UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Tema:

"ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ESTRUCTURAL EXPUESTO AL FUEGO."

AUTOR: GIOVANNI JOSUÉ ALVARADO AGUIRRE.

TUTORA: Ing. Mg. MARITZA UREÑA

Ambato – Ecuador

2016

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. Mg. Maritza Ureña, Certifico que el presente trabajo bajo el tema: ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ESTRUCTURAL EXPUESTO AL FUEGO, es de autoría del Sr. Giovanni Josué Alvarado Aguirre, el mismo que ha sido realizado bajo mi supervisión y tutoría.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Ambato,4 de Mayo 2016

Ing. Mg. Maritza Ureña.

AUTORÍA

Yo, Giovanni Josué Alvarado Aguirre con C.I: 180463482-0, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el trabajo con el tema: ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ESTRUCTURAL EXPUESTO AL FUEGO, es de mi completa autoría y fue realizado en el período Octubre 2015 – Febrero 2016.

Ambato, 4 de Mayo del 2016

Giovanni Josué Alvarado Aguirre.

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de éste Trabajo Experimental dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando ésta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, 4 de Mayo del 2016

Autor

_____

Giovanni Josué Alvarado Aguirre.

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal examinador aprueban el informe de investigación, sobre el tema: "ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ESTRUCTURAL EXPUESTO AL FUEGO", del egresado Giovanni Josué Alvarado Aguirre, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Ambato, 4 de Mayo del 2016.

Para constancia firman.

Ing. Mg. Carlos Navarro

Ing. Mg. Juan Garcés

DEDICATORIA

A DIOS, por haberme permitido alcanzar una de mis metas.

A mi Querido Padre, por haber sido el mejor maestro de toda mi vida, por compartir cada uno de los momentos conmigo y ser siempre mi ejemplo a seguir.

A mi Querida Madre, por siempre ser esa persona en la que encontré una amiga y un apoyo incondicional en cada etapa de mi vida.

A mi Querida Hermana, por siempre brindarme su amor y cariño, tu siempre serás la razón y el motivo de todos mis esfuerzos.

A mis Queridos Abuelitos, Víctor Mora y Félix Aguirre, siempre los recordare porque ustedes fueron un gran ejemplo a seguir y aunque no estén conmigo este logro se los dedico con mucho cariño.

AGRADECIMIENTO

A DIOS, por siempre ser mi fortaleza en cada momento de mi vida.

A mis PADRES, por haberme dado la vida y siempre haber sido mi apoyo incondicional.

A cada uno de los integrantes de mi FAMILIA, por brindarme su apoyo en la realización de este trabajo.

A mi Tutora Ing. Maritza Ureña por su asesoría y colaboración en la consecución de este proyecto.

Al Dr. Pablo Poveda, por su ayuda y colaboración a lo largo de mi carrera

A mis AMIGOS, COMPAÑEROS y HERMANOS de toda la vida, por todo ese apoyo incondicional.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

A.- PAGINAS PRELIMINARES

PORTADA I
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR II
AUTORÍA III
DERECHOS DE AUTOR IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO V
DEDICATORIA VI
AGRADECIMIENTO VII
ÍNDICE DE CONTENIDOS VIII
ÍNDICE DE GRÁFICOS XII
ÍNDICE DE TABLAS XIII
ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS XIV
RESUMEN EJECUTIVO XV

B.-TEXTO

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL 1
1.2 ANTECEDENTES 1
1.3 JUSTIFICACIÓN 2
1.4 OBJETIVOS: 3
1.4.1 Objetivo General: 3
1.4.2 Objetivos Específicos: 3

CAPÍTULO II.

FUNDAMENTACIÓN

2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA 4
2.1.1 Hormigón 4
2.1.2 Propiedades del Hormigón Fresco 5
2.1.2.1 Trabajabilidad 5
2.1.2.2 Consistencia 5
2.1.2.3 Homogeneidad 5
2.1.2.4 Peso Específico 6

2.1.3 Propiedades del Hormigón Endurecido 6
2.1.3.1 Permeabilidad 6
2.1.3.2 Resistencia 6
2.1.3.2.1 Determinación de la Resistencia a Compresión del Hormigón 6
2.1.3.2.2 Determinación de la Resistencia a Flexión del Hormigón 7
2.1.4 Incendio 9
2.1.4.1 Causas 10
2.1.4.1.1 Reacción por Oxidación 10
2.1.4.1.2 Reacción por Causas Biológicas Químicas 10
2.1.4.1.3 La energía Eléctrica 10
2.1.4.1.4 Procesos Meteorológicos 11
2.1.5 Clasificación del Fuego 11
2.1.5.1 Fuego Tipo A 11
2.1.5.2 Fuego Tipo B 12
2.1.5.3 Fuego Tipo C 12
2.1.5.4 Fuego Tipo D 12
2.1.5.5 Fuego Tipo K 13
2.1.6 Concreto Expuesto al Fuego 13
2.1.7 Tipos de Coloración. 14
2.1.7.1 Acero de Refuerzo Expuesto al Fuego 15
2.1.8 Patologías – Concreto Estructural Expuesto al Fuego 16
2.1.8.1 Calcinación Incipiente 16
2.1.8.2 Calcinación Superficial 16
2.1.8.3 Calcinación Avanzada 16
2.1.8.4 Calcinación Muy Avanzada 17
2.1.8.5 Microfisuras y Cuarteaduras en Mapa 17
2.1.8.6 Fisuramiento Térmico por Alabeo 17
2.1.8.7 Fisuramiento por Choque Térmico 17
2.1.8.8 Descascaramiento 17
2.1.8.9 Desintegración por Fatiga 17
2.2 HIPÓTESIS 18
2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES 18

CAPÍTULO III.

METODOLOGÍA

3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN 19
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA 20
3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES 21
3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN 25
3.5 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS 26

CAPÍTULO IV.

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS 27
4.1.1 Selección de Material 27
4.1.2 Agregados Pétreos 28
4.1.3 Dosificación del Hormigón 28
4.1.3.1 Relación Agua Cemento 29
4.1.3.2 Cantidad de Pasta 29
4.1.4 Dimensionamiento de Probetas 30
4.1.4.1 Acero de Refuerzo 31
4.1.5 Exposición al Fuego 31
4.1.5.1 Número de Elementos Expuesto al Fuego e Intervalos. 32
4.1.5.2 Sistema de Quemado 33
4.1.6 Ensayo de Probetas. 34
4.1.7 Interpretación de Datos 35
4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS 36
4.2.1 Ensayos de Agregados Pétreos 36
4.2.2 Dosificación del Hormigón 44
4.2.3 Análisis de Probetas Ensayadas 45
4.2.3.1 Vigas no Expuestas al Fuego 45
4.2.3.2 Vigas Expuestas al Fuego 30 Minutos 47
4.2.3.3 Vigas Expuestas al Fuego 60 Minutos 49
4.2.3.4 Vigas Expuestas al Fuego 90 Minutos 51
4.2.3.5 Vigas expuestas al fuego 120 minutos 53
4.2.3.6 Vigas Expuestas al Fuego 150 minutos 55
4.2.3.7 Vigas Expuestas al Fuego 180 Minutos 57

4.3 VERIFICACIÒN DE HIPÒTESIS 59

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES 61
5.2 RECOMENDACIONES 63

C.- MATERIALES DE REFERENCIA
1. BIBLIOGRAFÍA 64
2. ANEXOS 66

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico # 1: Especificaciones del Ensayo a Flexión.....7
Gráfico # 2: Tetraedro del Fuego 9
Gráfico # *3*: Simbología de Fuego Tipo A 11
Gráfico # 4: Simbología de Fuego Tipo B 12
Gráfico # *5:* Simbología de Fuego Tipo C 12
Gráfico # 6: Simbología de Fuego Tipo D 12
Gráfico # 7: Simbología de Fuego Tipo K 13
Gráfico # 8: Tipologías de una Viga Expuesta al Fuego 13
Gráfico # 9: Estribo Cortado por Efecto de Altas Temperaturas. 15
Gráfico # 10: Localización de Minas en la Ciudad de Ambato 27
Gráfico # 11: Sección Transversal del Elemento 30
Gráfico # 12: Vista Longitudinal del Elemento.....31
Gráfico # 13: Resistencia a Flexión 35
Gráfico # 14: Resistencia a Flexión de Elementos no Expuestos al Fuego.....46
Gráfico # 15: Comparación de Resultados.....47
Gráfico # 16: Comparación de Resultados.....49
Gráfico # 17: Comparación de Resultados.....51
Gráfico # 18: Comparación de Resultados.....53
Gráfico # 19: Comparación de Resultados.....55
Gráfico # 20: Comparación de Resultados.....57
Gráfico # 21: Disminución de la Resistencia del Concreto Estructural Expuesto al Fuego 60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla # 1: Color y Daño del Concreto Estructural 14
Tabla # 2: Variable Independiente: 21
Tabla # 3: Variable Dependiente.....23
Tabla # 4: Plan de Recolección de Información.....25
Tabla # 5: Relación Agua / Cemento 29
Tabla # 6: Asentamiento- Cantidad de Pasta.....29
Tabla # 7: Planilla de Hierros.....31
Tabla # 8: Análisis Granulométrico Agregado Grueso.....37
Tabla # 9: Análisis Granulométrico Agregado Fino.....38
Tabla # 10: Peso Unitario Suelto y Compactado.....39
Tabla # 11: Peso Unitario Compactado.....40
Tabla # 12: Peso Específico y Capacidad de Absorción del Agregado Grueso 41
Tabla # 13: Peso Específico y Capacidad de Absorción del Agregado Fino 42
Tabla # 14: Densidad Real del Cemento 43
Tabla # 15: Dosificación del Hormigón 44
Tabla # 16: Ensayo a Flexión de Elementos no Expuestos al Fuego 45
Tabla # 17: Ensayo a Flexión de Elementos Expuestos al Fuego 30 Minutos 47
Tabla # 18: Vigas Expuestas al Fuego 30 minutos 48
Tabla # 19: Ensayo a Flexión de Elementos Expuestos al Fuego 60 Minutos 49
Tabla # 20: Vigas Expuestas al Fuego 60 minutos 50
Tabla # 21: Ensayo a Flexión de Elementos Expuestos al Fuego 90 Minutos 51
Tabla # 22: Vigas Expuestas al Fuego 90 minutos 52
Tabla # 23: Ensayo a Flexión de Elementos Expuestos al Fuego 120 Minutos 53
Tabla # 24: Vigas Expuestas al Fuego 120 minutos 54
Tabla # 25: Ensayo a Flexión de Elementos Expuestos al Fuego 150 Minutos 55
Tabla # 26: Vigas Expuestas al Fuego 150 minutos 56
Tabla # 27: Ensayo a Flexión de Elementos Expuestos al Fuego 180 Minutos 57
Tabla # 28: Vigas Expuestas al Fuego 180 minutos 58
Tabla # 29: Resistencia de Elementos Expuestos al Fuego 59

ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografía # 1: Horno de Quemado 33
Fotografía # 2: Enfriamiento de Probetas 34
Fotografía # 3: Ensayo a Flexión …..... 34
Fotografía # 4: Viga Ensayada…….....34

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo investiga el efecto sobre la resistencia a flexión de un elemento de concreto expuesto al fuego con una resistencia de diseño f 'c= 210 Kg/cm² y acero de refuerzo con un esfuerzo de fluencia fy= 4200 Kg/cm², para lo cual se realizó un diseño, elaboración y curado de especímenes en laboratorio. Las probetas elaboradas se clasificaron en dos tipos: las no expuestas al fuego y las segundas tras haber sido expuestas al fuego a intervalos crecientes de 30 minutos con temperaturas promedio de (750ªC-1050ªC), las mismos que atravesaron un proceso de enfriamiento al ambiente de 24 horas previo al ensayo de flexión con cargas a tercios de la luz. De los ensayos realizados se determinó que la resistencia a flexión de cada uno de los elementos disminuye en función a la temperatura y tiempo de exposición alcanzados, cada espécimen presentó diferentes tipos de patologías tales como: fisuras, agrietamientos y cambios de color.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ESTRUCTURAL EXPUESTO AL FUEGO.

1.2 ANTECEDENTES

Múltiples estructuras han sufrido incendios siendo estos medidos en base a sus daños materiales y pérdidas humanas, entre las cuales podemos mencionar las siguientes: Hotel Tai Kon Yak (21 pisos) en Seúl - Corea, Edificio Baptist (11 pisos) en Atlanta - EE.UU, Almacenes Tailo (9 pisos) en Koamito - Japón, Edificio Joelma (25 pisos) en Sao Paulo – Brasil, además en nuestro país ha ocurrido un claro ejemplo de flagelo en una edificación y posterior rehabilitación, como lo fue el Congreso Nacional del Ecuador que sufrió un incendio en el año del 2003, que ocasiono un 40% de daño en su infraestructura. [1]

En la universidad de Carabobo, Facultad de ingeniería se realizó una investigación acerca del efecto del fuego sobre la resistencia a compresión del concreto, siendo esta la base para el planteamiento del presente proyecto, dicho artículo técnico tiene su fundamento en el ensayo a compresión de probetas previamente quemadas en intervalos de tiempo determinados. [2]

Existen varios estudios que analizan el comportamiento entre el concreto estructural y el fuego, entre los cuales se puede mencionar: Instituto del Cemento Portland Argentino (ICPA), [3] Universidad Autónoma de Barcelona, [4] Plataforma Europea del Hormigón, [5] quienes estudian de forma específica el comportamiento de una estructura completa que haya sufrido un incendio de forma fortuita.

1.3 JUSTIFICACIÓN

A nivel mundial se han realizado múltiples estudios enfocados principalmente en el comportamiento del hormigón expuesto al fuego, en base a pruebas en edificaciones u elementos estructurales afectados por un incendio. Entre los países que registran mayor estudio de comportamiento de elementos de hormigón u otro tipo de material considerado estructural ante efectos que podrían producir daños internos y externos o denominados patologías se encuentra España, que direcciona principalmente sus investigaciones en la regeneración de estructuras ya sean por que han cumplido su tiempo de trabajo o han sufrido algún daño.

El análisis de elementos de concreto estructural ante efectos de altas temperaturas no ha sido muy aplicado en cuanto a investigaciones en nuestro país sin embargo se ha presentado varios trabajos en los cuales se detalla de manera rápida y concisa el comportamiento que tienen los agregados convencionales o no convencionales tales como arena grava, escoria volcánica, arcilla expandida entre otros, permitiendo así ampliar el campo de investigación en dicho tema.

La presente investigación permitirá identificar de forma específica el tipo de daño que ha sufrido una edificación expuesta al fuego, en nuestra ciudad ha ocurrido varios incendios en los que las estructuras han sufrido un largo periodo de exposición a altas temperaturas, por lo que es de vital importancia el análisis de dichas secciones y establecer parámetros que permitan identificar de manera más real su comportamiento.

1.4 OBJETIVOS:

1.4.1 Objetivo General:

Estudiar el comportamiento del concreto estructural sometido a fuego.

1.4.2 Objetivos Específicos:

- Comparar las propiedades del concreto estructural en condiciones normales y ante la exposición a fuego.

- Observar y detallar el comportamiento del concreto estructural durante y después de la exposición al fuego en intervalos de 30 minutos.

