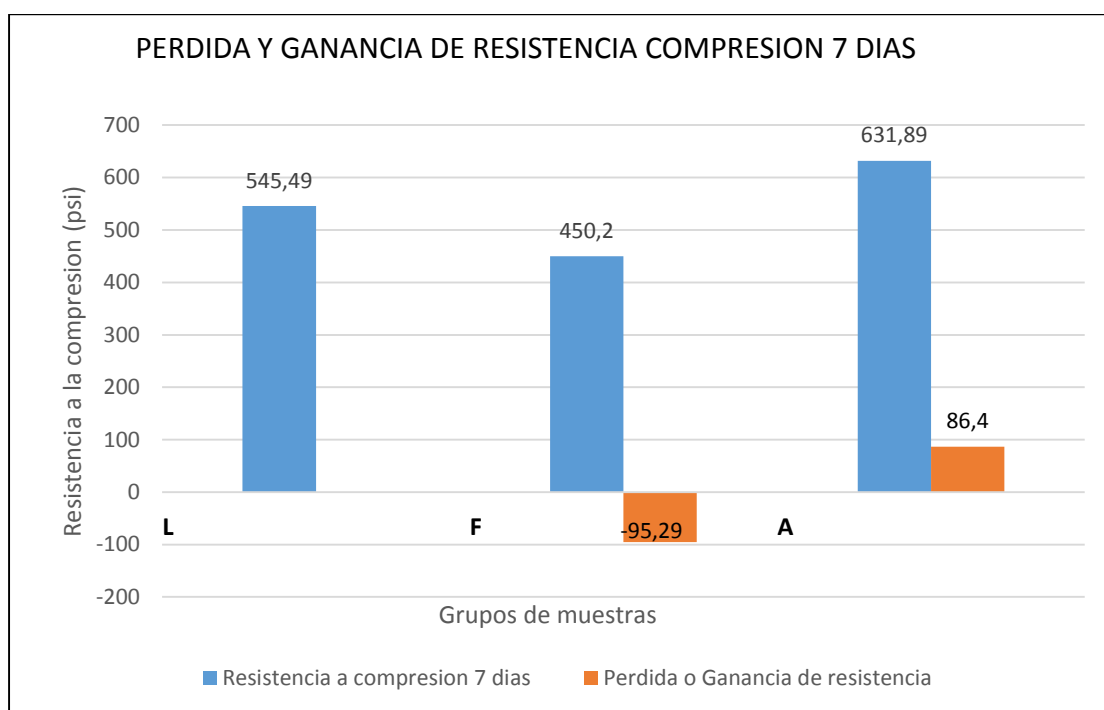
12.2. COMPRESION

En primer lugar, se debe comentar que cuando las probetas cilíndricas que no fueron sometidas a la temperatura de 450°C se sometieron a compresión, el plano de falla presento un Angulo de aproximadamente 45° con respecto al eje vertical de la probeta, en cambio las probetas que si fueron sometidas a la temperatura indicada, presentaron un plano de falla con un Angulo mucho más inclinado aproximadamente de 70°, esto se debe a la presencia de fisuras generadas por la expansión térmica, por otro lado las probetas que fueron expuestas a la temperatura pero que tenían el aditivo reductor de agua, presentaron un plano de falla mucho más común; es decir, de forma cónica, esto se puede atribuir a que uno de los efectos más importantes del aditivo usado en esta investigación es la reducción de la permeabilidad de la mezcla lo que reduce la porosidad y permite una mayor adherencia entre las partículas.

Al realizar una inspección visual detallada se evidencia que la diferencia entre las probetas cilíndricas con aditivo y sin aditivo que fueron expuestas a 450°C radica en la cantidad de fisuras y en el tamaño de estas, en el caso de las probetas que no tenían aditivo las fisuras son más y de longitudes mayores, esto se debe a que en el horno las probetas pierden la humedad superficial y luego de la perdida de humedad superficial la expansión térmica se incrementa, pero la probeta que tiene el aditivo; por su baja permeabilidad, pierde la humedad superficial a una velocidad más alta, situación que genera una cristalización de las partículas aumentando la dureza del concreto.

En la tabla 17 se evidencia que a los 7 días la probeta **A** (expuesta a fuego con aditivo) tiene una resistencia mayor que la probeta **L** (condiciones normales), más precisamente, supera en un 16% la resistencia, esto se debe a otra característica del aditivo usado que es aumentar la resistencia mecánica a temprana edad para un pronto desencofrado, se puede destacar que a los 7 días es la única edad de curado donde uno de los grupos que fueron expuestos a efectos térmicos (**F** y **A**) supera la resistencia de las probetas del grupo que no fue expuesto a acciones térmicas.

Tabla 17 Perdida y ganancia de resistencia a compresión 7 días.

