

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA**

(Creada por Ley N° 25265)

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“INFLUENCIA DE LA EXPOSICIÓN AL FUEGO EN EL  
COMPORTAMIENTO FLEXURAL DE VIGAS DE CONCRETO  
ARMADO CON ADITIVOS ACELERANTES”**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

**ESTRUCTURA - CONCRETOS**

**PRESENTADO POR:**

Bach. HUAMANÍ YARANGA, Obed Heber

Bach. HUAMAN HUAYRA, Samuel

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**HUANCVELICA – PERÚ**

**2019**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA



FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En el Auditorium de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, a los 14 días del mes de noviembre del año 2019, a horas 4:00 p.m., se reunieron los miembros del Jurado Calificador conformado por los siguientes: **M.Sc. Marco Antonio LÓPEZ BARRANTES (PRESIDENTE)**, **Arq. Abdón Dante OLIVERA QUINTANILLA (SECRETARIO)**, **Mg. Jorge Luis ORTEGA VARGAS (VOCAL)**, designados con Resolución de Decano N° 169-2018-FCI-UNH, de fecha 06 de diciembre del 2018, así mismo los miembros de Jurados Evaluadores han sido reestructurados con la Resolución de Decano N°114-2019-FCI-UNH, de fecha 05 de julio del 2019 y ratificados con Resolución de Decano N° 210-2019-FCI-UNH de fecha 13 de noviembre del 2019, a fin de proceder con la calificación de la sustentación del informe final de tesis titulado: "INFLUENCIA DE LA EXPOSICIÓN AL FUEGO EN EL COMPORTAMIENTO FLEXURAL DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO CON ADITIVOS ACELERANTES", presentado por los Bachilleres **Obed Heber HUAMANÍ YARANGA y Samuel HUAMAN HUAYRA** para optar el **Título Profesional de Ingeniero Civil**; en presencia del **M.Sc. Iván Arturo AYALA BIZARRO** como Asesor del presente trabajo de tesis. Finalizado la evaluación a horas...5:00pm...; se invitó al público presente y a los sustentantes abandonar el recinto. Luego de una amplia deliberación por parte de los Jurados, se llegó al siguiente resultado:

**Obed Heber HUAMANÍ YARANGA**

APROBADO  POR UNANIMIDAD

DESAPROBADO

**Samuel HUAMAN HUAYRA**

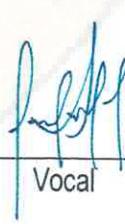
APROBADO  POR UNANIMIDAD

DESAPROBADO

En señal de conformidad, firmamos a continuación:

  
\_\_\_\_\_  
Presidente

  
\_\_\_\_\_  
Secretario

  
\_\_\_\_\_  
Vocal

  
\_\_\_\_\_  
Vº Bº Decano

**Título**

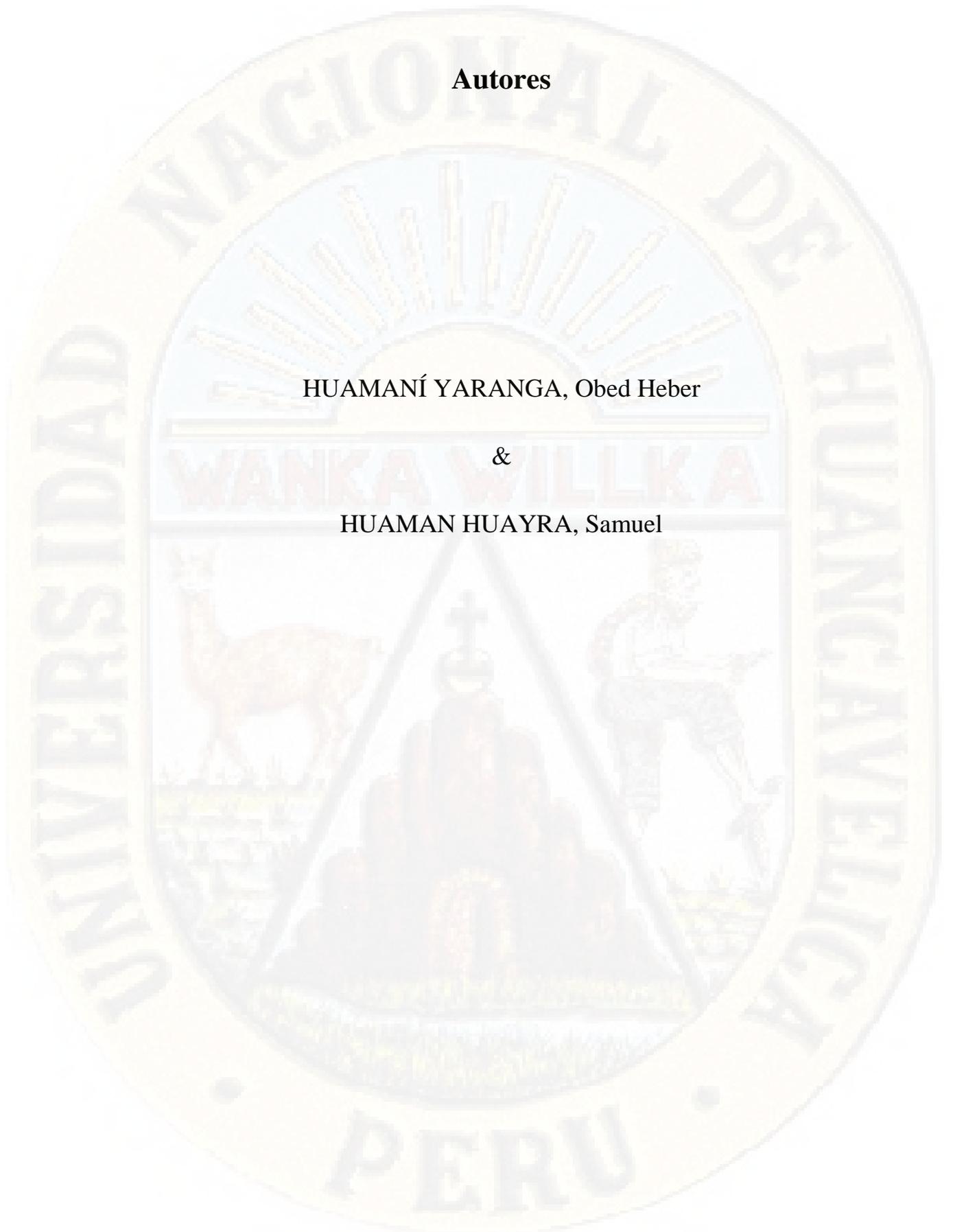
“INFLUENCIA DE LA EXPOSICIÓN AL FUEGO EN EL  
COMPORTAMIENTO FLEXURAL DE VIGAS DE CONCRETO  
ARMADO CON ADITIVOS ACELERANTES”

**Autores**

HUAMANÍ YARANGA, Obed Heber

&

HUAMAN HUAYRA, Samuel



**Asesor**

AYALA BIZARRO, Iván Arturo

Maestro e ingeniero civil de la Facultad de Ciencias de Ingeniería de la  
Universidad Nacional de Huancavelica.

## **Dedicatoria**

A mi madre, por aportarme en cada momento y etapas, ser la persona más importante de mi vida que gracias a su esfuerzo es hasta donde eh llegado hasta ahora.

HUAMANI YARANGA, Obed Heber

A Dios por darme fuerzas para seguir, en quien tengo mi gozo y alegría por haberme dado el regalo más grande el cual fue su gracia y salvación.

A mi madre y a mi padre (QEPD) por el gran amor que me han brindado y por el apoyo incondicional que me han dado a lo largo de este camino.

HUAMAN HUAYRA, Samuel

## Índice

<b>Acta de sustentación</b> .....	II
<b>Título</b> .....	III
<b>Autores</b> .....	IV
<b>Asesor</b> .....	V
<b>Dedicatoria</b> .....	VI
<b>Índice</b> .....	VII
<b>Índice De Tablas</b> .....	X
<b>Índice de figuras</b> .....	XI
<b>Resumen</b> .....	XIII
<b>Abstrac</b> .....	XIV
<b>Introducción</b> .....	XV
<b>CAPÍTULO I</b> .....	1
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	1
1.1. Descripción del problema.....	1
1.2. Formulación del problema .....	3
1.2.1. Problema general .....	3
1.2.2. Problemas específicos.....	3
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo general .....	3
1.3.2. Objetivos específicos .....	3
1.4. Justificación.....	4
1.5. Limitaciones.....	4
<b>CAPÍTULO II</b> .....	5
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	5
2.1. Antecedentes .....	5
2.1.1. A nivel internacional.....	5
2.1.2. A nivel nacional.....	7
2.1.3. A nivel local .....	9
2.2. Bases teóricas.....	9
2.2.1. Exposición al fuego.....	9