- Determinar las propiedades físicas y mecánicas del concreto estructural luego de la exposición a fuego y definir parámetros de aceptación estructural según su comportamiento.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.1 Hormigón

Se denomina así a la roca artificial formada por la unión de agregado grueso, fino y cemento portland que a través de un proceso de catalización con el agua forma una mezcla homogénea con características ligantes. El cemento actúa como un material aglutinante, por su parte la grava y arena forman el relleno el cual a través del tiempo tiende a endurecerse permitiendo al material soportar esfuerzos de compresión.

Al término del fraguado el concreto comienza un proceso denominado retracción el cual es contrarrestado por medio de un curado respectivo permitiendo al material adquirir su resistencia final a los 28 días. El hormigón presenta excelentes características ante esfuerzos de compresión sin embargo su comportamiento cambia drásticamente al presentare solicitaciones de tracción por lo cual se tiende a utilizar barras de acero corrugadas.

El hormigón presenta parámetros de medición de calidad en función de sus dos estados ya sea en estado fresco mediante el ensayo de asentamiento, escurrimiento entre otros, o por medio de la ejecución de probetas a determinados días que permitirá de manera más específica obtener la resistencia media del material. [6]

2.1.2 Propiedades del Hormigón Fresco

El hormigón posee propiedades específicas en cada uno de sus estados, cada una de ellas difiere y es vital en el comportamiento del elemento, se denomina estado fresco cuando la mezcla presenta características de manejabilidad en el cual puede adquirir la forma que se desee, por su parte el estado de endurecimiento comienza cuando esta pierde plasticidad e inicia su proceso de fraguado.

2.1.2.1 Trabajabilidad

Se denomina así a la facilidad de manipulación y colocación del concreto en la obra por medio de diferentes sistemas de compactación, es directamente proporcional a la cantidad de agua suministrada en el amasado, puesto que si esta aumenta su manejabilidad también lo hará de forma notable En el diseño de hormigones de alta resistencia el contenido de agua disminuye considerablemente por lo que se ha implementado el uso de aditivos conocidos como plastificantes los cuales permiten una mayor docilidad en la mezcla. [7] y [8]

2.1.2.2 Consistencia

Es la resistencia que presenta la mezcla para deformarse o cambiar su forma, está en función de la cantidad de agua, granulometría y forma de los agregados pétreos. Es uno de los parámetros de medición de calidad del hormigón en estado fresco. [7] y [8]

2.1.2.3 Homogeneidad

Se denomina así a la distribución uniforme de cada uno de los componentes del hormigón siendo vital en la obtención de hormigones con buenas características, el transporte o el exceso de compactación produce problemas tales como segregación o decantación que influyen en dicha propiedad. [6] y [8]

2.1.2.4 Peso Específico

Es la relación existente entre la masa del hormigón fresco y el volumen que este ocupa, su valor varía en función del tipo de agregados utilizados. [6] y [8]

2.1.3 Propiedades del Hormigón Endurecido

2.1.3.1 Permeabilidad

Dicha característica permite que el agua o todo tipo de sustancias pueden penetrar el elemento y a través de un proceso de escurrimiento pueda eliminarse, por lo que un hormigón sumergido o con una relación agua-cemento elevada presentará una disminución de resistencia considerable, al comenzar el proceso de endurecimiento la mezcla tiende a presentar poros de baja escala sin embargo existe múltiples factores que aumenten la porosidad, ya sea por una mala vibración o una evaporización drástica del agua la permeabilidad del elemento se verá afectada. [8]

2.1.3.2 Resistencia

El concreto pasa de un estado plástico a uno sólido mediante el proceso de fraguado que conlleva una serie de procesos físico-químicos complejos, las características principales de diseño de un hormigón se reflejan después de los 28 días de curado, al término de esta etapa el material ha adquirido el 100% de su resistencia, dicha propiedad está en función de la relación agua-cemento utilizada en la mezcla la misma que influye directamente en el comportamiento del elemento. [6]

Existen múltiples ensayos que permiten determinar la resistencia característica del hormigón ante solicitaciones específicas como compresión, tracción y flexión

2.1.3.2.1 Determinación de la Resistencia a Compresión del Hormigón

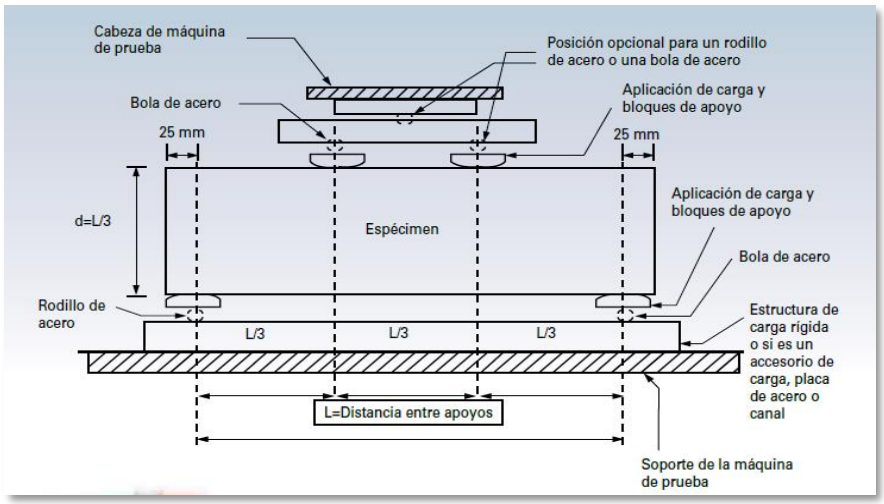
En el diseño de hormigones la resistencia a compresión que dicha mezcla presentará a los 28 días de curado denominado f 'c es uno de los parámetros fundamentales en la determinación de la calidad del elemento.

Dicha propiedad se mide en laboratorio mediante el análisis de probetas cilíndricas normalizadas las cuales han recibido un proceso previo de curado antes de someterse al ensayo, el cual consiste en la aplicación de una carga en toda la superficie de la muestra a una velocidad constante y señalada por la norma respectiva. [6] y [7]

2.1.3.2.2 Determinación de la Resistencia a Flexión del Hormigón

El instituto ecuatoriano de normalización establece los parámetros necesarios en el desarrollo del método de ensayo para la determinación de la resistencia a flexión del hormigón mediante el uso de una viga simple apoyada en los extremos y cargada en los tercios de la luz libre.

Gráfico # 1: Especificaciones del Ensayo a Flexión



Fuente: Norma ASTM C78,

La máquina para la realización del ensayo debe cumplir los siguientes parámetros

- Aplicación de carga a una velocidad uniforme y de forma perpendicular.
- Los rodillos de aplicación de carga y apoyo no deben tener una altura mayor a 64 mm y deben cubrir el ancho del espécimen o ser mayor que éste.

El espécimen a ensayar debe cumplir con las siguientes especificaciones:

- La luz entre los apoyos debe estar dentro del 2% con relación a tres veces su altura.
- Los lados del espécimen deber formar ángulos rectos con la parte inferior y superior
- Todas las superficies deben estar lisas

Medición del espécimen luego del ensayo

Los especímenes ensayados deberán ser analizados de acuerdo a su tipo de rotura aplicando los siguientes cálculos:

- Si la fractura se produce en la superficie de tracción dentro del tercio medio de la luz libre, calcular el módulo de ruptura de la siguiente manera:

$$R = PL / bd^2$$

Donde:

R = Módulo de Ruptura en Mpa.

P = Carga máxima aplicada, indicada por la máquina de ensayo, en N.

L = Luz entre apoyos, en mm

b = Promedio del ancho del espécimen en la fractura, en mm

d = Promedio de la altura del espécimen en la fractura, en mm

- Si la fractura se produce en la superficie de tracción fuera del tercio medio de la luz libre, pero no más allá del 5% calcular el módulo de rotura de la siguiente manera:

$$R = 3Pa / bd^2$$

Donde:

R = Módulo de Ruptura en Mpa.

P = Carga máxima aplicada, indicada por la máquina de ensayo, en N.

a = Distancia media entre la línea de fractura y el apoyo más cercano medido en la superficie de la tracción de la viga, en mm

L = Luz entre apoyos, en mm

b = Promedio del ancho del espécimen en la fractura, en mm

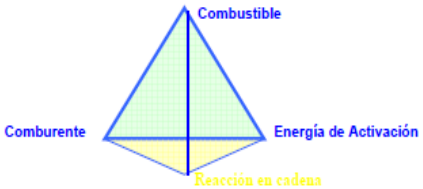
d = Promedio de la altura del espécimen en la fractura, en mm

- Si la fractura se produce en la superficie de tracción fuera del tercio medio de la luz libre, en más de un 5% de la luz libre, desechar los resultados del ensayo.

2.1.4 Incendio

Se denomina así a la reacción química capaz de propagarse de un objeto los cuales no estaban destinados a ser quemados a través de una llama, se fundamenta en parámetros básicos tales como: combustible, comburente, calor o energía de activación y reacción en cadena, Cada uno posee un foco de inicio en el cual el flagelo tuvo su origen, a medida que este avance y dependiendo del material que se encuentre se puede observar focos secundarios que toman diferentes trayectorias pero consumiendo de igual manera todo los elementos del lugar en el que se está desarrollando el fenómeno.

Gráfico # 2: Tetraedro del Fuego



Fuente: Técnicas de investigación de incendios, Universitad Autónoma de Barcelona, 2007.

Un incendio puede tener escenarios distintos en los cuales se pueda propagar, ya sea en lugares cerrados o abiertos cada uno de ellos posee una evolución especifica de acuerdo a los parámetros en los que se encuentra, en el caso de lugares confinados los gases y la temperatura se distribuye en todos los elementos ya sea en mayor o menor medida, adicionalmente comienzan un proceso de ascenso hacia la parte superior que después de un determinado tiempo tiende a estabilizarse.
Por su parte los lugares abiertos presentan un comportamiento muy similar que a su vez difiere en la distribución de los gases ocasionados por la combustión de materiales puesto que al presentarse aberturas estos son evacuados de manera natural, ocasionado que la intensidad del flagelo no sea uniforme en dicho espacio. [4]

2.1.4.1 Causas

2.1.4.1.1 Reacción por Oxidación

Varias sustancias presentan una reacción de oxidación ante la exposición al aire, por lo que el nivel de temperatura alrededor de los elementos aumenta, dicha alteración va modificando la cantidad de calor presente en la atmosfera en un ambiente cerrado, siendo esta la causa principal que da origen a una combustión que puede cambiar su comportamiento de lenta a fuerte en cuestión de segundos. [4]

2.1.4.1.2 Reacción por Causas Biológicas Químicas

Se basa en el calentamiento espontaneo producido por materia orgánica que se encuentra en proceso de fermentación o putrefacción, dichos cambios biológicos al cumplir ciertos parámetros necesarios son considerados como un efecto de oxidación. [4]

2.1.4.1.3 La energía Eléctrica

Se los puede clasificar en dos procesos diferentes los cuales son:

Electrodinámicos. - denominado efecto "Joul" puesto que sigue el principio de trasformación de la energía eléctrica en calórica, normalmente se la conoce como "corto circuito "el mismo que se ha originado por medio de una chispa eléctrica o por el contacto directo de la parte metálica de dos conductores. [4]

Electroestático. - producidas por una acumulación de carga en un elemento de baja conductividad, ocasionando la formación de chispas que de forma explosiva puede producir la propagación del flagelo al ponerse en contacto con gases o vapores de tipo industrial. [4]

2.1.4.1.4 Procesos Meteorológicos

Se denomina así al fenómeno ocasionado por la naturaleza en el cual los hombres no tienen ningún tipo de intervención, las descargas electro atmosféricas o mejor conocidos como rayos no pueden ser controlados, pero si tomar medidas de precaución. [4]

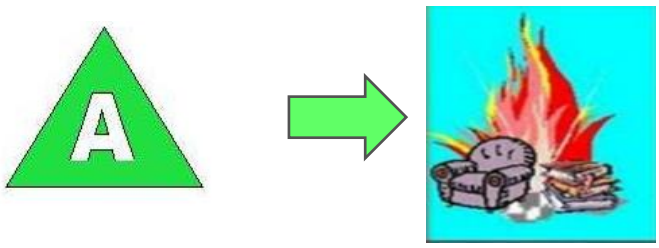
2.1.5 Clasificación del Fuego

Por el tipo de combustible se puede establecer los siguientes;

2.1.5.1 Fuego Tipo A

Se considera de este tipo a la combustión de elementos sólidos tales como madera papel cartón, los cuales pueden presentar residuos al término del flagelo. [4]

Gráfico # *3*: Simbología de Fuego Tipo A

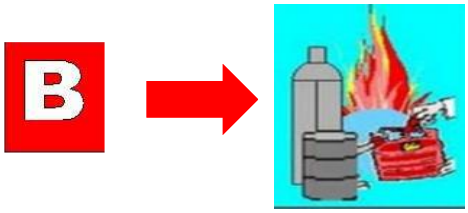


Fuente: Técnicas de Investigación de Incendios, Universitad Autónoma de Barcelona, 2007.

2.1.5.2 Fuego Tipo B

Cuando son producidos por gases, sólidos licuables o cualquier tipo de combustible líquido como gasolina, alcohol etc. [4]

Gráfico # 4: Simbología de Fuego Tipo B

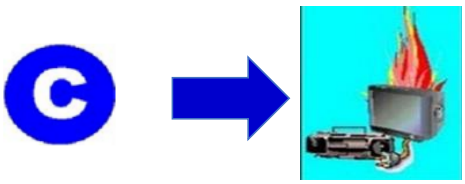


Fuente: Técnicas de Investigación de Incendios, Universitad Autónoma de Barcelona, 2007.

2.1.5.3 Fuego Tipo C

Son aquellos formados por objetos eléctricos ya sean electrodomésticos, cables o interruptores. [4]

Gráfico # *5:* Simbología de Fuego Tipo C

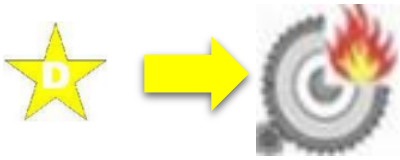


Fuente: Técnicas de Investigación de Incendios, Universitad Autónoma de Barcelona, 2007.

2.1.5.4 Fuego Tipo D

Proceden de la combustión de metales con una alta concentración de magnesio, sodio, aluminio. [4]

Gráfico # 6*:* *Simbología de Fuego Tipo D*

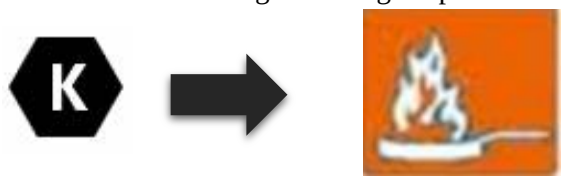


Fuente: Técnicas de Investigación de Incendios, Universitad Autónoma de Barcelona, 2007.

2.1.5.5 Fuego Tipo K

Cuando el fuego se desarrolla por medio de aceites ya sean de tipo vegetal o animal.[4]

Gráfico # 7: Simbología de Fuego Tipo K



Fuente: Técnicas de Investigación de Incendios, Universitad Autónoma de Barcelona, 2007.

2.1.6 Concreto Expuesto al Fuego

El concreto posee buenas características ante la exposición al fuego que impiden la propagación del calor a través de él, pese a ello dicho material tras el aumento de su temperatura presenta múltiples tipologías físicas tales como: fisuración superficial, presencia de cal y disgregación del material, adicionalmente el comportamiento mecánico del concreto se ve afectado de manera considerable y se relaciona directamente al tiempo de exposición y la temperatura en la cual se produjo el flagelo.