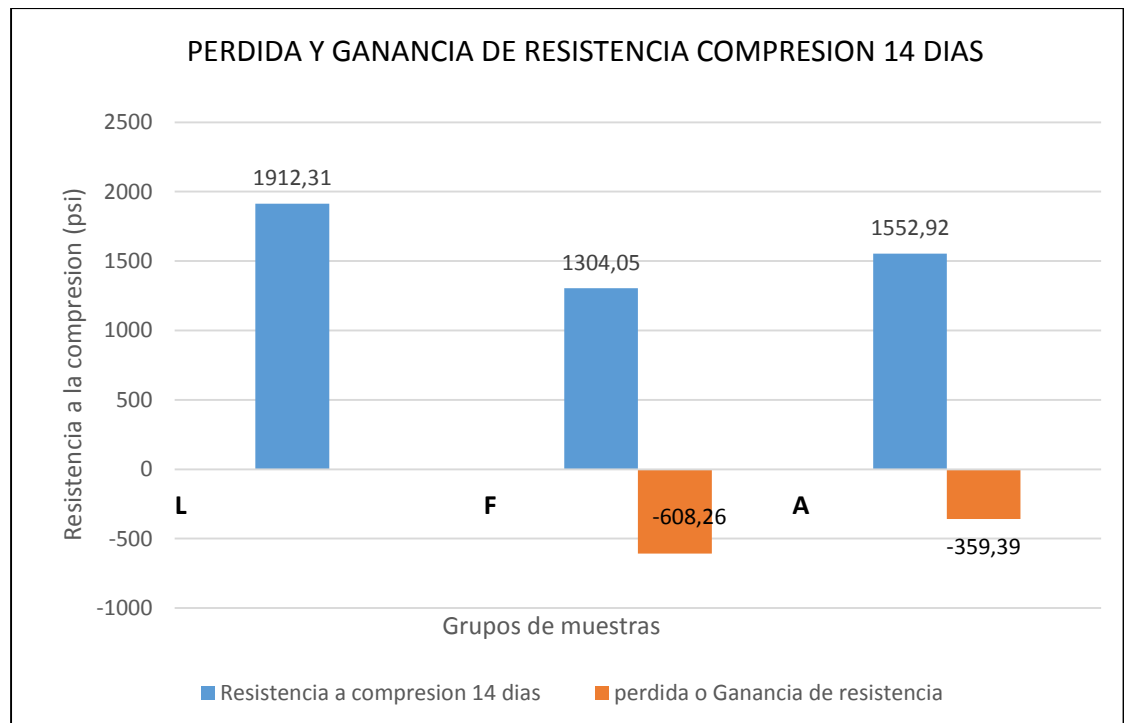


Fuente: Propia

Cuando se comparan los resultados a los 7 días de las muestras **F** y **A** se encuentra que la probeta **A** supera en un 40% la resistencia de **F**, es decir que el uso del aditivo es efectivo para reducir el efecto adverso de la presencia de altas temperaturas a los 7 días.

A los 14 días la resistencia de la muestra **L** alcanza un valor de resistencia a la compresión de 1912.3 psi y la muestra **F** presenta una disminución del 32% en la resistencia mientras que la muestra **A** tiene una pérdida de 19%; es decir, con el uso del aditivo a los 14 días se reduce a la mitad la pérdida de resistencia del concreto, esto puede atribuirse nuevamente a la porosidad, la muestra **A** al tener una porosidad menor hace que la temperatura tome más tiempo en ingresar en la matriz de la estructura interna del concreto lo que retarda la pérdida de resistencia, sin embargo al hacer una comparación directa entre las muestras **F** y **A**, de lo cual resulta que la muestra **A** supera la resistencia a compresión en un 19% a la muestra **F**, esto demuestra una vez más que el uso del aditivo es efectivo a la hora de reducir el impacto que tiene las altas temperaturas sobre el concreto simple.

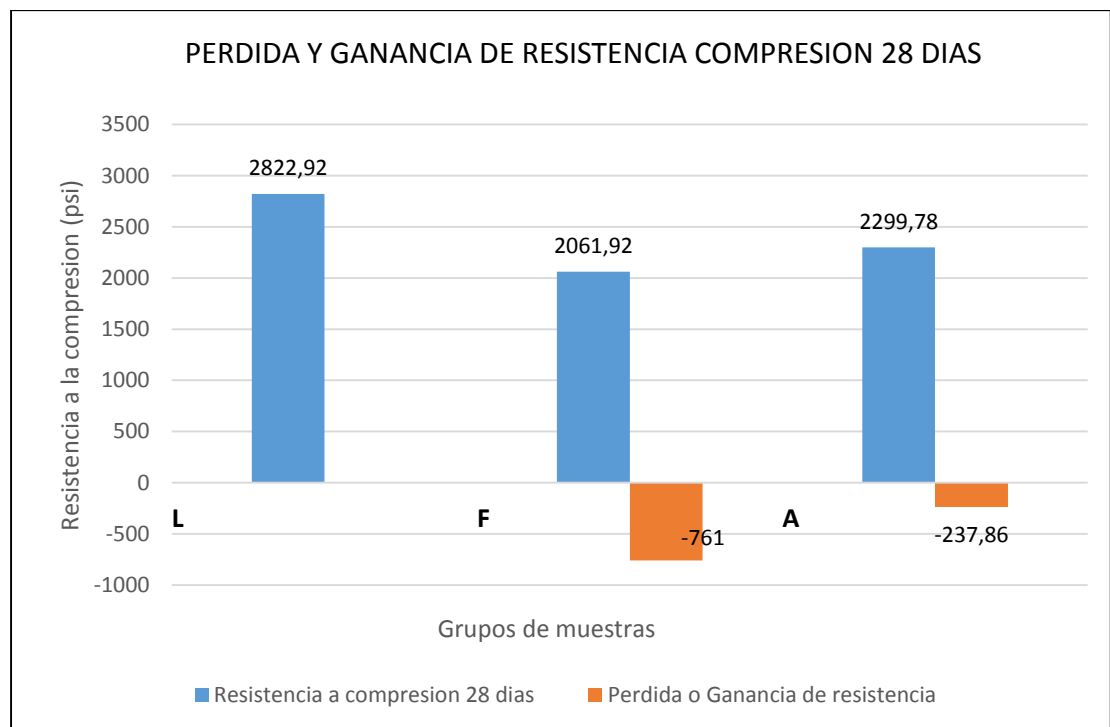
Tabla 18 Perdida de resistencia a compresión 14 días



Fuente: propia

A los 28 días la resistencia máxima alcanzada es de 2822.92 psi, y es la muestra en condiciones normales la que alcanza esta resistencia. Lo cual era de esperarse; sin embargo, a los 28 días se reduce la brecha existente entre la resistencia de las diferentes mezclas, la diferencia entra la mezcla **L** y **F** pasa de 32% a los 14 días a 27% a los 28, a pesar de que se presenta una disminución se puede decir que la magnitud de la variabilidad de la resistencia representa un tercio de la resistencia total, lo cual es un valor bastante significativo. Al comparar la muestra **L** con la **A** se evidencia una disminución del 19% de la resistencia, es decir una quinta parte de la resistencia total, lo cual representa un aporte bastante significativo en cuanto a la disminución del efecto adverso de la temperatura en el concreto, y finalmente cuando se comparan las muestras **F** y **A** se encuentra una diferencia del 12% de la resistencia.