2.2.2.	Comportamiento flexural de vigas .....	12
2.3.	Definición de términos .....	19
2.4.	Bases Conceptuales .....	20
2.5.	Hipótesis .....	21
2.5.1.	Hipótesis general .....	21
2.5.2.	Hipótesis específicas .....	21
2.6.	Variables .....	21
2.6.1.	Definición operacional de las variables .....	22
2.6.2.	Operacionalización de la variable .....	22
<b>CAPÍTULO III</b>	<b>.....</b>	<b>23</b>
<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>.....</b>	<b>23</b>
3.1.	Ámbito temporal y espacial .....	23
3.2.	Tipo y nivel de investigación .....	24
3.2.1.	Tipo de investigación .....	24
3.2.2.	Nivel de investigación .....	24
3.3.	Método de investigación .....	25
3.3.1.	Método general .....	25
3.3.2.	Métodos específicos .....	25
3.4.	Diseño de investigación .....	26
3.5.	Población y muestra .....	26
3.5.1.	Población .....	26
3.5.2.	Muestra .....	27
3.5.3.	Muestreo .....	27
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	27
3.6.1.	Técnicas de recolección de datos .....	27
3.6.2.	Instrumentos de recolección de datos .....	27
3.7.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....	28
<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>.....</b>	<b>29</b>
<b>RESULTADOS</b>	<b>.....</b>	<b>29</b>
4.1.	Análisis de información .....	29
4.1.1.	Ensayos previos .....	31
4.1.2.	Compresión de testigos de concreto .....	44

4.1.3. Flexión de vigas de concreto armado .....	52
4.2. Prueba de hipótesis.....	63
4.2.1. Prueba de hipótesis específicas.....	63
4.2.2. Prueba de hipótesis general.....	73
4.3. Discusión de resultados .....	80
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>84</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>86</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>87</b>
<b>APÉNDICE.....</b>	<b>92</b>
Apéndice 1: Matriz de Consistencia.....	93
Apéndice 2: Panel fotográfico.....	94

## Índice De Tablas

### Tablas

Tabla 1. Operacionalización de variables .....	22
Tabla 2. Población y muestra .....	27
Tabla 3. Distribución granulométrica del agregado grueso .....	32
Tabla 4. Límites granulométricos para agregado grueso de $\frac{3}{4}$ " .....	32
Tabla 5. Distribución Granulométrica del agregado fino.....	34
Tabla 6. Límites granulométricos para agregado fino .....	34
Tabla 7. Contenido de humedad del agregado fino.....	36
Tabla 8. Contenido de humedad del agregado grueso .....	37
Tabla 9. Peso unitario suelto y compacto del agregado fino. ....	38
Tabla 10. Peso unitario suelto y compacto del agregado grueso. ....	38
Tabla 11. Peso específico y absorción del agregado fino. ....	39
Tabla 12. Peso específico y absorción del agregado grueso. ....	40
Tabla 13. Características de agregados para diseño de concreto .....	41
Tabla 14. Dosificación de concreto.....	42
Tabla 15. Dosificación de concreto con aditivo acelerante.....	43
Tabla 16. Registro de ensayos de resistencia a la compresión de testigos de concreto.....	45
Tabla 16. Promedio de resistencias y el porcentaje de pérdida.....	46
Tabla 18. Registro de resultados de ensayos de flexión de vigas de concreto armado.....	54
Tabla 19. Promedio de deformaciones y resistencias a flexión alcanzadas.....	58
Tabla 20. Registro de resultados de diseño completamente al azar mutuamente excluyentes.....	64
Tabla 20. Registro de resultados de diseño completamente al azar mutuamente excluyentes.....	69
Tabla 22. Registro de resultados de diseño completamente al azar mutuamente excluyentes.....	74