Un factor importante en la determinación de su comportamiento ante un incendio son el tipo de material pétreos que se utilizaron, tanto el grueso como el fino influye de forma notable en los cambios que presenta el material después de un fenómeno de combustión, esto se debe a la conductividad térmica propia de cada agregado ya sean estos silíceos o calizos. [5]

Gráfico # 8: Tipologías de una Viga Expuesta al Fuego

Fuente: Seguridad y Protección Completa Frente al Fuego con Hormigón, Hormigón, Julio. 2008.

De acuerdo al grado de afectación y la temperatura en la que se desarrolló el fenómeno puede observarse las siguientes características:

- Temperaturas que oscilan entre los 600° C - 950° C presenta múltiples variaciones físicas entre las más importantes se puede observar la disgregación y porosidad del elemento, además la resistencia del material disminuye en un 60% a 90%

- Temperaturas que oscilan entre los 950° C - 1200° C el concreto muestra un total fallo ante el flagelo, por lo que es necesario su sustitución. [10]

2.1.7 Tipos de Coloración.

El concreto estructural presenta cambios mecánicos y físicos a partir de temperaturas mayores a 300°C, ocasionado por la descarbonatación, porosidad y microfisuramiento interno del material. En función de la temperatura y coloración del concreto se puede determinar de manera más especifica el tipo de daño alcanzado por el flagelo.

Tabla # 1: 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.

2.1.7.1 Acero de Refuerzo Expuesto al Fuego

Al exponerse estructuras al fuego durante intervalos de tiempo considerable su temperatura interior va aumentando paulatinamente, este es el caso del concreto que presenta fisuras en primera instancia, en las cuales el recubrimiento del elemento va perdiéndose de acuerdo al grado de exposición, ocasionando un contacto directo del acero de refuerzo con el fuego. Dichos materiales presentan coeficientes de dilatación similares que fluctúan entre 1 y 16 millonésimas por grado centígrado pese a esto la temperatura del acero será la misma a la que el incendio esté desarrollándose mientras que el concreto tardará mayor tiempo en adquirir dicha temperatura.

Gráfico # 9: Estribo Cortado por Efecto de Altas Temperaturas.

Fuente: Resistencia al Fuego de Estructuras de Hormigón, Cemento y Hormigón, 2005.

Un ejemplo claro del comportamiento del acero en un elemento expuesto al fuego es una viga, puesto que en la zona inferior hay una constante variación de temperatura a diferencia de su parte superior, dicho comportamiento afecta de manera significativa a la estructura y en el caso de vigas isostáticas que no permiten una redistribución de esfuerzos hacia los apoyos estas se verán gravemente afectadas aumentando las posibilidades de un colapso.

Uno de los fenómenos internos que aquejan a todo tipo de elementos estructurales en un incendio se denomina spalling el cual se basa en la explosión interna del vapor existente en el concreto, además la pérdida de cohesión entre los agregados facilita la penetración del fuego disminuyendo así la adherencia acero-hormigón.

Una vez expuesto el acero de refuerzo su comportamiento está en función de la temperatura a la cual se encuentre expuesto el material, varias investigaciones han demostrado que el acero presenta una disminución de su resistencia a la fluencia cuando este excede los 600 grados centígrados, sin embargo, se ha podido observar pequeñas variaciones en su módulo de elasticidad y límite de proporcionalidad una vez alcanzado los 100 grados centígrados. [10]

2.1.8 Patologías – Concreto Estructural Expuesto al Fuego

El concreto es un material que presenta buenas características ante el fuego, sin embargo, la exposición a altas temperaturas y durante un tiempo prolongado hace que dicho material vaya adquiriendo la temperatura a la cual se encuentra el flagelo, ocasionando que los elementos expuesto presenten una o varias alteraciones en su estructura. [12]

2.1.8.1 Calcinación Incipiente

El concreto no presenta mayor cambio en su coloración, pese a ello se puede identificar pequeñas microfisuras en forma de mapa. [12]

2.1.8.2 Calcinación Superficial

Se puede observar una leve coloración amarillenta que puede dar origen a una descarbonatación, además presenta un fisuramiento térmico por alabeo. [12]

2.1.8.3 Calcinación Avanzada

Presenta una coloración gris con una clara descarbonatación del material y un descascaramiento de la superficie del elemento. [12]

2.1.8.4 Calcinación Muy Avanzada

Presenta una coloración blanca intensa conjuntamente con una desintegración superficial del concreto. [12]

2.1.8.5 Microfisuras y Cuarteaduras en Mapa

Producto de la contracción térmica que sufre el concreto frente a altas temperaturas, ocasionando planos de falla a lo largo del elemento. [12]

2.1.8.6 Fisuramiento Térmico por Alabeo

Propia de elementos planos en los cuales el fuego tuvo foco en el tercio medio del elemento, se lo puede observar en las partes inferiores de las losas que han alcanzado un grado de calcinación incipiente y superficial. [12]

2.1.8.7 Fisuramiento por Choque Térmico

Producto del enfriamiento brusco del material que ha adquirido temperaturas elevadas y al ponerse en contacto con el agua o algún tipo de extinguidor ocasiona un choque térmico en la estructura del elemento. [12]

2.1.8.8 Descascaramiento

Ocasionado por el desprendimiento superficial de elementos con presencia de humedad o con un nivel de descarbonatación avanzada en el que se puede observar pérdida de masa. [12]

2.1.8.9 Desintegración por Fatiga

Se denomina así al desprendimiento de la superficie del hormigón expuesta al fuego durante un período de tiempo prolongado. [12]

2.2 HIPÓTESIS

El Concreto Estructural Expuesto al Fuego Influye en su Resistencia a Flexión.

2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES

Variable Dependiente

Concreto Estructural Expuesto al Fuego

Variable Independiente

Resistencia a Flexión

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

Los niveles de investigación a ser utilizados en este proyecto serán: exploratorio, descriptivo y de laboratorio.

Será exploratorio, puesto que el estudio del concreto estructural expuesto al fuego en nuestro país ha sido muy limitado, por lo que la metodología a utilizarse ampliará de forma detallada el comportamiento de un elemento de concreto estructural sometido a altas temperaturas en intervalos crecientes de tiempo mediante la aplicación de múltiples ensayos que permitan analizar las propiedades en las cuales el material presenta algún tipo de cambio o alteración.

Será descriptivo, porque se contará con una amplia información acerca del comportamiento del concreto estructural expuesto al fuego y su influencia en las propiedades físicas y mecánicas del material, las mismas que podrían utilizarse como parámetros específicos en la determinación del grado de afectación de una estructura que ha sido sometida a altas temperaturas.

Será de laboratorio, puesto que se realizarán ensayos que permitan determinar el tipo de agregado y la resistencia a flexión de los especímenes a elaborarse. Se utilizará el Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

Por ser un trabajo de tipo experimental en el cual su universo no es cuantificable y no permite la aplicación de fórmulas matemáticas para la obtención de una muestra específica, se tomará como referencia la normativa ASTM C348-97 en la que se establece el número de testigos a ser elaborados por cada período de prueba, razón por la cual en la presente investigación se utilizará una muestra compuesta de 3 unidades.

3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Concreto Estructural Expuesto al Fuego

Tabla # 2: Variable Independiente:

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Se denomina así a todo tipo de concreto reforzado con una armadura compuesta de barras de acero el cual ha sido sometido a altas temperaturas en diferentes intervalos de tiempo y a lo largo de toda su superficie.	Concreto	Propiedades Físicas	¿Cuáles son las Propiedades Físicas del Concreto?	- Investigación Bibliográfica, De Laboratorio y Experimental - Normas INEN, ASTM
		Resistencia	¿Qué parámetros afectan a la resistencia del concreto?	- Investigación Bibliográfica, De Laboratorio y Experimental - Normas INEN, ASTM

	Fuego	Estado Físico de los Combustibles	¿Qué tipo de combustible es el más utilizado para la producción de fuego?	- Investigación Bibliográfica
		Por su Energía de Activación	¿Cuáles son los tipos de fenómenos que originan fuego?	- Investigación Bibliográfica

Fuente: Giovanni Alvarado

Resistencia a Flexión

Tabla # 3: Variable Dependiente

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Se denomina resistencia a flexión al ensayo de un elemento estructural (viga) ante la aplicación de carga, determinando así tanto la resistencia de los materiales como las deformaciones del espécimen.	Acero de Refuerzo	Resistencia a la Tensión	¿Cómo afecta la disminución de la Resistencia a Tensión del acero en el Concreto?	- Investigación de Laboratorio y Experimental
		Módulo de Fluencia	¿Cómo se determina el Módulo de Fluencia del acero?	- Investigación de Laboratorio y Experimental - Normas INEN, ASTM

	Módulo de Rotura	Carga Máxima	¿Qué tipo de carga se aplica en la viga a ensayar?	- Investigación de Laboratorio y Experimental - Normas INEN, ASTM

Fuente: Giovanni Alvarado

3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Tabla # 4: Plan de Recolección de Información

PREGUNTAS BÁSICAS	EXPLICACIÓN
¿Para qué?	- Para investigar el comportamiento del concreto estructural expuesto al fuego en diferentes intervalos de tiempo.
¿Qué evaluar?	- De probetas normalizadas realizadas en laboratorio que han adquirido su resistencia final.
¿Sobre qué aspectos?	- Influencia del fuego en las propiedades mecánicas y físicas del concreto estructural.
¿Quién?	- Giovanni Josué Alvarado Aguirre.
¿Dónde?	- Laboratorio de ensayo de Materiales y Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.
¿Cómo?	- Investigación Bibliográfica - Normas INEN, ASTM - Ensayos de Laboratorio

Fuente: Giovanni Alvarado

3.5 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

Se seguirá un plan de procesamiento y análisis de la información estructurado de la siguiente manera:

- Revisión de la Investigación Bibliográfica
- Interpretación de Resultados Obtenidos en Laboratorio
- Análisis y Comparación entre Resultados de Laboratorio e Hipótesis
- Planteamiento de Conclusiones y Recomendaciones.

CAPÍTULO IV

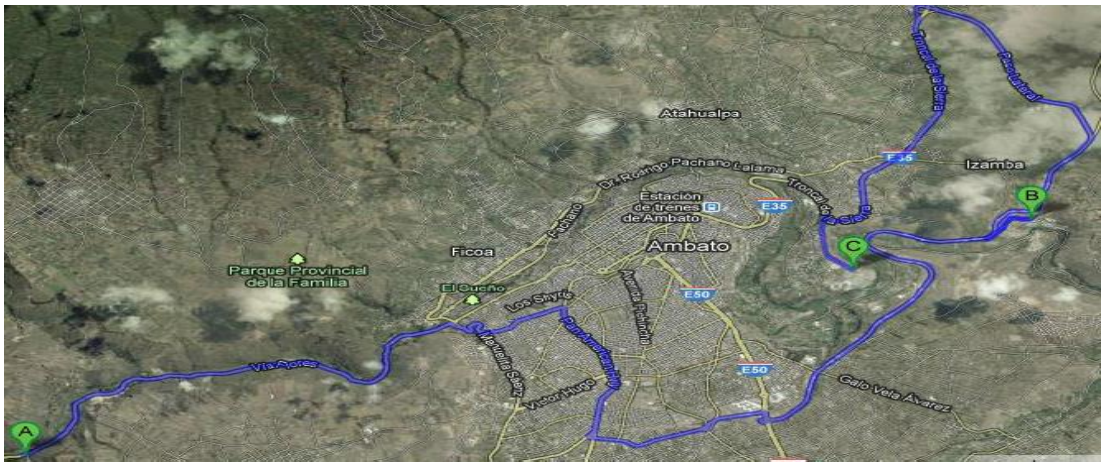
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

4.1.1 Selección de Material

Ambato cuenta con tres minas que proveen de material pétreo a toda la ciudad, para la presente investigación se ha optado por la utilización de agregados proveniente de la Cantera Villacrés, la misma que presentan una gran variedad de agregados pétreos en cuanto a calidad y tipo.

Gráfico # 10: Localización de Minas en la Ciudad de Ambato



Fuente: "Módulo de elasticidad del Hormigón en Base a su Resistencia a la Compresión de 21 Mpa, Universidad Central, 2013.

Punto A Playa Llagchoa ***Coordenadas*** -1.279744,-78.689484

Punto B Canteras Villacrés La Península Sector Bajo ***Coordenadas*** -1.246818,-78.600486

Punto C Planta Industrial de Trituración de Áridos ***Coordenadas*** -1.237743,-78.583372

4.1.2 Agregados Pétreos

Como paso previo a la dosificación del hormigón se realiza una serie de ensayos a los agragados ya sean grueso o fino para de esta manera determinar propiedades básicas del material siguiendo las especificaciones técnicas establecidas en la norma.
Los ensayos realizados se describen a continuación:

Agregado Grueso	**Agregado fino**
Análisis Granulométrico	Análisis Granulométrico
Peso Unitario Suelto	Peso Unitario Suelto
Peso Unitario Compactado	Peso Unitario Compactado
Peso Específico	Peso Específico
Capacidad de Absorción	Capacidad de Absorción

4.1.3 Dosificación del Hormigón

El método de la densidad máxima elaborado por la Universidad Central del Ecuador requiere de múltiples factores que permiten conocer de forma específica las propiedades físicas y mecánicas de los agregados pétreos tales como:

- W/C Relación Agua Cemento
- CP (%) Cantidad de Pasta en %
- POV Porcentaje Óptimo de Vacíos
- DRC Densidad Real del Cemento
- DRA Densidad Real de la Arena
- DRR Densidad Real del Ripio
- DSA Densidad Suelta de la Arena
- DSR Densidad Suelta del Ripio
- POA Porcentaje Óptimo de Arena
- POR Porcentaje Óptimo de Ripio
- DOM Densidad Óptima de la Mezcla
- DRM Densidad Real de la Mezcla

Previamente a la dosificación se debe establecer parámetros de diseño del hormigón como cantidad de pasta y relación agua cemento.

4.1.3.1 Relación Agua Cemento

El diseño de hormigón tendrá una resistencia final de 210 kg/cm^2

Tabla # 5: Relación Agua / Cemento

Resistencia (kg/cm^2)	Relación (W/C)
450	0.37
420	0.40
400	0.42
350	0.47
320	0.51
300	0.52
280	0.53
250	0.56
240	0.57
210	0.58
180	0.62
150	0.70

Fuente: Investigación Sobre el Módulo de Elasticidad del Hormigón, Seminario de Graduación, Universidad Central del Ecuador, 2010.

4.1.3.2 Cantidad de Pasta

En función al porcentaje óptimo de vacíos y al asentamiento se podrá determinar la cantidad de pasta existente en la mezcla.

Tabla # 6: Asentamiento- Cantidad de Pasta

Asentamiento	Cantidad de Pasta (%)
0-3	%OV + 2% + 3%(%OV)
3-6	%OV + 2% + 6%(%OV)
6-9	%OV + 2% + 8%(%OV)
9-12	%OV + 2% + 11%(%OV)
12-15	%OV + 2% +13%(%OV)

Fuente: Investigación Sobre el Módulo de Elasticidad del Hormigón, Seminario de Graduación, Universidad Central del Ecuador, 2010.