Tabla 19 Perdida de resistencia a compresión 28 días



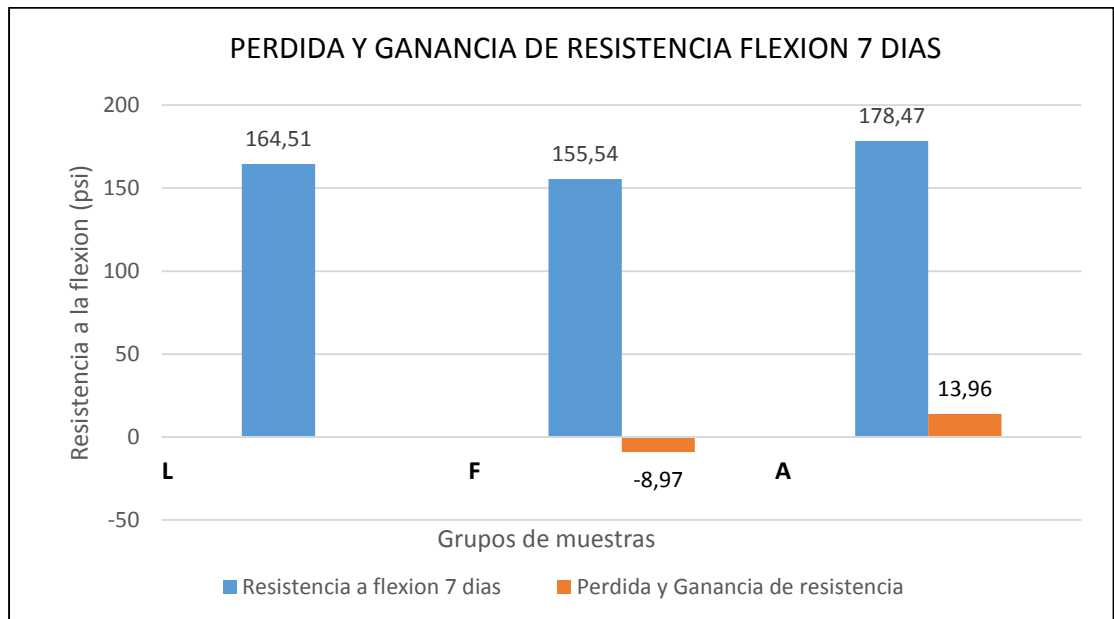
Fuente: Propia

12.3. FLEXION

En cuanto a la flexión, la resistencia es notablemente mucho más baja dado que por su estructura interna y por ser un material compuesto el concreto es excelente para resistir esfuerzos por compresión, pero muy malo para resistir esfuerzos de flexión; sin embargo, se puede apreciar como varia la resistencia.

En cuanto a el plano de falla se debe anotar que no existe una diferencia notable entre los tres tipos de muestra, esto se puede atribuir a que las matrices internas de las muestras pierden su adherencia con mayor facilidad en el punto donde se aplica la carga, en este caso el centro de la luz, sin importar si tiene aditivo o no los esfuerzos internos de las probetas se distribuye de manera uniforme y la matriz falla por el mismo plano en todos los casos.

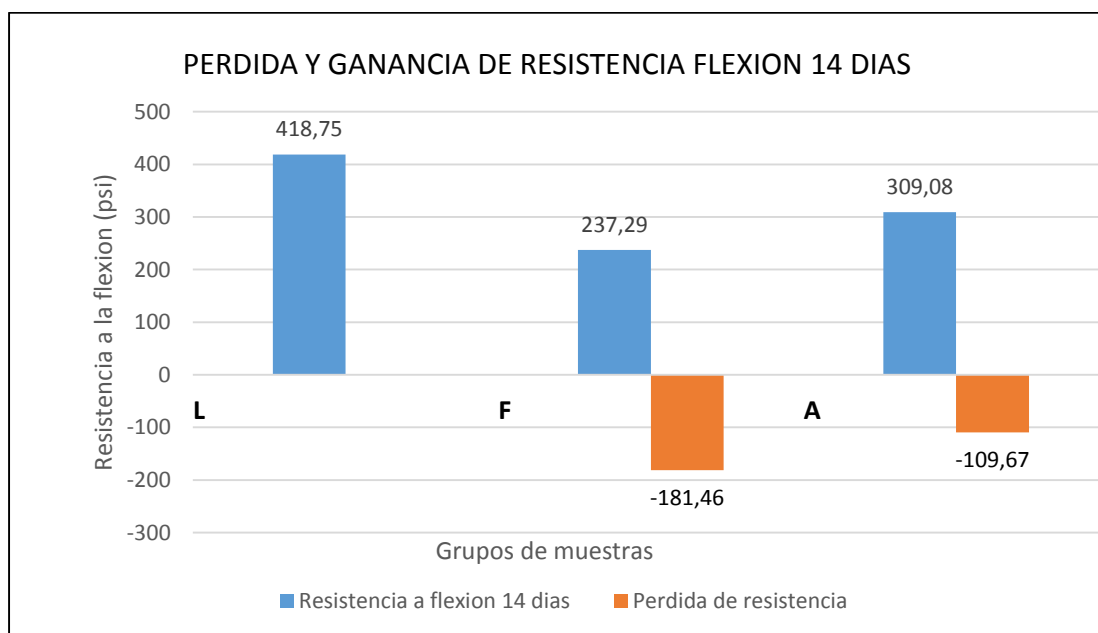
Tabla 20 Perdida y Ganancia de resistencia a flexión 7 días.