## Índice de figuras

### Figuras

Figura 1. Diseño cuasi experimental con post test.....	26
Figura 2. Procedimiento y consideraciones primarias. ....	30
Figura 3. Distribución granulométrica del agregado grueso.....	33
Figura 4. Distribución granulométrica del agregado fino.....	35
Figura 5. Datos iniciales del programa de diseño de concreto.....	42
Figura 5. Proporción de insumos del concreto por metro cúbico. ....	42
Figura 7. Cargas máximas de tensión aplicadas en los testigos de concreto .....	46
Figura 8. Registro de resistencias a la compresión en los testigos de concreto....	47
Figura 9. Tendencias del cambio de resistencias a la compresión de tesigos de concreto.....	48
Figura 9. Promedio de resistencias alcanzadas por los testigos de concreto .....	49
Figura 11. Porcentaje de decrecimiento de resistencia del concreto.....	49
Figura 12. Pérdida de resistencia promedio del concreto. ....	50
Figura 13. Tendencia de promedios de resistencias a la compresión .....	51
Figura 14. Sección de viga ensayada. ....	52
Figura 14. Cargas en los puntos tercios .....	53
Figura 16. Fuerzas aplicadas a las vigas de concreto armado.....	55
Figura 17. Deformaciones máximas registradas. ....	56
Figura 18. Resistencia a flexión alcanzadas.....	57
Figura 19. Decrecimiento promedio de las resistencia a flexión .....	58
Figura 20. Porcentaje de pérdidas de resistencia a flexión .....	59
Figura 21. Regresión de resultados de resistencias a flexión con aditivo acelerante .....	60
Figura 22. Regresión de resultados de resistencias a flexión sin aditivo acelerante .....	61
Figura 23. Comparación de comportamientos flexurales .....	62
Figura 24. Código de procesamiento estadístico (Prueba de hipótesis 1).....	64

Figura 25. Prueba de hipótesis para un experimento factorial por bloques (concreto - exposición).....	65
Figura 26. Diagrama de cajas para las medias de los datos (concreto – exposición) .....	66
Figura 27. Prueba de rango Turkey (concreto – exposición).....	67
Figura 28. Datos de salida (concreto – exposición) .....	67
Figura 29. Código de procesamiento estadístico (Prueba de hipótesis 2).....	69
Figura 30. Prueba de hipótesis para un experimento factorial por bloques (R. flexión - exposición) .....	70
Figura 31. Distribución de medias y desviación estandar (R. flexión – exposición) .....	71
Figura 32. Prueba de rango Turkey (R. flexión – exposición).....	72
Figura 33. Datos de salida (concreto – exposición) .....	72
Figura 34. Código de procesamiento estadístico (Prueba de hipótesis general)...	75
Figura 35. Procedimiento DCA por bloques.....	75
Figura 36. Prueba de hipótesis para un experimento factorial por bloques (comportamiento flexural - exposición).....	76
Figura 37. Medias de mínimos cuadrados (comportamiento flexural CA/SA – exposición).....	77
Figura 38. Prueba de rango Turkey (Comportamiento flexural CA/SA – exposición).....	78
Figura 39. Datos de salida (comportamiento flexural CA/SA – exposición) .....	79

## **Resumen**

La presente investigación lleva por título: “INFLUENCIA DE LA EXPOSICIÓN AL FUEGO EN EL COMPORTAMIENTO FLEXURAL DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO CON ADITIVOS ACELERANTES”, a fin de responder a la interrogante ¿De qué manera influye la exposición al fuego en el comportamiento flexural de vigas de concreto armado con aditivos acelerantes?, por lo que el objetivo principal de la investigación fue determinar de qué manera influye la exposición al fuego en el comportamiento flexural de vigas de concreto armado con aditivos acelerantes. La investigación fue de tipo aplicada, con un nivel de investigación explicativa, teniendo por método general de investigación al método científico. La población y muestra estuvo conformado por 16 testigos cilíndricos de concreto y 11 vigas de concreto armado. El resultado obtenido en la investigación muestra que la pérdida de resistencia del propio concreto es progresiva, a la primera hora, pierde el 12.6% de su resistencia inicial, a la segunda hora, el 22.1% y a la tercera hora, 40.3%. Respecto a la resistencia a flexión, el decrecimiento de resistencia a la primera hora fue de 5.9%, a dos horas de exposición fue una pérdida del 8.9%, a la tercera hora 16.6%. Llegándose a la conclusión: Emplear aditivo acelerador de fraguado en la composición del concreto lo hace más vulnerable ante el suceso de un incendio, si bien posee una mejor conservación de resistencia a flexión en comparación a la compresión, a temperaturas prolongadas se pronostica una afectación severa en ambas dimensiones, poniendo en riesgo la funcionabilidad la edificación y acortando drásticamente el tiempo de servicio de este.