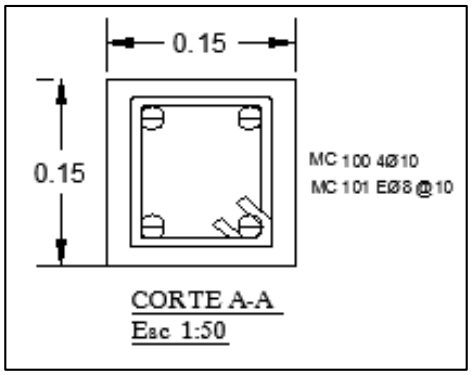
Los datos proporcionados facilitarán el diseño de hormigón con una resistencia final a los 28 días de curado de 210 kg/cm^2, la misma que servirá como base en el hormigonado de cada uno de los especímenes a ensayarse.

4.1.4 Dimensionamiento de Probetas

Para la consecución del proyecto se realizó 20 probetas de hormigón armado con las siguientes especificaciones

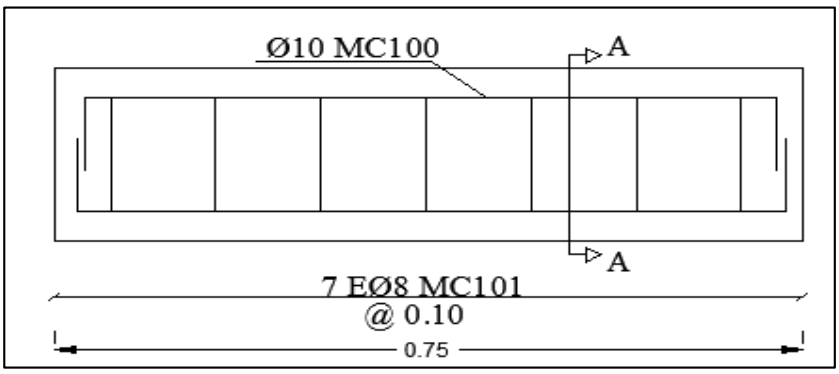
- Viga; b= 15 cm, h= 15 cm
- Refuerzo longitudinal: 4 Ø 10 mm superior e inferior
- Refuerzo transversal: 7 Ø 8 mm @ 10 cm
- Recubrimiento e=2,5 cm
- f 'c = 210 kg/cm^2
- fy = 4200 Kg/cm²

Gráfico # 11: Sección Transversal del Elemento



Fuente: ASTM C-31

Gráfico # 12: Vista Longitudinal del Elemento



Fuente: ASTM C-31

4.1.4.1 Acero de Refuerzo

Tabla # 7: Planilla de Acero

PLANILLA DE ACERO												
				DIMENSIONES						LONG	LONG	PESO
Mc	Tipo	Ø	No.	a	b	c	d	e	g	CORTE	TOTAL	KG
VIGAS												
100	C	10	80	0.65	0.05	0.05				0.75	60.00	37.02
101	O	8	140	0.20	0.20				0.10	0.50	70.00	27.65

Fuente: Giovanni Alvarado

4.1.5 Exposición al Fuego

Para la exposición del concreto al fuego se estableció parámetros de tiempo en los cuales se podrá observar cambios físicos y mecánicos, adicionalmente de acuerdo al número de vigas realizadas se tomó una muestra de 3 especímenes a quemarse en cada intervalo de media hora y una viga adicional sin quemar, la cual servirá como punto de comparación con los otros elementos.

4.1.5.1 Número de Elementos Expuesto al Fuego e Intervalos.

Etapa 1

Etapa 2

4.1.5.2 Sistema de Quemado

Establecido el número de muestras expuestas al fuego se procede al quemado de dichas probetas a determinados intervalos de tiempo, para lo cual se aplicó un tipo de fuego directo originado en un horno de fundición con temperaturas que oscilaban entre los 700°C-1100°C. El horno está compuesto por un venterol y un crisol de forma circular por el cual ingresa el aire conjuntamente con el combustible permitiendo que el fuego circule de manera homogénea en todo el elemento como se muestra a continuación.

Fotografía # 1: Horno de Quemado

Fuente: Giovanni Alvarado

Tras haber cumplido el proceso de quemado los especímenes pasan a un enfriamiento lento el cual consiste en sacar las probetas del horno y colocarlas en un lugar bajo cubierta durante 24 horas para su posterior ensayo.

Fotografía # 2: Enfriamiento de Probetas

Fuente: Giovanni Alvarado

4.1.6 Ensayo de Probetas.

Se procede al ensayo de cada una de los elementos ya sean expuestas al fuego o no, mediante la máquina de flexión, que ha sido calibrada previamente con los parámetros establecidos en la norma de ensayo ASTM C78.

Fotografía # 3: Ensayo a Flexión

Fuente: Giovanni Alvarado

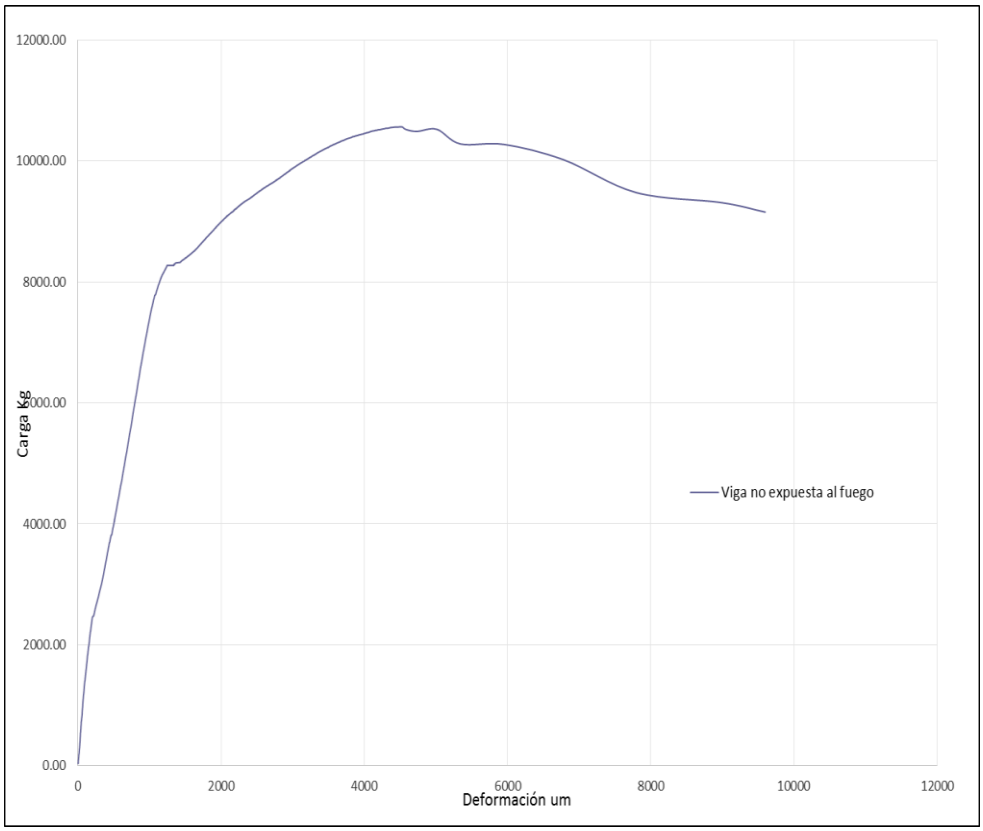
Fotografía # 4: Viga Ensayada

Fuente: Giovanni Alvarado

4.1.7 Interpretación de Datos

El ensayo de flexión proporciona múltiples datos entre los cuales tomaremos como punto de análisis elementos tales como Carga y Deformación, puntos básicos en la determinación del comportamiento del concreto estructural expuesto o no al fuego.

Gráfico # 13: Resistencia a Flexión



Fuente: Giovanni Alvarado

4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.2.1 Ensayos de Agregados Pétreos

Los ensayos realizados previos a la elaboración de las probetas se describen a continuación

Agregado Grueso	**Agregado fino**
Análisis Granulométrico	Análisis Granulométrico
Peso Unitario Suelto	Peso Unitario Suelto
Peso Unitario Compactado	Peso Unitario Compactado
Peso Específico	Peso Específico
Capacidad de Absorción	Capacidad de Absorción

Cemento

Densidad Real del Cemento

Tabla # 8: Análisis Granulométrico Agregado Grueso

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

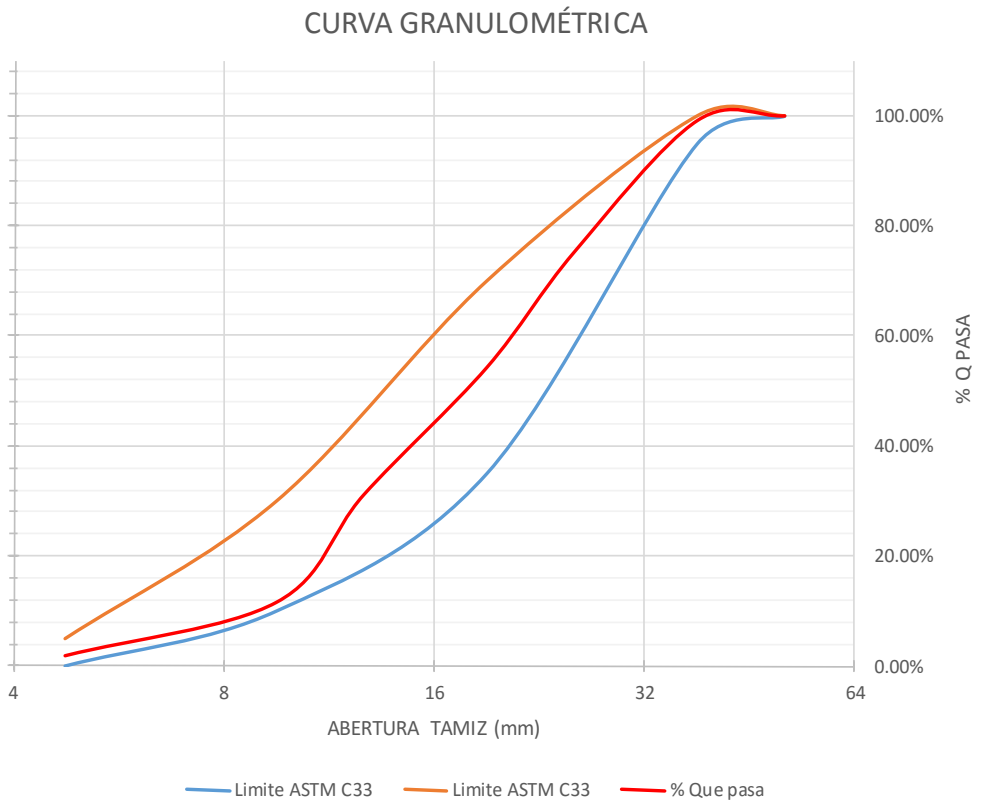
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ESTRUCTURAL EXPUESTO AL FUEGO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO

ORIGEN:	Cantera Villacrés		
PESO MUESTRA (gr):	9175	**PÉRDIDA DE MUESTRA (%**	0.49%
ENSAYADO POR:	Egdo Josue Alvarado	**FECHA:**	14/Nov/2015
NORMA:	NTE INEN 696		

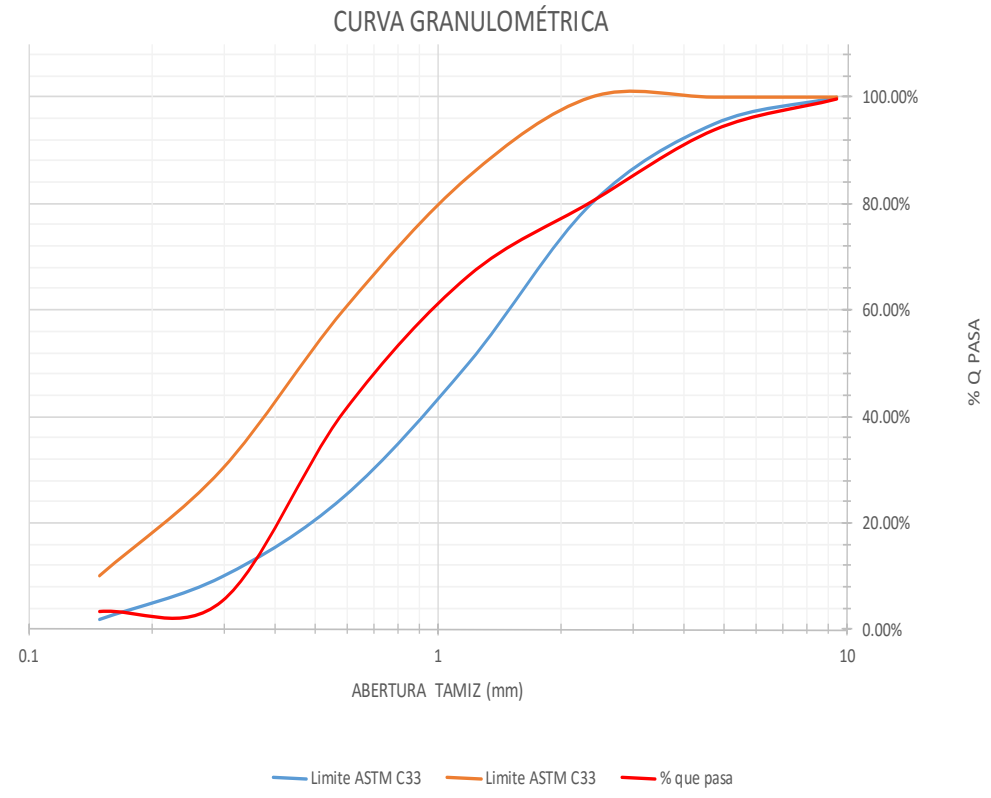
Tamiz	**Abertura (mm)**	**Retenido parcial (gr)**	**Retenido acumulado (gr)**	**% Retenido acumulado**	**% que pasa**	**Límites ASTM % que pasa**
2"	50.8	0	0	0.00%	100.00%	100
1 ½"	38.1	78.2	78.2	0.85%	99.15%	95 - 100
1"	25.4	2194.1	2272.3	24.77%	75.23%	-
3/4"	19.05	1924.1	4196.4	45.74%	54.26%	35 - 70
1/2"	12.7	2125.3	6321.7	68.90%	31.10%	-
3/8"	9.53	1792.1	8113.8	88.43%	11.57%	10 - 30
#4	4.75	892.1	9005.9	98.16%	1.84%	0 - 5
BANDEJA		124.6	9130.5	99.51%	0.49%	-
TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO:				1 ½"		



Fuente: Giovanni Alvarado

Tabla # 9: Análisis Granulométrico Agregado Fino

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ESTRUCTURAL EXPUESTO AL FUEGO						
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO						
ORIGEN:		Cantera Villacrés				
PESO MUESTRA (gr):		811.8		**PÉRDIDA DE MUESTRA (%):**		0.64
ENSAYADO POR:		Egdo Josue Alvarado		**FECHA:**		14/Nov/2015
NORMA:		NTE INEN 696				
Tamiz	**Abertura (mm)**	**Retenido parcial (gr)**	**Retenido acumulado (gr)**	**% Retenido acumulado**	**% que pasa**	**Límites ASTM % que pasa**
3/8	9.5	4.1	4.1	0.51%	99.49%	100
#4	4.76	47.1	51.2	6.31%	93.69%	95-100
#8	2.38	109.6	160.8	19.81%	80.19%	80-100
#16	1.19	112.9	273.7	33.72%	66.28%	50-85
#30	0.59	206.8	480.5	59.19%	40.81%	25-60
#50	0.297	288.2	768.7	94.69%	5.31%	10-30
#100	0.149	15.5	784.2	96.60%	3.40%	2-10
#200	0.075	21.6	805.8	99.26%	0.74%	-
BANDEJA		0.8	806.6	99.36%	-	-
MÓDULO DE FINURA				3,00%		