Fuente: Propia

Según a tabla 20 a los 7 días las muestras del grupo **L** frente a la muestras del grupo **F** tiene una perdida de resistencia de apenas 8.97 psi es decir un 5% de la resistencia, este valor es bastante despreciable si lo comparamos con la resistencia a la compresión, esto se puede deber a que si el concreto no es bueno para resistir esfuerzos de flexión, a una edad temprana como lo son los 7 días, sin importar las condiciones de las probetas su resistencia es muy baja, esto se confirma al comparar las probetas de los grupos **L** y **A** donde se presenta una perdida de tan solo del 8%; sin embargo, al comparar las probetas **F** y **A** existe una ganancia de resistencia de 15% por el uso del aditivo lo que nos ratifica su efectividad para aumentar la resistencia a una temprana edad.

Tabla 21 Perdida de resistencia a flexión 14 días

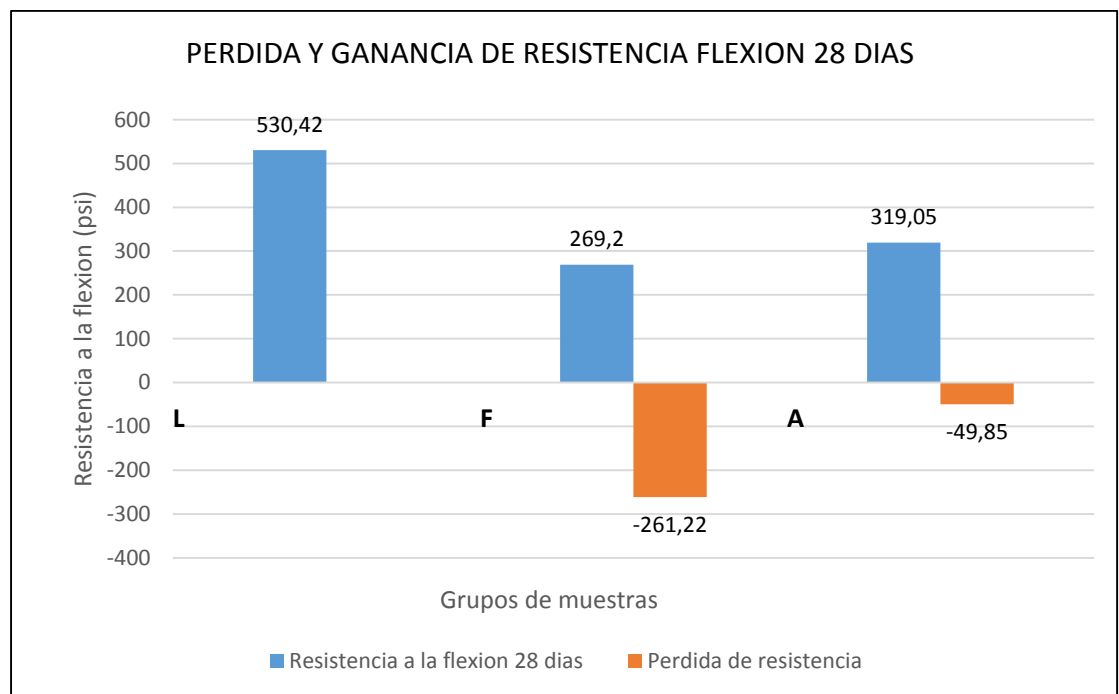


Fuente: Propia

A los 14 días la magnitud en la perdida de resistencia se incrementa significativamente en el caso de la comparación de los grupos **L** y **F** pasa de una pérdida de 8.97 psi (5%) a una pérdida del 181.46 psi (43%), en este caso

podemos evidenciar que el efecto térmico sobre el concreto en su resistencia a flexión es bastante mayor con respecto a el efecto que tiene sobre la resistencia a la compresión. Al comparar las muestras **L** y **A** pasa de una pérdida del 8% a un 26% a pesar de que no es tanta la perdida como en las muestras de los grupos **L** y **F**, sigue siendo bastante significativa, en cuanto a la comparación entre las muestras de los grupos **F** y **A** existe una ganancia en la resistencia del 30% es decir el doble de ganancia que a los 7 días.

Tabla 22 Perdida de resistencia a flexión 28 días



Fuente: Propia

A los 28 días la pérdida de resistencia se mantiene más estable, comparando las muestras **L** y **F**, la pérdida de resistencia pasa de 43% a los 14 días a 49% a los 28 días, en cambio al comparar las muestras **L** y **F** pasa del 26% al 40%. En promedio se puede expresar que a los 28 días existe una pérdida de resistencia del 44%, en el caso de la comparación entre las muestras **F** y **A** se

evidencia una ganancia de resistencia del 19% cuando a los 14 días se tenía una ganancia del 30%, esta disminución de ganancia se da debido a que las muestras sin aditivo alcanzan su resistencia de diseño hasta los 28 días mientras que las muestras con aditivo alcanzan su resistencia de diseño a edades más tempranas.

13 CONCLUSIONES

En esta investigación se especifica el grado de afectación que se puede presentar en el concreto simple, ante la presencia de una temperatura promedio de 450°C, y se evidencia como a medida que aumenta la presencia de fisuras y micro fisuras se aumenta también la reducción de la resistencia a compresión y flexión de cada uno de los elementos, esta disminución está dada en función de la temperatura y el tiempo de exposición de cada uno de los elementos de concreto que son sometidos.