Fuente: Giovanni Alvarado

Tabla # 10: Peso Unitario Suelto y Compactado

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ESTRUCTURAL EXPUESTO AL FUEGO				
PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO				
ORIGEN:	Cantera Villacrés			
MASA RECIPIENTE (Kg):	9.8			
ENSAYADO POR:	Egdo Josue Alvarado		**FECHA:**	15/Nov/2015
VOLUMEN RECIPIENTE (dm^3):	20.23			
NORMA:	NTE INEN 858:2010			
Agregado	**Agregado + Recipiente (kg)**	**Agregado (kg)**	**Peso Unitario (kg/dm^3)**	**Promedio (kg/dm^3)**
GRUESO	37.60	27.80	1.37	1.38
	37.70	27.90	1.38	
FINO	38.50	28.70	1.42	1.42
	38.70	28.90	1.43	
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ESTRUCTURAL EXPUESTO AL FUEGO				
PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO				
ORIGEN:	Cantera Villacrés			
MASA RECIPIENTE (Kg):	9.8			
ENSAYADO POR:	Egdo Josue Alvarado		**FECHA:**	15/Dic/2015
VOLUMEN RECIPIENTE (dm^3):	20.23			
NORMA:	NTE INEN 858:2010			
Agregado	**Agregado + Recipiente (kg)**	**Agregado (kg)**	**Peso Unitario (kg/dm^3)**	**Peso Unitario Promedio (kg/dm^3)**
GRUESO	39.90	30.10	1.49	1.50
	40.30	30.50	1.51	
FINO	41.20	31.40	1.55	1.54
	40.70	30.90	1.53	

Fuente: Giovanni Alvarado

Tabla # 11: Peso Unitario Compactado

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

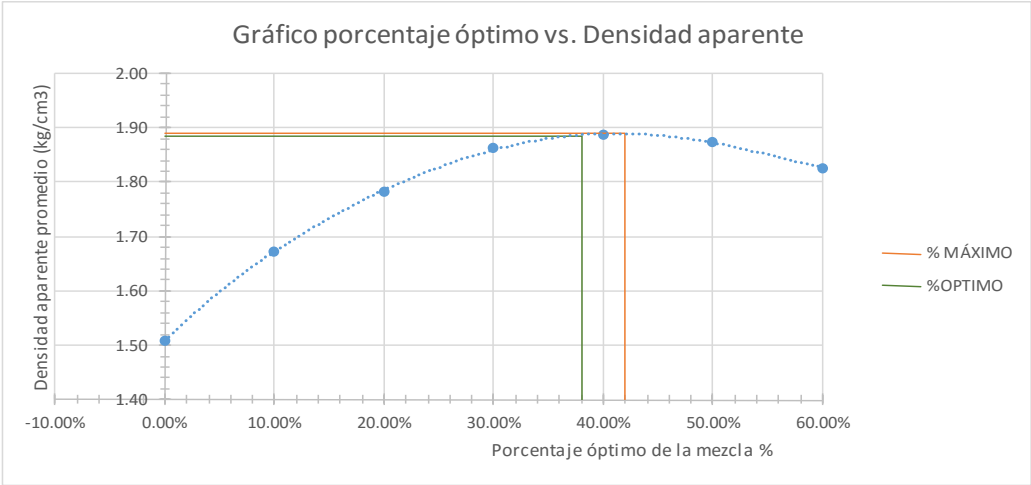
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ESTRUCTURAL EXPUESTO AL FUEGO

PESO UNITARIO COMPACTADO DE LA MEZCLA

ORIGEN:	Cantera Villacrés		
MASA RECIPIENTE (Kg):	9.8		
ENSAYADO POR:	Egdo Josue Alvarado	**FECHA:**	16/Nov/2015
VOLUMEN RECIPIENTE (	20.23		
NORMA:	NTE INEN 858:2010		

% Mezcla		Cantidad (kg)		Fino añadido (kg)	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso unitario mezcla (kg/dm^3)	Peso unitario promedio
GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	FINO	AGREGADO FINO + GRUESO			
100.00%	0.00%	40.00	0.00	0.00	40.20	30.40	1.50	1.51
					40.40	30.60	1.51	
90.00%	10.00%	40.00	4.44	4.44	43.80	34.00	1.68	1.67
					43.50	33.70	1.67	
80.00%	20.00%	40.00	10.00	5.56	45.80	36.00	1.78	1.78
					45.90	36.10	1.78	
70.00%	30.00%	40.00	17.14	7.14	47.60	37.80	1.87	1.86
					47.40	37.60	1.86	
60.00%	40.00%	40.00	26.67	9.53	48.10	38.30	1.89	1.89
					47.80	38.00	1.88	
50.00%	50.00%	40.00	40.00	13.33	47.60	37.80	1.87	1.87
					47.80	38.00	1.88	
40.00%	60.00%	40.00	60.00	20.00	46.70	36.90	1.82	1.83
					46.80	37.00	1.83	



Porcentaje máximo de agregado fino (%)	42.00%
Porcentaje máximo de agregado grueso (%)	58.00%
Porcentaje óptimo de agregado fino (%)	38.00%
Porcentaje óptimo de agregado grueso (%)	62.00%
Peso unitario máximo (gr/cm^3)	1.895
Peso unitario óptimo (gr/cm^3)	1.885

Fuente: Giovanni Alvarado

Tabla # 12: Peso Específico y Capacidad de Absorción del Agregado Grueso

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ESTRUCTURAL EXPUESTO AL FUEGO				
PESO ESPECÍFICO Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO				
ORIGEN:	Cantera Villacrés			
ENSAYADO POR:	Egdo Josue Alvarado	**FECHA:**	17/Nov/2015	
NORMA:	NTE INEN 857			
PESO ESPECÍFICO				
DATOS	**DESIGNACIÓN**	**UNIDAD**	**VALOR**	
M1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1305.00	
M2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1127.00	
M3	Masa de la canastilla + muestra SSS en el aire	gr	5373.00	
M4	Masa de la canastilla + muestra SSS en el agua	gr	3499.00	
DA	Densidad real del agua	gr/cm3	1.00	
M5 = M3-M1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	4068.00	
M6 = M4-M2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr	2372.00	
VR=(M5-M6)/DA	Volumen real de la muestra	cm3	1696.00	
DR=M5/VR	Densidad real	gr/cm3	2.40	
CÁLCULO DE LACAPACIDAD DE ABSORCIÓN				
DATOS	**DESIGNACIÓN**	**UNIDAD**	**VALOR**	
M7	Masa del recipiente	gr	23.30	24.80
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	127.80	136.10
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	104.50	111.30
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	122.50	130.80
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	99.20	106.00
CA=((M9-M11)/M11)*10	Capacidad de absorción	%	5.34	5.00
P2=(CA1+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	5.17	

Fuente: Giovanni Alvarado

Tabla # 13: Peso Específico y Capacidad de Absorción del Agregado Fino

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ESTRUCTURAL EXPUESTO AL FUEGO				
PESO ESPECÍFICO Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO				
ORIGEN:	Cantera Villacrés			
ENSAYADO POR:	Egdo Josue Alvarado	**FECHA:**	18/Nov/2015	
NORMA:	NTE INEN 856			
PESO ESPECÍFICO				
DATOS	**DESIGNACIÓN**	**UNIDAD**	**VALOR**	
M1	Masa del picnómetro	gr	159.90	
M2	Masa del picnómetro + muestra SSS	gr	262.90	
M3	Masa del picnómetro + muestra SSS + agua	gr	719.60	
M4=M3-M2	Masa agua añadida	gr	456.70	
M5	Masa picnómetro + 500cc de agua	gr	657.50	
M6=M5-M1	Masa de 500cc de agua	gr	497.60	
DA=M6/500cm3	Densidad del agua	gr/cm3	1.00	
M7=M6-M4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	40.90	
Msss=M2-M1	Masa del agregado	gr	103.00	
Vsss=M7/DA	Volumen del agua desalojada	cm3	41.10	
DRA=Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm3	2.51	
CÁLCULO DE LACAPACIDAD DE ABSORCIÓN				
DATOS	**DESIGNACIÓN**	**UNIDAD**	**VALOR**	
M7	Masa del recipiente	gr	24.50	26.00
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	116.30	125.70
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	91.80	99.70
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	114.70	123.90
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	90.20	97.90
CA=((M9-M11)/M11)*10	Capacidad de absorción	%	1.77	1.84
P2=(CA1+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	1.81	

Fuente: Giovanni Alvarado

Tabla # 14: Densidad Real del Cemento

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ESTRUCTURAL EXPUESTO AL FUEGO				
DENSIDAD REAL DEL CEMENTO				
TIPO:	Cemento Rocafuerte			
ENSAYADO POR:	Egdo Josue Alvarado	**FECHA:**	21/Nov/2015	
NORMA:	NTE INEN 156			
CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL				
DATOS	**DESIGNACIÓN**	**UNIDAD**	**VALOR**	
M1	Masa del picnómetro	gr	167.30	152.70
M2	Masa del picnómetro + muestra	gr	267.30	303.60
M3	Masa del picnómetro + muestra + gasolina	gr	603.10	631.00
M4=M3-M2	Masa gasolina añadida	gr	335.80	327.40
M5	Masa picnómetro + 500cc de gasolina	gr	529.20	519.70
M6=M5-M1	Masa de 500cc de gasolina	gr	361.90	367.00
DG=M6/500cm3	Densidad de la gasolina	gr/cm3	0.72	0.73
M7=M6-M4	Masa de la gasolina desalojada por la muestra	gr	26.10	39.60
M_C=M2-M1	Masa del cemento	gr	100.00	150.90
V_G=M7/DG	Volumen de la gasolina desalojada	cm3	36.06	53.95
DRC=M_C/V_G	Densidad real del cemento	gr/cm3	2.77	2.80
	Densidad real promedio	gr/cm3	2.79	

Fuente: Giovanni Alvarado

4.2.2 Dosificación del Hormigón

Los datos proporcionados facilitarán el diseño de hormigón con una resistencia final a los 28 días de curado de 210 kg/cm^2 mostrada a continuación, la misma que servirá como base en el hormigonado de cada uno de los especímenes a ensayarse.

Tabla # 15: Dosificación del Hormigón

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO *FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL* CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL CONCRETO ESTRUCTURAL EXPUESTO AL FUEGO						
DOSIFICACION DE HORMIGONES						
ENSAYADO POR:	Egdo Josue Alvarado					
DOSIFICACIÓN MÉTODO DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL						
DATOS DE ENSAYOS			DATOS DE TABLAS			
f'c	210	Kg/cm²	W/C	0.58		
Asentamiento	6 - 9	cm	CP (%)	POV + 2% + 8%(POV)		
DRC	3.005	gr/cm³	CÁLCULOS			
DRA	2.510	gr/cm³	DRM	2.442	kg/dm³	
DRR	2.400	gr/cm³	POV	22.80	%	
DSA	1.420	gr/cm³	CP	266.27	dm³	
DSR	1.380	gr/cm³	C	291.71	Kg	
POA	38	%	W	169.19	lts	
POR	62	%	A	699.83	kg	
DOM	1.885	gr/cm³	R	1091.79	kg	
DOSIFICACIÓN AL PESO						
MATERIAL		CANTIDAD EN Kg POR CADA m³ DE HORMIGÓN		DOSIFICACIÓN AL PESO		
W		169.19		0.58		
C		291.71		1.00		
X		699.83		2.40		
R		1091.79		3.74		
TOTAL		2252.53		kg/m³ Densidad del Horm.		
DOSIFICACIÓN AL VOLUMEN						
MATERIAL	CANTIDAD EN Kg POR CADA m³ DE HORMIGÓN	DOSIFICACIÓN AL PESO	CANTIDAD EN Kg POR SACO DE CEMENTO	VOLUMEN APARENTE SUELTO EN dm³ POR CADA SACO DE CEMENTO	DOSIFICACIÓN AL VOLUMEN EN OBRA	
W	169.19	0.58	29.00	-	29.00	litros
C	291.71	1.00	50.00	-	1	saco
A	699.83	2.40	119.95	84.47	3.10	cajones
R	1091.79	3.74	187.13	135.60	5.00	cajones
VOLUMEN REAL DEL HORMIGÓN			386.08	dm³ c/saco		
DIMENSIONES PARIHUELA: B = L = H = 3,00 dm				VOLUMEN PARIHUELA		27,00 dm³
NOMENCLATURA:						
DRC	Densidad Real del Cemento			CP (%)	Cantidad de Pasta en %	
DRA	Densidad Real de la Arena			DRM	Densidad Real de la Mezcla	
DRR	Densidad Real del Ripio			POV	Porcentaje Óptimo de Vacíos	
DSA	Densidad Suelta de la Arena			CP	Cantidad de Pasta	
DSR	Densidad Suelta del Ripio			C	Cantidad de Cemento	
POA	Porcentaje Óptimo de Arena			W	Cantidad de Agua	
POR	Porcentaje Óptimo de Ripio			A	Cantidad de Arena	
DOM	Densidad Óptima de la Mezcla			R	Cantidad de Ripio	
W/C	Relación Agua Cemento					

Fuente: Giovanni Alvarado

4.2.3 Análisis de Probetas Ensayadas

A continuación, se describe el análisis de cada elemento expuesto al fuego en intervalos crecientes de 30 minutos y posteriormente sometidos a un ensayo de flexión con cargas aplicadas a tercios de su luz.

Especificaciones de las Probetas

- Dimensiones: L= 75cm, b= 15 cm, h= 15cm,
- Resistencia a la compresión: f 'c =210 Kg/cm²
- Acero de refuerzo: fy= 4200 Kg/cm²
- Refuerzo longitudinal: 4 ø 10 mm superior e inferior
- Refuerzo transversal: 7 ø 8 mm @ 10 cm
- Recubrimiento: e=2,5 cm

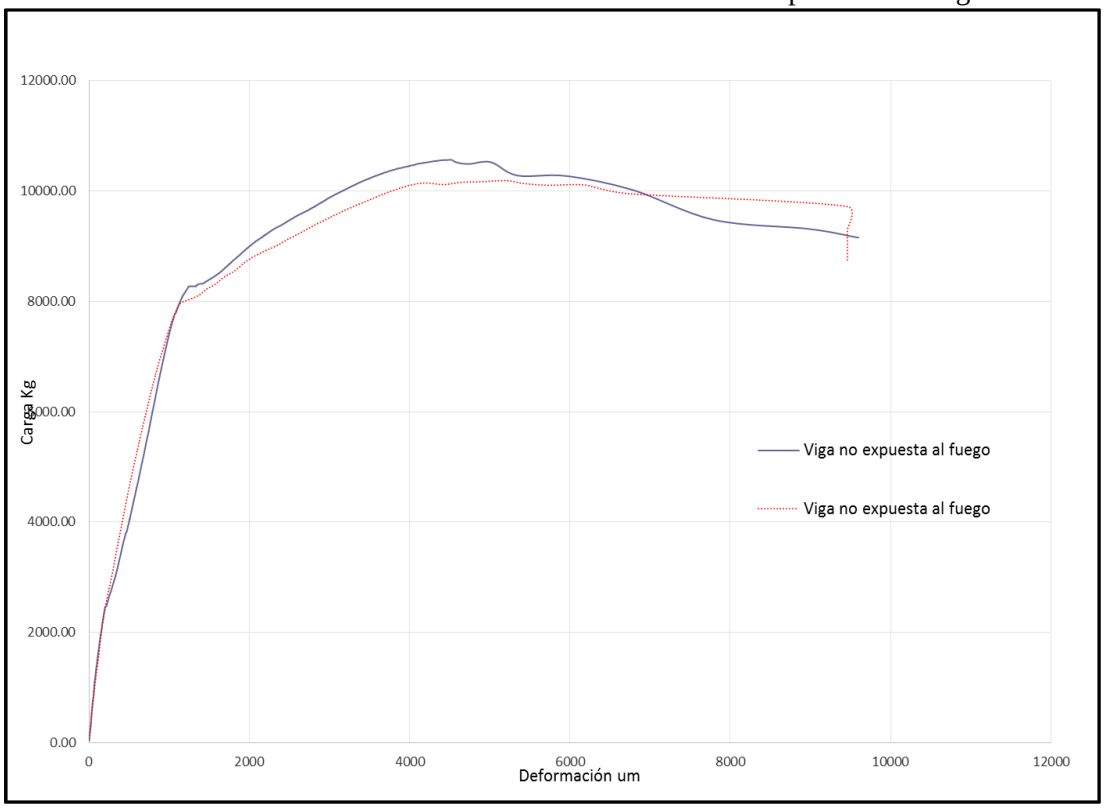
4.2.3.1 Vigas no Expuestas al Fuego

Tabla # 16: Ensayo a Flexión de Elementos no Expuestos al Fuego

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERíA CIVIL ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ESTRUCTURAL EXPUESTO AL FUEGO ENSAYO A FLEXIÓN f'c = 210 Kg/cm²						
ENSAYADO POR: Egdo JOSUÉ ALVARADO				**FECHA:**	18/Dic/2015	
NORMA : ASTM C-78				**DIMENSIONES:**	(15X15X75) CM	
PROBETA	**EDAD (DÍAS)**	**PESO INICIAL**	**CARGA KN**	**CARGA KG**	**MÓDULO DE ROTURA**	**DEFORMACIÓN FINAL (MM)**
A	28	41.70	103.68	10572.25	140.96	9.77
B		41.90	99.89	10185.78	135.81	9.82

Fuente: Giovanni Alvarado

Gráfico # 14: Resistencia a Flexión de Elementos no Expuestos al Fuego



Fuente: Giovanni Alvarado

Los elementos ensayados al no ser expuestos al fuego no presentaron ningún tipo de cambio o alteración en su comportamiento, dichos valores permiten establecer una comparación entre probetas expuestas o no al fuego y su vez determinar la disminución de la resistencia en función al tiempo y temperatura de exposición.

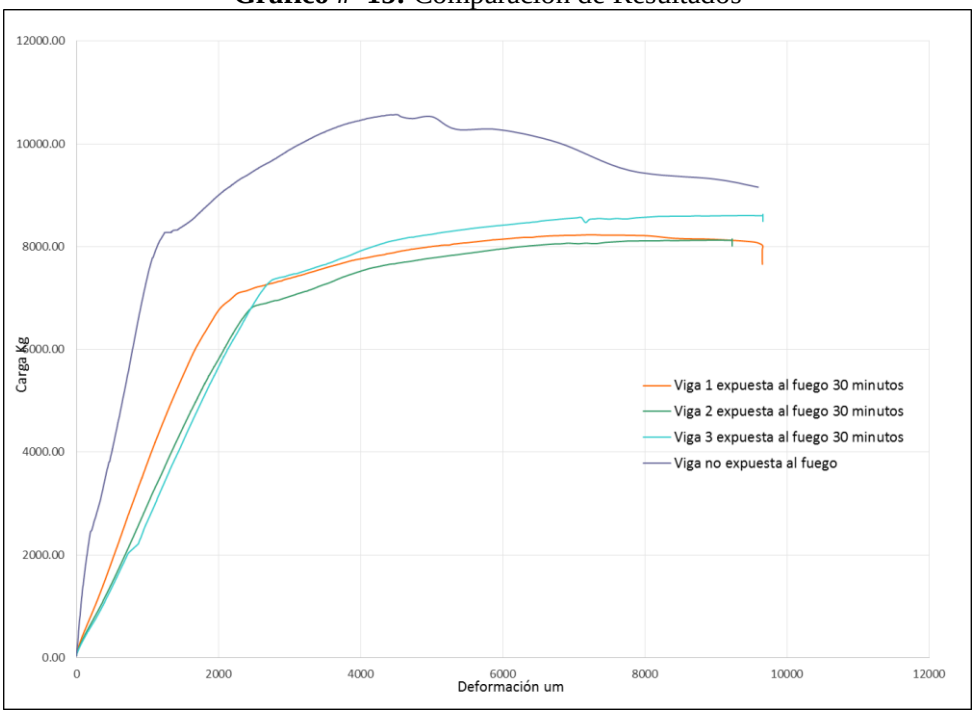
4.2.3.2 Vigas Expuestas al Fuego 30 Minutos

Tabla # 17: Ensayo a Flexión de Elementos Expuestos al Fuego 30 Minutos

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ESTRUCTURAL EXPUESTO AL FUEGO									
ENSAYO A FLEXIÓN									
f'c = 210 Kg/cm²									
ENSAYADO POR: Egdo JOSUÉ ALVARADO					**FECHA:**		18/Dic/2015		
NORMA : ASTM C-78					**DIMENSIONES:**		(15X15X75) CM		
PROBETA	**TIEMPO DE EXPOSICIÓN**	**TEMPERATURA °C**	**EDAD (DÍAS)**	**PESO INICIAL**	**PESO FINAL**	**CARGA KN**	**CARGA KG**	**MÓDULO DE ROTURA**	**DEFORMACIÓN FINAL (MM)**
1	30 min	750-800	28	41.40	39.10	80.74	8233.16	109.78	9.68
2				41.60	39.90	79.90	8147.40	108.63	9.23
3				40.90	38.70	84.60	8626.66	115.02	9.66

Fuente: Giovanni Alvarado

Gráfico # 15: Comparación de Resultados



Fuente: Giovanni Alvarado

Los elementos ensayados presentaron una disminución en su resistencia de alrededor de un 17% ocasionado por la alteración física de los agregados expuestos a temperaturas mayores a los 750°C. Pese a ello tanto el concreto como el acero presentaron el mismo comportamiento que la probeta no expuesta al fuego.

Tabla # 18: Vigas Expuestas al Fuego 30 minutos

Tipo de Daño	Descripción	Tipo de Daño	Descripción
	Descascaramiento Ocasionado por el choque térmico del concreto sometido a temperaturas de 750°C		**Coloración** Cambio de tonalidad en la superficie del elemento.
	Calcinación Incipiente Pequeñas microfisuras en forma de mapa		**Acero de Refuerzo** No presentó ningún tipo de cambio o alteración.
Descripción del Ensayo En el transcurso del ensayo las probetas presentaron sonidos de resquebrajamiento al aparecer las primeras fisuras, siendo esta particularidad constante en cada una de los especímenes.			

Fuente: Giovanni Alvarado

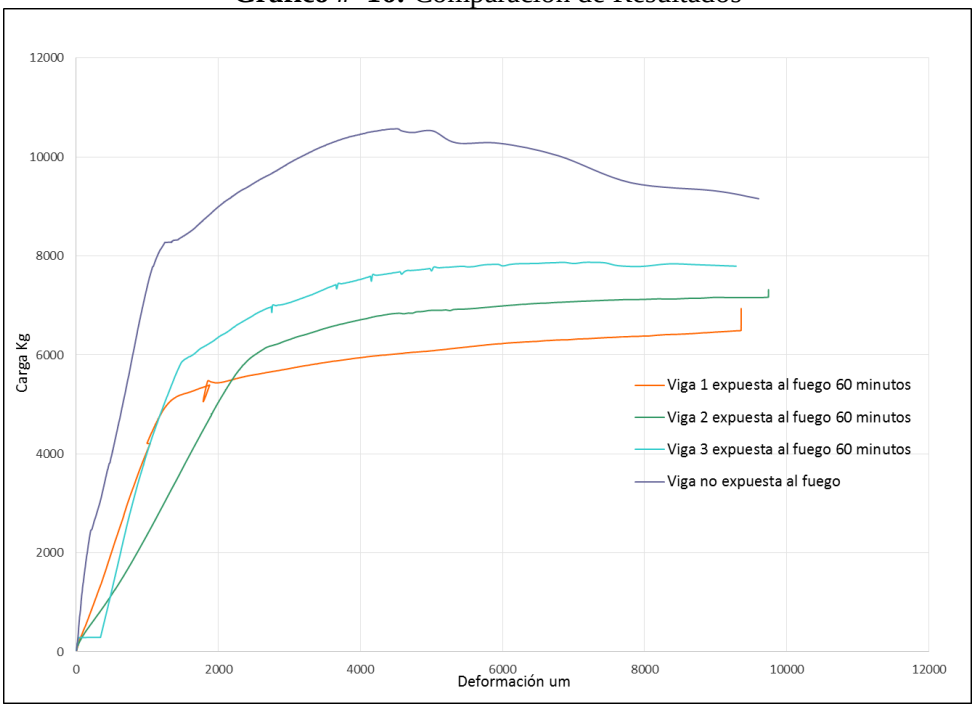
4.2.3.3 Vigas Expuestas al Fuego 60 Minutos

Tabla # 19: Ensayo a Flexión de Elementos Expuestos al Fuego 60 Minutos

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ESTRUCTURAL EXPUESTO AL FUEGO									
ENSAYO A FLEXIÓN									
f'c = 210 Kg/cm²									
ENSAYADO POR: Egdo JOSUÉ ALVARADO					**FECHA:**		18/Dic/2015		
NORMA : ASTM C-78					**DIMENSIONES:**		(15X15X75) CM		
PROBETA	**TIEMPO DE EXPOSICIÓN**	**TEMPERATURA °C**	**EDAD (DÍAS)**	**PESO INICIAL**	**PESO FINAL**	**CARGA KN**	**CARGA KG**	**MÓDULO DE ROTURA**	**DEFORMACIÓN FINAL (MM)**
1	60 min.	800-900	28	41.50	39.50	68.01	6934.98	92.47	9.36
2				41.80	39.80	71.87	7328.58	97.71	9.74
3				41.00	38.90	77.17	7869.02	104.92	9.29

Fuente: Giovanni Alvarado

Gráfico # 16: Comparación de Resultados



Fuente: Giovanni Alvarado

Los elementos expuestos al fuego durante 60 minutos presentaron cambios en sus propiedades físicas y mecánicas, el comportamiento del concreto estructural disminuyó notablemente perdiendo una resistencia de alrededor del 25% con temperaturas que bordearon los 800°C.

Tabla # 20: Vigas Expuestas al Fuego 60 minutos

Tipo de Daño	Descripción	Tipo de Daño	Descripción
	Descascaramiento Ocasionado por el choque térmico del concreto sometido a una temperatura de 800°C		**Microfisuras y Cuarteaduras en Mapa** Microfisuras con un ancho no mayor a 1mm.
	Calcinación Superficial Un leve cambio en su tonalidad acompañado de un fisuramiento térmico.		**Acero de Refuerzo** No presentó ningún tipo de cambio o alteración.
Descripción del Ensayo Las primeras fisuras localizadas en el tercio medio del elemento presentaron sonidos de resquebrajamiento, que pese a ser muy tenues fueron mucho más constantes que las probetas ensayadas anteriormente.			

Fuente: Giovanni Alvarado

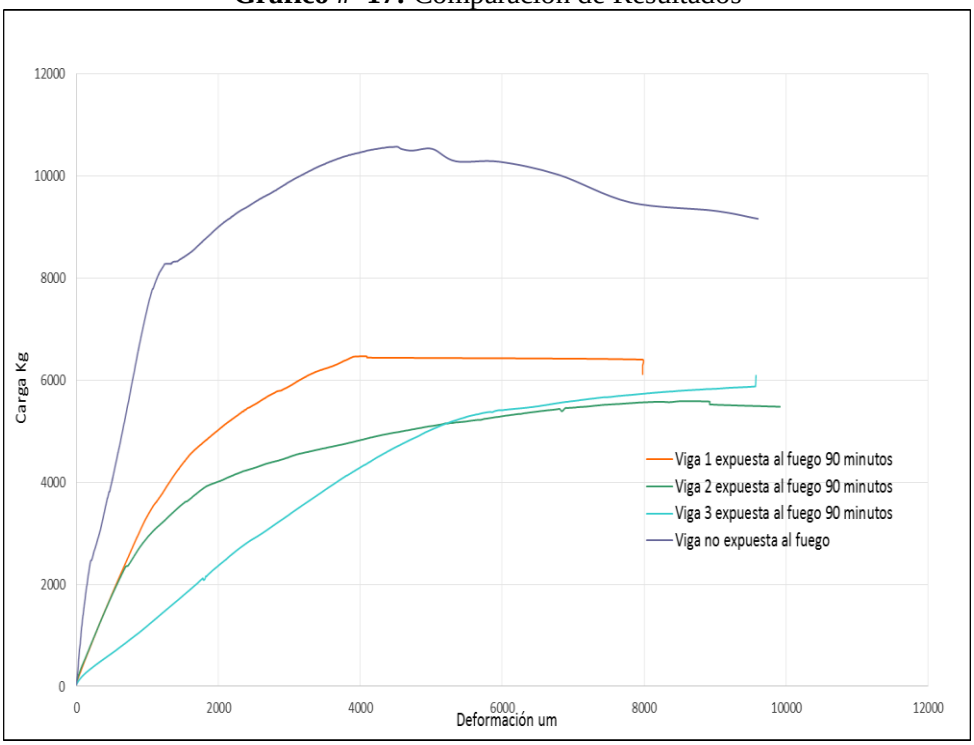
4.2.3.4 Vigas Expuestas al Fuego 90 Minutos

Tabla # 21: Ensayo a Flexión de Elementos Expuestos al Fuego 90 Minutos

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ESTRUCTURAL EXPUESTO AL FUEGO									
ENSAYO A FLEXIÓN									
f'c = 210 Kg/cm²									
ENSAYADO POR: Egdo JOSUÉ ALVARADO					**FECHA:**		18/Dic/2015		
NORMA : ASTM C-78					**DIMENSIONES:**		(15X15X75) CM		
PROBETA	**TIEMPO DE EXPOSICIÓN**	**TEMPERATURA °C**	**EDAD (DÍAS)**	**PESO INICIAL**	**PESO FINAL**	**CARGA KN**	**CARGA KG**	**MÓDULO DE ROTURA**	**DEFORMACIÓN FINAL (MM)**
1	90 min	900-1000	28	41.30	37.90	63.55	6480.19	86.40	7.98
2				41.10	38.50	54.91	5599.17	74.66	9.91
3				41.40	38.50	56.69	5780.68	77.08	9.57

Fuente: Giovanni Alvarado

Gráfico # 17: Comparación de Resultados



Fuente: Giovanni Alvarado

Los elementos presentaron una disminución en su resistencia de alrededor de un 37%, en la cual la pérdida de sección de las vigas es mucho más notoria al momento del ensayo puesto que el elemento casi ha perdido 10 mm del recubrimiento con temperaturas que oscilaban entre los 900 °C.