De acuerdo a la pregunta problema planteada inicialmente en la presente investigación “**¿Cuál es la relación entre la temperatura a la que son expuestos los elementos en concreto y la pérdida de resistencia por compresión y flexión de estos?**” se pudo determinar que los elementos sometidos a altas temperaturas y posteriormente al ser expuestos a la aplicación de cargas, presentaron cambios físicos y alteraciones en la resistencia del material como es en este caso del concreto, donde la gravedad de cada una de las presentes alteraciones están dadas en función al tiempo y temperaturas de exposición del elemento expuesto.

Los cambios de coloración y características físicas superficiales presentes en el concreto a la hora de ser sometido una temperatura de 450°C se tomaron

como indicativos de cambios en las propiedades mecánicas del concreto. Donde para la temperatura evaluada se obtuvieron cambios de color entre rosado y amarillo, logrando obtener una reducción del 27% de la resistencia a compresión a los 28 días de fraguado del concreto expuesto al fuego (F3) con respecto al concreto en estado natural (L3).

La presencia de los aditivos reductores de agua en el concreto en presencia de alta temperatura ayuda a reducir el impacto generado en la estructura debido a los efectos de las acciones térmicas, proporcionando una reducción más leve en cuanto a la resistencia a compresión del elemento, generando menores cambios físicos en la estructura, como la poca generación de fisuras y descascaramiento del recubrimiento de la misma.

El concreto al ser expuesto a una temperatura promedio de 450°C no genera ningún tipo de humo o gases que puedan ser tóxicos, esto reduce de manera significativa el riesgo de los ocupantes de las edificaciones a sufrir afectaciones de tipo respiratorio.

Como se evidencio la exposición del concreto a altas temperaturas genera variaciones al interior de la estructura del material que alteran de manera significativa su comportamiento, se producen cambios superficiales como cambio en la coloración y propagación de fisuras aumentando la deformación del material.

Un concreto sufre más deterioro frente a altas temperaturas cuanto mayor es su porosidad; es decir, todos los aditivos que disminuyen la porosidad del concreto representan un aporte para la resistencia del concreto.

La exposición del concreto a altas temperaturas produce un aumento de la porosidad, esto debido a la expansión térmica y tiene como resultado la aparición de fisuras tanto externas como internas.

Los poros superficiales son los que primero sufren las consecuencias de la exposición a altas temperaturas, ya que la afectación de la temperatura es menor a medida que se aumenta la distancia hacia el centro de gravedad de los elementos.

14 RECOMENDACIONES

Para futuras investigaciones se recomienda analizar la diferencia que puede generar usar diámetros máximos de agregados más bajos, en este caso se utilizó un tamaño máximo de una pulgada, pero basado en los resultados podría ser de utilidad reducir el tamaño de las partículas con el fin de reducir la porosidad y aumentar la resistencia.

Este trabajo de grado representa un pequeño paso en el camino de la investigación referente al concreto expuesto al fuego, se recomienda para futuras investigaciones variar el método de enfriamiento, por ejemplo, enfriamiento con chorro de agua lo que puede simular perfectamente la acción de los bomberos a la hora de apagar un incendio.

Se recomienda relacionar en la investigación la variación del módulo elástico ya que resulta como una referencia bastante importante a la hora de estudiar el comportamiento de los concretos expuestos a fuego.

Por otro lado, se recomienda el uso de aditivos como inclusores de aire con el fin de verificar que al existir una mayor porosidad las muestras van a ser afectadas en mayor medida por la acción de las altas temperaturas.

Finalmente se recomienda en la medida de lo posible realizar un estudio con el esclerómetro con el fin de determinar la dureza superficial y así ratificar la hipótesis que expresa que al usar aditivo reductor de agua cuando se somete a calentamiento en un horno pierde rápidamente su humedad superficial a una velocidad mayor lo que genera una dureza más alta que no permite que la figuración se presente en grandes cantidades.

BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, MC, and VF Laguna, 'Determinación de La Profundidad de Daño En Estructuras de Hormigón Post-Incendio.', *Revista de La Asociación Latinoamericana de*, 2013
<<http://www.redalyc.org/pdf/4276/427639591002.pdf>> [accessed 14 September 2017]
- Alvarado Aguirre, Giovanni Josué, 'Estudio Del Comportamiento Del Concreto Estructural Expuesto Al Fuego', 2016
<<http://repo.uta.edu.ec/handle/123456789/23040>> [accessed 15 September 2017]
- Blanca, Bahía, and Argentina Lsenas, 'Evaluación de Elementos Estructurales de Hormigón Expuestos a Un Incendio', 2010
<https://digital.cic.gba.gob.ar/bitstream/handle/11746/4409/11746_4409.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [accessed 14 September 2017]
- Bogotá, Redacción, 'Incendio No Afectaría Entrega Del Centro de Convecciones Ágora | ELESPECTADOR.COM', 2017
<<http://www.elespectador.com/noticias/bogota/incendio-no-afectaria-entrega-del-centro-de-convecciones-agora-articulo-703524>> [accessed 15 September 2017]
- 'CAPITULO II: ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS DEL CONCRETO 2.1.- INTRODUCCIÓN'
<http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_153_164_104_1437.pdf> [accessed 15 September 2017]
- Churpek, Mark, 'Click to Edit Master Title Style Evaluation of Fire-Exposed Structural Members', 2013 <www.wje.com> [accessed 15 September 2017]
- D. Patricio Jiménez Madrid, and José Calvo López Carlos José Parra Costa, 'COMPORTAMIENTO DEL HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA FRENTE AL FUEGO', 2009

- <<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/tutorial106.pdf>> [accessed 15 September 2017]
- D.C., Proyecto de Acuerdo 141 de 2010 Concejo de Bogotá, 'Proyecto de Acuerdo 141 de 2010 Concejo de Bogotá D.C.', 2010
<<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=39487>>
[accessed 9 September 2017]
- Eilin Castillo Jáquez, 'Análisis Del Artículo " Effect of Fire on Concrete Structures ";', 2013 <[https://portal.uah.es/portal/page/portal/GP_EPD/PG-MA-ASIG/PG-ASIG-200637/TAB42359/Efecto del fuego en las estructuras de hormigon \(Eilin Castillo\).pdf](https://portal.uah.es/portal/page/portal/GP_EPD/PG-MA-ASIG/PG-ASIG-200637/TAB42359/Efecto%20del%20fuego%20en%20las%20estructuras%20de%20hormigon%20(Eilin%20Castillo).pdf)> [accessed 8 September 2017]
- Encyclopaedia Britannica, 'Heat Transfer | Definition & Facts | Britannica.com'
<<https://www.britannica.com/science/heat-transfer>>
- Fernández Cánovas, Manuel., *Patología Y Terapéutica Del Hormigón Armado* (Dossat, 1984) <[http://imcyc.com/biblioteca/ArchivosPDF/Patologia de la Construccion/4 Patologia y Terapeutica Del Hormigon Armado.pdf](http://imcyc.com/biblioteca/ArchivosPDF/Patologia%20de%20la%20Construccion/4%20Patologia%20y%20Terapeutica%20Del%20Hormigon%20Armado.pdf)>
- González De Arrieta, Iñigo, 'Aplicaciones de La Radiación Térmica', 2015
<<https://www.ehu.eus/documents/3019013/3575588/radiacion+termica.pdf/20754cf4-02b0-454f-964f-b70184fb27c4>> [accessed 22 May 2018]
- Gutiérrez De López, Libia, 'El Concreto Y Otros Materiales Para La Construcción', in *2003*, 2003, pp. 1–29
<http://www.bdigital.unal.edu.co/6167/5/9589322824_Parte1.pdf>
- Hernández, Nelson, 'Efecto Del Fuego Sobre La Resistencia a Compresion de Un Elemento de Concreto de Resistencia de Diseño de 210 Kg/cm 2', 17 (2010), 38–43 <<http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/v17n2/art04.pdf>>
[accessed 9 September 2017]
- 'INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCION EDUARDO TORROJA'
<<http://www.ietcc.csic.es/index.php/es/informacion-general/26-80-aniversario>>
[accessed 15 September 2017]
- José I. García Laureiro, 'Calor Y Temperatura (II): La Transmisión Del Calor |

Moléculas a Reacción' <<https://isqch.wordpress.com/2014/01/31/calor-y-temperatura-ii-la-transmision-del-calor/>>

Luis Vega Catalán, Manuel Buron Maestro, 'Seguridad Y Protección Completa Frente Al Fuego Con Hormigón', *Cemento-Hormigón*, 2007
<<https://scholar.google.es/scholar?hl=es&q=SEGURIDAD+Y+PROTECCIÓN+COMPLETA+FRENTE+AL+FUEGO+CON+HORMIGÓN&btnG=&lr=>>
[accessed 14 September 2017]

Manuel, Ing, and Gonzáles De, 'En El Concreto', 2014

Mutual seguridad, 'Ficha Tecnica de Prevención de Riesgos'
<<https://www.mutual.cl/portal/wcm/connect/9cc9e120-358d-4b97-960f-397b59eb88d3/Hornero+de+fundiciones.pdf?MOD=AJPERES>> [accessed 22 May 2018]

Neville, A M, 'Properties of Concrete Fifth Edition', 2011
<<https://igitgeotech.files.wordpress.com/2014/10/properties-of-concrete-by-a-m-neville.pdf>> [accessed 15 September 2017]

Pavez, Alejandro, 'Comportamiento Del Hormigón Ante Incendio', 2011
<[http://www.revistabit.cl/revistabit/Uploads/79/174161726165872419240-47BIT 79.pdf](http://www.revistabit.cl/revistabit/Uploads/79/174161726165872419240-47BIT%2079.pdf)>

Porrero, Joaquín, S Carlos, Ramos R José, Grases G Gilberto, and J Velazco, 'CONCRETO ESTRUCTURAL', 2014 <[http://www.cei-ucab.com.ve/views/app/guias/materiales_de_construccion/Manual del Concreto Estructural.pdf](http://www.cei-ucab.com.ve/views/app/guias/materiales_de_construccion/Manual%20del%20Concreto%20Estructural.pdf)> [accessed 8 September 2017]

'Resistencia Al Fuego'
<<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Temall.2.3.6.TERMICAS.ResistenciaFuego.pdf>> [accessed 15 September 2017]

Rodríguez, Avendaño, 'Detección Tratamiento Y Prevención de Patologías En Sistemas de Concreto Estructural Utilizados En Infraestructura Industrial', 2006
<<http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/936/>

27252.pdf?sequence=1>

- Señas, Lilia, Pedro Maiza, Carla Priano, Silvina Andrea Marfil, and J. Valea, 'Evaluación de Elementos Estructurales de Hormigón Expuestosa Un Incendio', 2010 <<https://digital.cic.gba.gob.ar/handle/11746/4409>> [accessed 14 September 2017]
- Si, D B, Edificios Industriales, Anexo I I Tabla, and Obra Civil, 'Efectos de Las Altas Temperaturas Estructuras de Hormigón Armado En Las', 2012
- Sika, 'BROCHURE FISURAS EN EL CONCRETO REFORZADO.pdf', 2012 <<https://es.scribd.com/document/340607670/BROCHURE-FISURAS-EN-EL-CONCRETO-REFORZADO-pdf>> [accessed 15 September 2017]
- Sismica, Asociacion Colombiana de ingenieria, 'NSR-10 TITULO J - REQUISITOS DE PROTECCION CONTRA INCENDIOS EN EDIFICACIONES', 2010 <<https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/10titulo-j-nsr-100.pdf>> [accessed 15 September 2017]