Tabla # 22: Vigas Expuestas al Fuego 90 minutos

Tipo de Daño	Descripción	Tipo de Daño	Descripción
	Descascaramiento Ocasionado por el choque térmico del concreto sometido a temperaturas de 900°C		**Microfisuras y Cuarteaduras en Mapa** Microfisuras ocasionadas por contracción térmica con un ancho no mayor a 1mm.
	Coloración Cambio en su tonalidad interna y externa (rosado claro)		**Acero de Refuerzo** No presentó ningún tipo de cambio o alteración.
Descripción del Ensayo El material presentó resquebrajamiento en la superficie del tercio medio del elemento, además de un desprendimiento de polvo a través de las fisuras.			

Fuente: Giovanni Alvarado

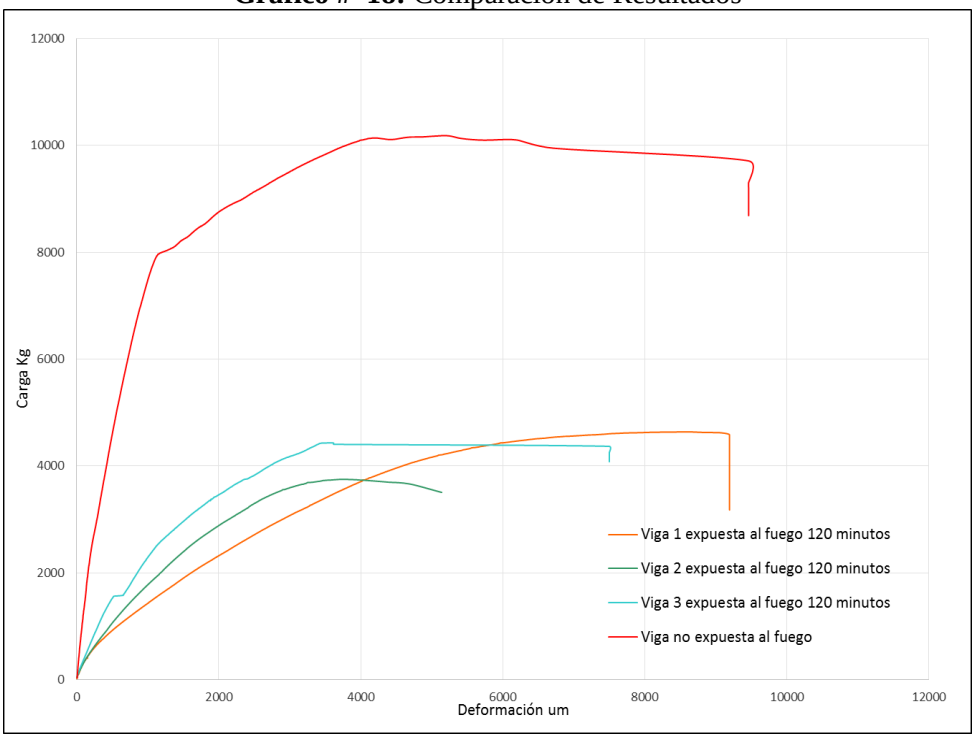
4.2.3.5 Vigas expuestas al fuego 120 minutos

Tabla # 23: Ensayo a Flexión de Elementos Expuestos al Fuego 120 Minutos

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ESTRUCTURAL EXPUESTO AL FUEGO									
ENSAYO A FLEXIÓN									
f'c = 210 Kg/cm²									
ENSAYADO POR: Egdo JOSUÉ ALVARADO					**FECHA:**		18/Dic/2015		
NORMA : ASTM C-78					**DIMENSIONES:**		(15X15X75) CM		
PROBETA	**TIEMPO DE EXPOSICIÓN**	**TEMPERATURA °C**	**EDAD (DÍAS)**	**PESO INICIAL**	**PESO FINAL**	**CARGA KN**	**CARGA KG**	**MÓDULO DE ROTURA**	**DEFORMACIÓN FINAL (MM)**
1	120 min.	900-1000	28	41.40	37.70	45.52	4641.67	61.89	9.18
2				41.50	38.20	36.79	3751.48	50.02	5.58
3				41.10	38.50	43.55	4440.79	59.21	7.51

Fuente: Giovanni Alvarado

Gráfico # 18: Comparación de Resultados



Fuente: Giovanni Alvarado

Los elementos expuestos al fuego durante 120 minutos presentaron una disminución en su resistencia de alrededor de un 46%, en la cual cada uno de los especímenes presentan alteraciones en su comportamiento.

Tabla # 24: Vigas Expuestas al Fuego 120 minutos

Tipo de Daño	Descripción	Tipo de Daño	Descripción
	Calcinación Avanzada Descarbonatación del material con erupciones superficiales.		**Desintegración por Fatiga** Desprendimiento de la superficie del hormigón.
	Coloración Cambio en su tonalidad interna y externa (amarillo claro)		**Acero de Refuerzo** No presentó ningún tipo de cambio o alteración.
Descripción del Ensayo Los especímenes presentaron un tipo de falla explosiva al momento de su rotura.			

Fuente: Giovanni Alvarado

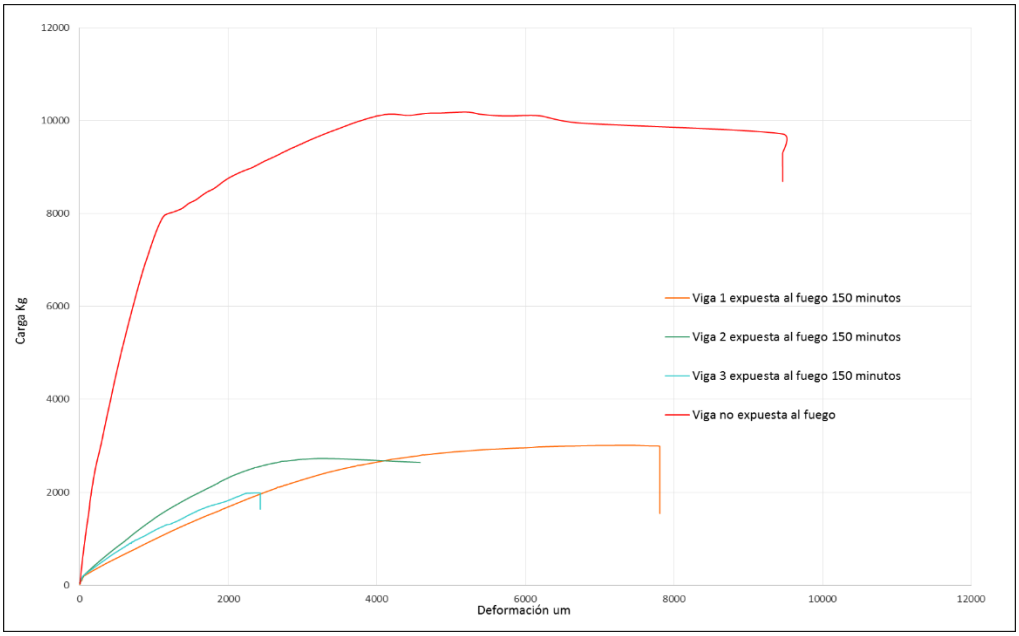
4.2.3.6 Vigas Expuestas al Fuego 150 minutos

Tabla # 25: Ensayo a Flexión de Elementos Expuestos al Fuego 150 Minutos

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ESTRUCTURAL EXPUESTO AL FUEGO									
ENSAYO A FLEXIÓN									
f'c = 210 Kg/cm²									
ENSAYADO POR: Egdo JOSUÉ ALVARADO					**FECHA:**		18/Dic/2015		
NORMA : ASTM C-78					**DIMENSIONES:**		(15X15X75) CM		
PROBETA	**TIEMPO DE EXPOSICIÓN**	**TEMPERATURA °C**	**EDAD (DÍAS)**	**PESO INICIAL**	**PESO FINAL**	**CARGA KN**	**CARGA KG**	**MÓDULO DE ROTURA**	**DEFORMACIÓN FINAL (MM)**
1	150 min.	1000-1050	28	41.30	36.80	29.52	3010.15	40.14	7.85
2				41.50	37.30	26.79	2731.78	36.42	4.51
3				41.90	37.40	19.55	1993.51	26.58	2.92

Fuente: Giovanni Alvarado

Gráfico # 19: Comparación de Resultados

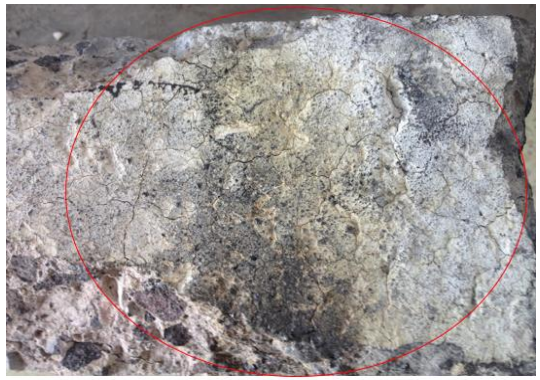


Fuente: Giovanni Alvarado

Interpretación de Resultados

Los especímenes presentaron una disminución en su resistencia del 70% con temperaturas mayores a 1000°C, por lo que se puede apreciar el nivel de afectación tanto en la deformación y carga de cada una de las probetas ensayadas, su comportamiento presenta parámetros diferentes al ser comparados con un elemento no expuesto al fuego.

Tabla # 26: Vigas Expuestas al Fuego 150 minutos

Tipo de Daño	Descripción	Tipo de Daño	Descripción
	**Calcinación Muy Avanzada** Desintegración superficial y una coloración blanca intensa del material.		**Microfisuras y Cuarteaduras en Mapa** Fisuras, cuarteaduras no mayores a 2 mm.
	Acero de Refuerzo El refuerzo transversal presentó una coloración rojiza y un descascaramiento superficial.		
Descripción del Ensayo Las probetas presentaron resquebrajamiento abrupto en la zona media del elemento, en el cual se podía identificar la expulsión de material fino a través de las fisuras.			

Fuente: Giovanni Alvarado

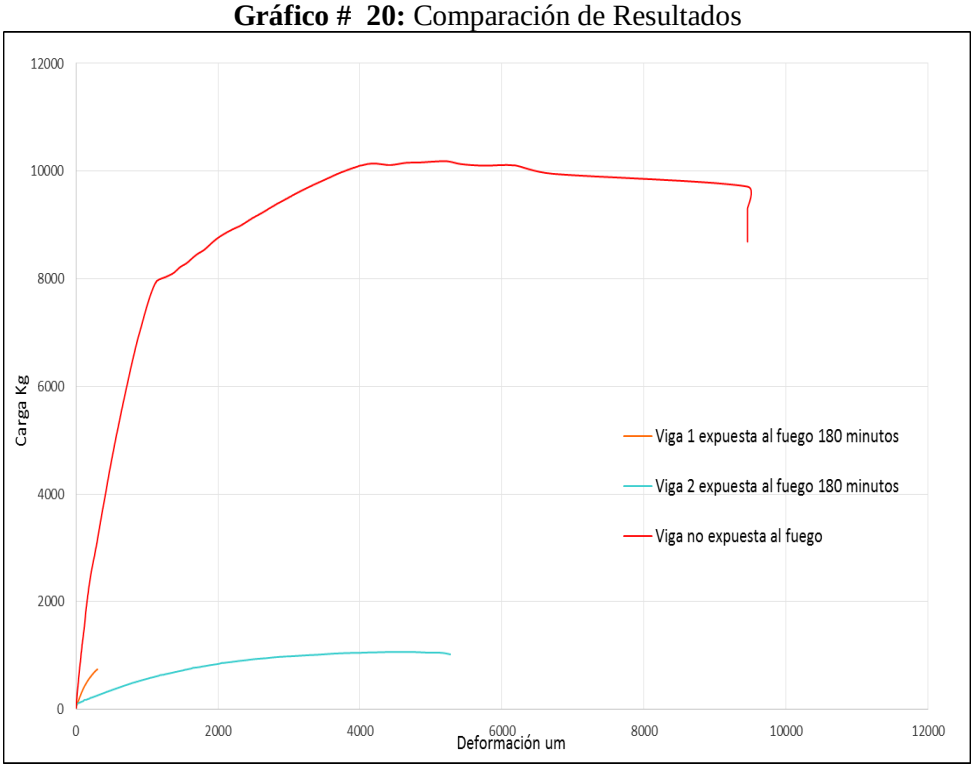
4.2.3.7 Vigas Expuestas al Fuego 180 Minutos

Tabla # 27: Ensayo a Flexión de Elementos Expuestos al Fuego 180 Minutos

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ESTRUCTURAL EXPUESTO AL FUEGO ENSAYO A FLEXIÓN f'c = 210 Kg/cm²									
ENSAYADO POR: Egdo JOSUÉ ALVARADO					**FECHA:**		18/Dic/2015		
NORMA : ASTM C-78					**DIMENSIONES:**		(15X15X75) CM		
PROBETA	**TIEMPO DE EXPOSICIÓN**	**TEMPERATURA °C**	**EDAD (DÍAS)**	**PESO INICIAL**	**PESO FINAL**	**CARGA KN**	**CARGA KG**	**MÓDULO DE ROTURA**	**DEFORMACIÓN FINAL (MM)**
1	180 min.	1050-1100	28	41.80	36.80	7.23	737.24	9.83	0.98
2			28	41.30	35.20	10.52	1072.72	14.30	4.91

Fuente: Giovanni Alvarado

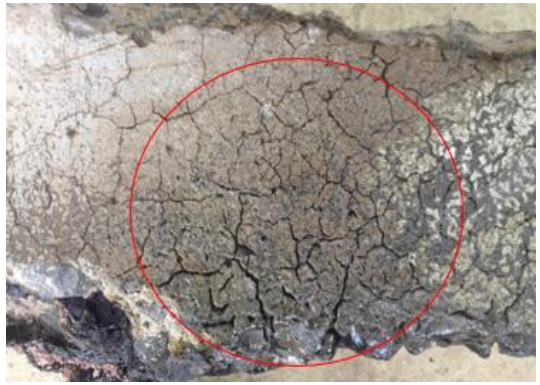
Gráfico # 20: Comparación de Resultados



Fuente: Giovanni Alvarado

Los elementos expuestos al fuego a temperaturas mayores a los 1100°C durante (180 minutos) tuvieron una disminución en la resistencia del material del 75% alterando su comportamiento y disminuyendo de forma considerable las deformaciones de cada uno de los especímenes.

Tabla # 28: Vigas Expuestas al Fuego 180 minutos

Imagen	Descripción	Imagen	Descripción
	Calcinación Muy Avanzada Desintegración superficial y una coloración blanca intensa del material.		**Microfisuras y Cuarteaduras en Mapa** Fisuras y cuarteaduras no mayores a 3 mm.
	Acero de Refuerzo El refuerzo transversal presentó una coloración rojiza oscura y un descascaramiento del material		

Descripción del Ensayo

El acero de refuerzo mostró un endurecimiento superficial que se desprendió de forma abrupta durante el transcurso del ensayo, el espécimen "3" presentó superficies irregulares que impidieron el apoyo del elemento en la máquina de flexión por lo que se desechó dicha probeta.