ANEXOS

Anexo: Toma de datos ensayo de viguetas de concreto falladas a flexión a los 7 días

TOMA DE DATOS RESISTENCIA A LA FLEXION EN VIGAS DE CONCRETO (CARGADA EN EL TERCIO MEDIO DE LA LUZ)										
INSTRUCTIVO DE ENSAYO					PROCEDIMIENTO INV-E418-13					
CODIGO DE ORDEN: _____					FECHA DE ENSAYO: _____					
EQUIPO UTILIZADO										
FLEXOMETRO: _____ X _____					MAQUINA UNIVERSAL (MTS): _____ X _____					
DESCRIPCION: ENSAYO A FLEXION DE PROBETAS DE CONCRETO SIMPLE TIPO VIGUETAS EN CONDICIONES NORMALES (L). EXPUESTAS A 450°C EN HORNO ELECTRICO Y EXPUESTAS A 450°C CON USO DE ADITIVO REDUCTOR DE AGUA (7 DIAS)										
REFERENCIA	1			2			3			4
Ancho en la zona de falla (b) (cm)	8.2	8	8.1	8	8.1	8.2	8.2	8.3	8.1	
Altura en la zona de falla (d) (cm)	6.5	6.7	6.8	6.8	6.5	6.9	7.1	7	7.3	
Longitud libre entre apoyos (L) (cm)	19			19			19			
Apariencia del concreto	Vacíos - imperfecciones			Vacíos - imperfeccion			Vacíos - imperfeccion			
Marque con X si la fractura se encuentra dentro del tercio medio de la luz libre	x			x			x			
Marque con X si la fractura se encuentra fuera del tercio medio de la luz libre										
Distancia entre la línea de fractura y el soporte mas cercano (a) (cm)	8.88	9	9.5	7.8	7.5	7.9	7.5	7.9	8.1	
Carga maxima aplicada (P) (KN)	1.58			1.79			1.64			

OBSERVACIONES: _____

EJECUTO LABORATORISTA

REVISO COORDINADOR DE LABORATORIO

Fuente: Propia

Anexo: Toma de datos ensayo de viguetas de concreto falladas a flexión a los 14 días

TOMA DE DATOS RESISTENCIA A LA FLEXION EN VIGAS DE CONCRETO (CARGADA EN EL TERCIO MEDIO DE LA LUZ)										
INSTRUCTIVO DE ENSAYO						PROCEDIMIENTO INV-E418-13				
CODIGO DE ORDEN: _____					FECHA DE ENSAYO: _____					
EQUIPO UTILIZADO			FLEXOMETRO: _____ X _____			MAQUINA UNIVERSAL (MTS): _____ X _____				
DESCRIPCION: ENSAYO A FLEXION DE PROBETAS DE CONCRETO SIMPLE TIPO VIGUETAS EN CONDICIONES NORMALES (L), EXPUESTAS A 450°C EN HORNO ELECTRICO Y EXPUESTAS A 450°C CON USO DE ADITIVO REDUCTOR DE AGUA (14 DIAS)										
REFERENCIA	L2			F2			A2			4
Ancho en la zona de falla (b) (cm)	7.5	7.8	7.6	8.5	8.2	8.1	7.8	7.9	7.6	
Altura en la zona de falla (d) (cm)	7	6.9	6.8	6.5	6.6	6.4	6.8	6.5	6.6	
Longitud libre entre apoyos (L) (cm)	19			19			19			
Apariencia del concreto	Vacios - imperfecciones			Vacios - imperfeccion			Vacios - imperfeccion			
Marque con X si la fractura se	x			x			x			
Marque con X si la fractura se										
Distancia entre la línea de fractura y	8.5	8.8	8.6	9	8.8	8.5	8.9	8.6	8.7	
Carga maxima aplicada (P) (KN)	4.2			2.38			3.1			

OBSERVACIONES: _____

EJECUTO LABORATORISTA

REVISO COORDINADOR DE LABORATORIO

Fuente: Propia

Anexo: Toma de datos ensayo de viguetas de concreto falladas a flexión a los 28 días

TOMA DE DATOS RESISTENCIA A LA FLEXION EN VIGAS DE CONCRETO (CARGADA EN EL TERCIO MEDIO DE LA LUZ)										
INSTRUCTIVO DE ENSAYO						PROCEDIMIENTO INV-E418-13				
CODIGO DE ORDEN: _____				FECHA DE ENSAYO: _____						
EQUIPO UTILIZADO			FLEXOMETRO: _____ X _____				MAQUINA UNIVERSAL (MTS): _____ X _____			
DESCRIPCION: ENSAYO A FLEXION DE PROBETAS DE CONCRETO SIMPLE TIPO VIGUETAS EN CONDICIONES NORMALES (L), EXPUESTAS A 450°C EN HORNO ELECTRICO Y EXPUESTAS A 450°C CON USO DE ADITIVO REDUCTOR DE AGUA (28 DIAS).										
REFERENCIA	1			2			3			4
Ancho en la zona de falla (b) (cm)	7.5	7.8	7.6	8.5	8.2	8.1	7.8	7.9	7.6	
Altura en la zona de falla (d) (cm)	7	6.9	6.8	6.5	6.6	6.4	6.8	6.5	6.6	
Longitud libre entre apoyos (L) (cm)	19			19			19			
Apariencia del concreto	Vacios - imperfecciones			Vacios - imperfeccion			Vacios - imperfeccion			
Marque con X si la fractura se	x			x			x			
Marque con X si la fractura se										
Distancia entre la línea de fractura y	8.5	8.8	8.6	9	8.8	8.5	8.9	8.6	8.7	
Carga maxima aplicada (P) (KN)	5.32			2.7			3.19			

OBSERVACIONES: _____

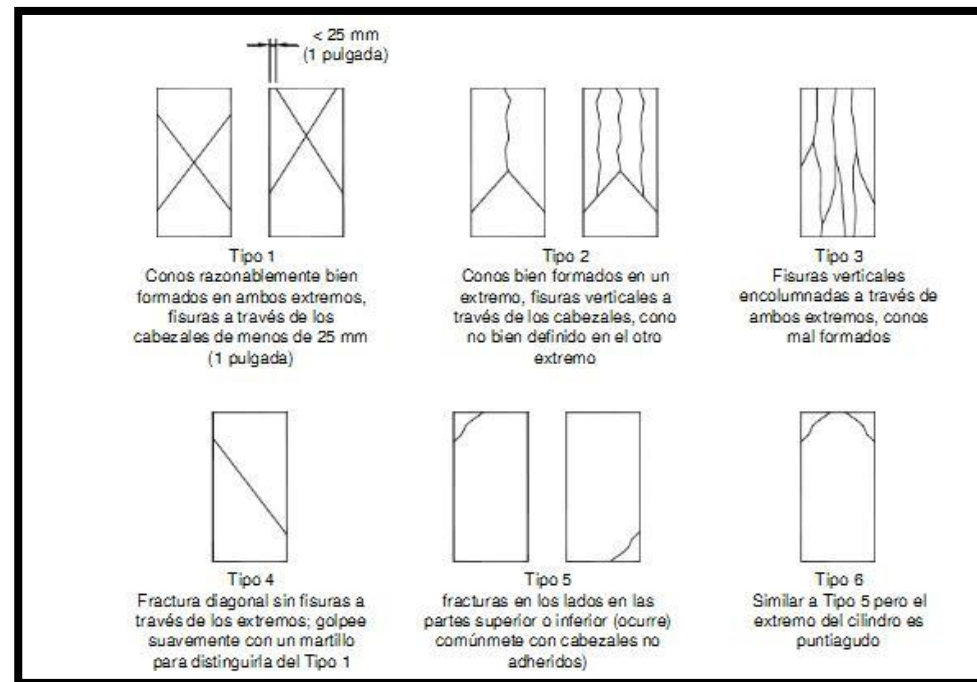
EIECUTO LABORATORISTA

REVISOR COORDINADOR DE LABORATORIO

Fuente: Propia

L2	CONDICIONES NORMALES, SIN EXPOSICIÓN A ALTAS TEMPERATURAS
F2	CONDICIONES NORMALES, CON EXPOSICIÓN AL ALTAS TEMPERATURAS
A2	CONCRETO MODIFICADO CON ADITIVO, EXPUESTO A ALTAS TEMPERATURAS

Tipos de fallas a compresión presentes en el concreto



Anexo: Toma de datos ensayo de cilindros de concreto fallados a compresión a los 7 días

ENSAYO COMPRESIÓN ALOS 7 DIAS DE FRAGUADO					FECHA ENSAYO: 23/03/2018				
EQUIPOS UTILIZADO									
BALANZA	X				MTS	X			
CALIBRADOR	X				FLEXOMETRO	X			
DESCRIPCIÓN: ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO A LOS SIETE (7) DIAS DE FRAGUADOS									
REFERENCIA	1 (L1)			2 (F1)			3 (A1)		
Diametro (cm)	10	10.2	10.1	10.2	10.1	10.1	10	10.2	10.2
Altura (cm)	20.05	20.1	20	20	20.5	20.4	20.3	20.4	20.5
Peso de la muestra humeda (g)	3560			3432.08			3612.03		
Peso de la muestra seca (g)	NA			3259.19			3426.81		
Tipo de falla	5			3			5		
Carga maxima kN	29.41			24.76			33.39		



Anexo: Toma de datos ensayo de cilindros de concreto fallados a compresión a los 14 días

ENSAYO COMPRESIÓN A LOS 7 DIAS DE FRAGUADO				FECHA ENSAYO: 23/03/2018					
EQUIPOS UTILIZADO									
BALANZA X				MTS X					
CALIBRADOR X				FLEXOMETRO X					
DESCRIPCIÓN: ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO A LOS CATORCE (14) DIAS DE FRAGUADOS									
REFERENCIA	1 (L2)			2 (F2)			3 (A2)		
Diametro (cm)	10.1	9.9	10	10	10.1	10.2	9.9	9.8	10
Altura (cm)	20.05	20.1	20	20.3	20.1	20.2	20.1	20	19.9
Peso de la muestra humeda (g)	3602			3551			3491		
Peso de la muestra seca (g)	NA			3442.44			3347.5		
Tipo de falla	5			5			6		
Carga maxima kN	105.174			72.19			85.967		



Anexo: Toma de datos ensayo de cilindros de concreto fallados a compresión a los 28 días

ENSAYO COMPRESIÓN A LOS 28 DIAS DE FRAGUADO				FECHA ENSAYO: 18/04/2018						
EQUIPOS UTILIZADO										
BALANZA	X					MTS	X			
CALIBRADOR	X					FLEXOMETRO	X			
DESCRIPCIÓN: ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO A LOS VEINTIOCHO (28) DIAS DE FRAGUADOS										
REFERENCIA	1 (L3)			2 (F3)			3 (A3)			
Diametro (cm)	10.1	9.9	10	10	10.1	10.2	9.9	9.8	10	
Altura (cm)	20.05	20.1	20	20.3	20.1	20.2	20.1	20	19.9	
Peso de la muestra humeda (g)	3486			3396			3455			
Peso de la muestra seca (g)	N/A			3312			3396			
Tipo de falla	5			5			5			
Carga maxima kN	155.256			115.659			125.659			