Fuente: Giovanni Alvarado

4.3 VERIFICACIÒN DE HIPÒTESIS

De acuerdo a la hipótesis planteada previamente en la investigación "El Concreto Estructural Expuesto al Fuego Influye en su Resistencia a Flexión", se pudo determinar que los elementos expuestos al fuego y posteriormente sometidos a la aplicación de cargas a tercios de su luz, presentaron cambios físicos y alteraciones en la resistencia del material, en función al tiempo y temperaturas de exposición.

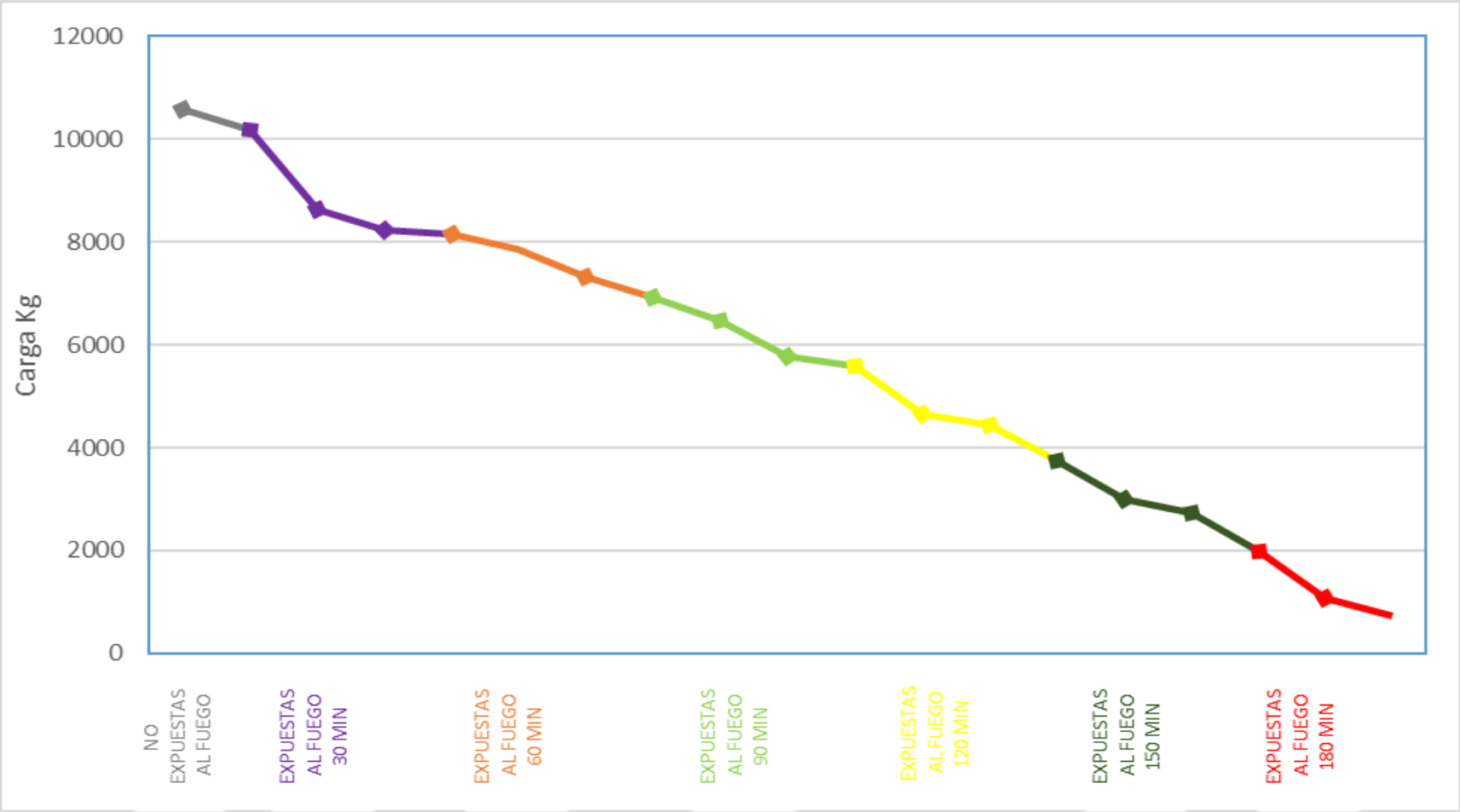
A continuación, se muestra la resistencia a flexión de especímenes expuestos al fuego en intervalos crecientes de 30 minutos.

Tabla # 29: Resistencia de Elementos Expuestos al Fuego

Tiempo de Exposicion al Fuego	Nº	Temperatura Final	Carga (KN)	Carga (KG)	Módulo de Rotura
30 minutos	1	800°C	80.74	8233.16	109.78
	2		79.9	8147.4	108.63
	3		84.6	8626.66	115.02
60 minutos	1	900°C	68.01	6934.98	92.47
	2		71.87	7328.58	97.71
	3		77.17	7869.02	104.92
90 minutos	1	1000°C	63.55	6480.19	86.40
	2		54.91	5599.17	74.66
	3		56.69	5780.68	77.08
120 minutos	1	1000°C	45.52	4641.67	61.89
	2		36.79	3751.48	50.02
	3		43.55	4440.79	59.21
150 minutos	1	1050°C	29.52	3010.15	40.14
	2		26.79	2731.78	36.42
	3		19.55	1993.51	26.58
180 minutos	1	1100°C	7.23	737.24	9.83
	2		10.52	1072.72	14.30
Probetas no Expuestas al Fuego	A	-	103.68	10572.25	140.96
	B		99.89	10185.78	135.81

Fuente: Giovanni Alvarado

Gráfico # 21: Disminución de la Resistencia del Concreto Estructural Expuesto al Fuego



Fuente: Giovanni Alvarado

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- De los ensayos realizados se determinó que la resistencia a flexión de cada uno de los elementos disminuye en función a la temperatura y tiempo de exposición alcanzados en cada intervalo de 30 minutos, presentando cada uno de ellos características particulares las mismas que se repetían de forma progresiva con mayores efectos.

- Se identificó los diferentes niveles de afectación de cada una de las probetas expuestas al fuego, el peso del elemento fue una de las propiedades físicas que mayor variación presentó, puesto que al exponerse a temperaturas mayores a 1000°C el peso del elemento disminuyó en un 21%, ocasionando resquebrajamiento del material, fisuras y agrietamientos.

- Se determinó a través de la gráfica carga-deformación que los especímenes en el trascurso del ensayo presentaron alteraciones en el comportamiento del material, ocasionadas por el aumento de la presión interna del agua en los poros durante el calentamiento de los elementos, las deformaciones obtenidas por elementos expuestos al fuego durante 3 horas disminuyeron en un 80% produciendo en el material fallas de tipo explosiva.

- Se determinó que el concreto a partir de los 120 minutos y a temperaturas mayores a los 900°C presenta una disminución de su resistencia mayor al 50% caracterizada por una calcinación avanzada de los agregados de forma superficial e interna.

- El acero de refuerzo expuesto directamente al fuego con temperaturas mayores a 1000°C presentó alteraciones en sus propiedades físicas y mecánicas tales como: descascaramiento, cambios de coloración y endurecimiento superficial del refuerzo longitudinal y transversal.

- El concreto actúa como aislante térmico de muy buenas características, protegiendo al acero de refuerzo de una exposición directa al flagelo, sim embargo ante exposiciones prolongadas de tiempo a temperaturas mayores a los 950°C su comportamiento presenta alteraciones y modificaciones en su estructura interna y externa.

5.2 RECOMENDACIONES

- Implementar un proceso de secado no inferior a 7 días previo al quemado de cada una de los especímenes, disminuyendo así de forma considerable el contenido de humedad del material y posteriormente evitando un posible choque térmico al ser expuesto a altas temperaturas.

- Se recomienda la utilización de instrumentos o sistemas de quemado que permitan una expulsión de fuego uniforme hacia todos los elementos, simulando así un ambiente cerrado sometido a altas temperaturas.

- Aplicar un proceso de enfriamiento de al menos 24 horas bajo cubierta, puesto que el material en el trascurso del quemado adquirió elevadas temperaturas lo que imposibilita su manipulación y posterior ensayo.

C.- MATERIALES DE REFERENCIA

1. BIBLIOGRAFÍA

[1] F. Núñez, G. Campos, J. Labrador, M. Septien. (1987, octubre).” Incendios en edificios de gran altura.” *Informes de la Construcción.* [On-line]. 39(391), pp. 34-38. Disponible:http://informesdelaconstrucción.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstrucción/article/viewFile/1623/1816 [Ene. 20, 2016].

[2] N. Hernández. “Efecto del fuego sobre la resistencia a compresión de un elemento de concreto de resistencia de diseño de 210 kg/cm^2.” *Revista Ingeniería Universidad de Carabobo*, vol. 17, pp. 38-43, Agosto. 2010.

[3] M. E. Buron. “Resistencia al fuego de estructuras de hormigón.” *Cemento y Hormigón*, vol. 1, nº 873, pp. 10-13. 2005.

[4] M. Anero. “Técnicas de investigación de incendios” M.Sc. tesis, Universitad Autónoma de Barcelona, España, 2007.

[5] Plataforma Europea del Hormigón. “Seguridad y protección completa frente al fuego con hormigón.” *Hormigón*, vol. 1, nº 916, pp. 28-56, Julio. 2008.

[6] M. S. Mamlouk, J. P. Zaniewski. *Materiales para la Ingeniería Civil*. España: Pearson Prentice Hall, 2006, pp. 293-310.

[7] V. Ulloa. “Módulo de elasticidad del hormigón en base a su resistencia a la compresión de 21 Mpa, fabricado con materiales de la mina Villacrés, ubicada en el sector de la Península, cantón Ambato en la provincia de Tungurahua y cemento Holcim” Ing, tesis, Universidad Central, Ecuador, 2013.

[8] M. Garzón. “Investigación sobre el módulo de elasticidad del hormigón,” en Seminario de Graduación, 2010, pp 47-58.

[9] G. della Croce, G. Giaccio, I. Villa, R. Zerbino. “Resistencia y deformabilidad en compresión de hormigones afectados por altas temperaturas.” en *JORNADAS SAM 2000-IV COLOQUIO LATINOAMERICANO DE FRACTURA Y FATIGA*, 2000, pp. 1151-1157.

[10] A. Pavez. “Comportamiento del hormigón ante incendio.” *BIT*, vol. 2, nº 79, pp. 41-49, 2011.

[11] R. Cattelan, L. C. Pinto, C. A. Casonato. “Mejoras en el comportamiento del hormigón de alta resistencia (HAR) a altas temperaturas.” *Matter Construcc*, vol. 53, n° 271-272 pp. 17-26, 2003.

[12] D. Sánchez. *Durabilidad y Patología del Concreto*. Bogotá: Asocreto, 2002, pp. 123-160.

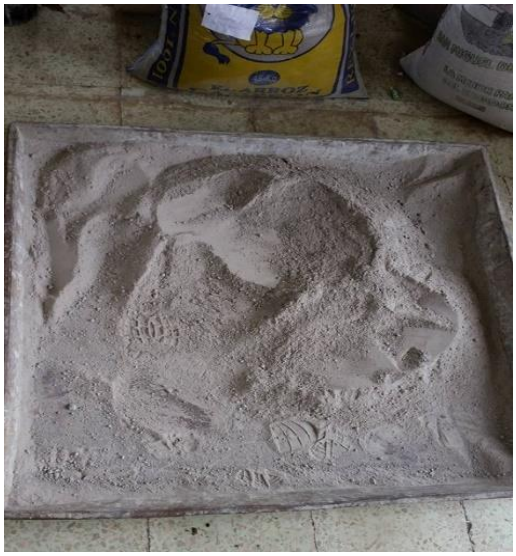
[13] ASTM C31, Practica Normalizada para la Preparación y Curado en Obra de las Probetas para Ensayo del Hormigón, Comité C-09 Hormigón y Áridos para Hormigón: ASTM, Farmington Hills, United States, 2003.

[14] ASTM C78, Método de Ensayo Normalizado para la Determinación de la Resistencia a la Flexión del Concreto (Utilizando Viga Simple con Carga en los Tercios del Claro), Comité C-09 Hormigón y Áridos para Hormigón: ASTM, West Conshohocken, United States, 2015.

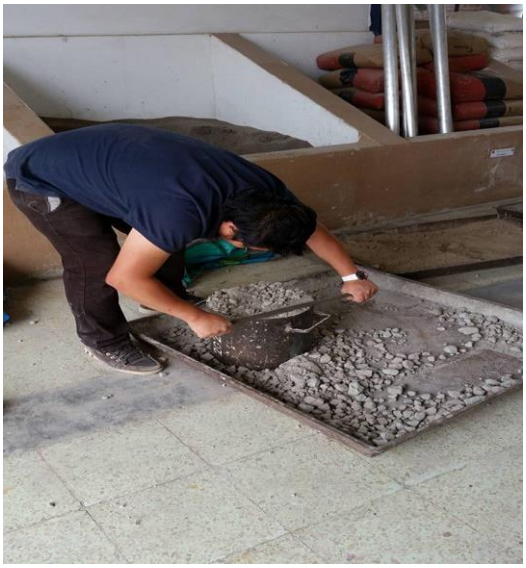
[15] E. Avendaño. “Detección tratamiento y prevención de patologías en sistemas de concreto estructural utilizados en infraestructura industrial” Ing, tesis, Universidad de Costa Rica, Costa Rica, 2006.

2. ANEXOS

Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados



Ensayos de Agregados Pétreos



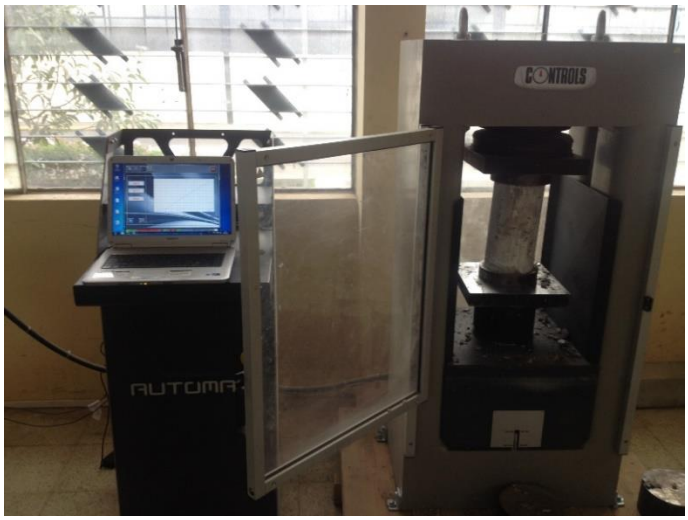
Comprobación de la Dosificación

Preparación del material

Elaboración de cilindros

Curado de cilindros

Ensayo de cilindros



Hormigonado de las probetas

La elaboración de los especímenes se lo dividió en dos etapas, en cada una se realizó el hormigonado de 10 elementos siguiendo los parámetros mostrados a continuación:

Colocación del hormigón

Vibrado del hormigón

Curado de probetas

Proceso de quemado y ensayo de probetas

Quemado de probetas

Enfriamiento de probetas

Ensayo a flexión de vigas