Palabras clave: Flexión, Compresión, Concreto armado.

## **Abstrac**

This research is entitled: "INFLUENCE OF FIRE EXPOSURE IN THE FLEXURAL BEHAVIOR OF CONCRETE BEAMS WITH ACCELERATING ADDITIVES", in order to answer the question of how does exposure to fire influence the flexural behavior of Reinforced concrete beams with accelerating additives? Therefore, the main objective of the investigation was to determine how the exposure to fire influences the flexural behavior of reinforced concrete beams with accelerating additives. The research was applied, with an explanatory level of research, applying the scientific method by general research method. The population and sample consisted of 16 cylindrical concrete witnesses and 11 reinforced concrete beams. The results obtained in the investigation show that the loss of resistance of the concrete itself is progressive, at the first hour it loses 12.6% of its initial resistance, at the second hour 22.1%, at the third hour 40.3%. While with respect to flexural strength the decrease in resistance at the first hour was 5.9%, at two hours of exposure it was a loss of 8.9%, at the third hour 16.6%. Thus concluding that: The use of a setting accelerating additive in the composition of the concrete makes it more vulnerable to the occurrence of a fire, although it has a better conservation of flexural strength compared to compression, at prolonged temperatures a severe affectation is predicted in both dimensions, jeopardizing the functionality of the building and drastically shortening its service time.

Key Words: Flexion, Compression, Reinforced concrete.

## Introducción

El comportamiento de las estructuras y el tiempo de servicio que tendrán estas podrían verse afectadas no solo por un mal diseño de la propia edificación; sino de factores externos espontáneos, como puede ser un incendio. Los incendios son eventos fortuitos e inesperados que pueden suceder por múltiples factores, sin embargo, el grado de intensidad de este dependerá del material que se encuentre dentro de la edificación, siendo los materiales de fácil combustión lo que agravarían la condición de incendio. Por otra parte, el empleo de productos en el concreto se ha convertido en algo tan habitual que hoy en día a fin de cumplir con los plazos de ejecución se emplean los aditivos aceleradores de fraguado, de modo que la resistencia del concreto sea mayor a un periodo de fraguado más corto de lo normal, puesto que para conocer si ocurriese un posible incendio afectaría en la resistencia de un elemento estructural como es la viga, la cual trabaja a flexo-compresión.

Referirse al comportamiento flexural no solo involucra la resistencia a flexión de un elemento como la viga, sino que también se hace referencia a la resistencia propia de concreto (resistencia a compresión), y a la evolución de estos con el pasar del tiempo, y para el caso de la investigación, será el comportamiento de la pérdida a comparación con respecto a la resistencia inicial ante distintos periodos de tiempo de exposición al fuego. A fin de ver si resulta más perjudicial o no en relación a elementos en los que no se empleó aditivo acelerante, se tuvo muestras control que contaron con las mismas características que las demás, con la diferencia que no se empleó el aditivo acelerador de fraguado.

El título de la investigación es “Influencia de la exposición al fuego en el comportamiento flexural de vigas de concreto armado con aditivos acelerantes”. La problemática a responder fue ¿De qué manera influye la exposición al fuego en el comportamiento flexural de vigas de concreto armado con aditivos acelerantes? A fin de responder esta interrogante se plantea la siguiente hipótesis: La exposición al fuego influye significativamente en el comportamiento flexural de vigas de concreto armado con aditivos acelerantes.

La investigación consta de cuatro capítulos, siendo estos los siguientes:

CAPÍTULO I : Planteamiento del problema.

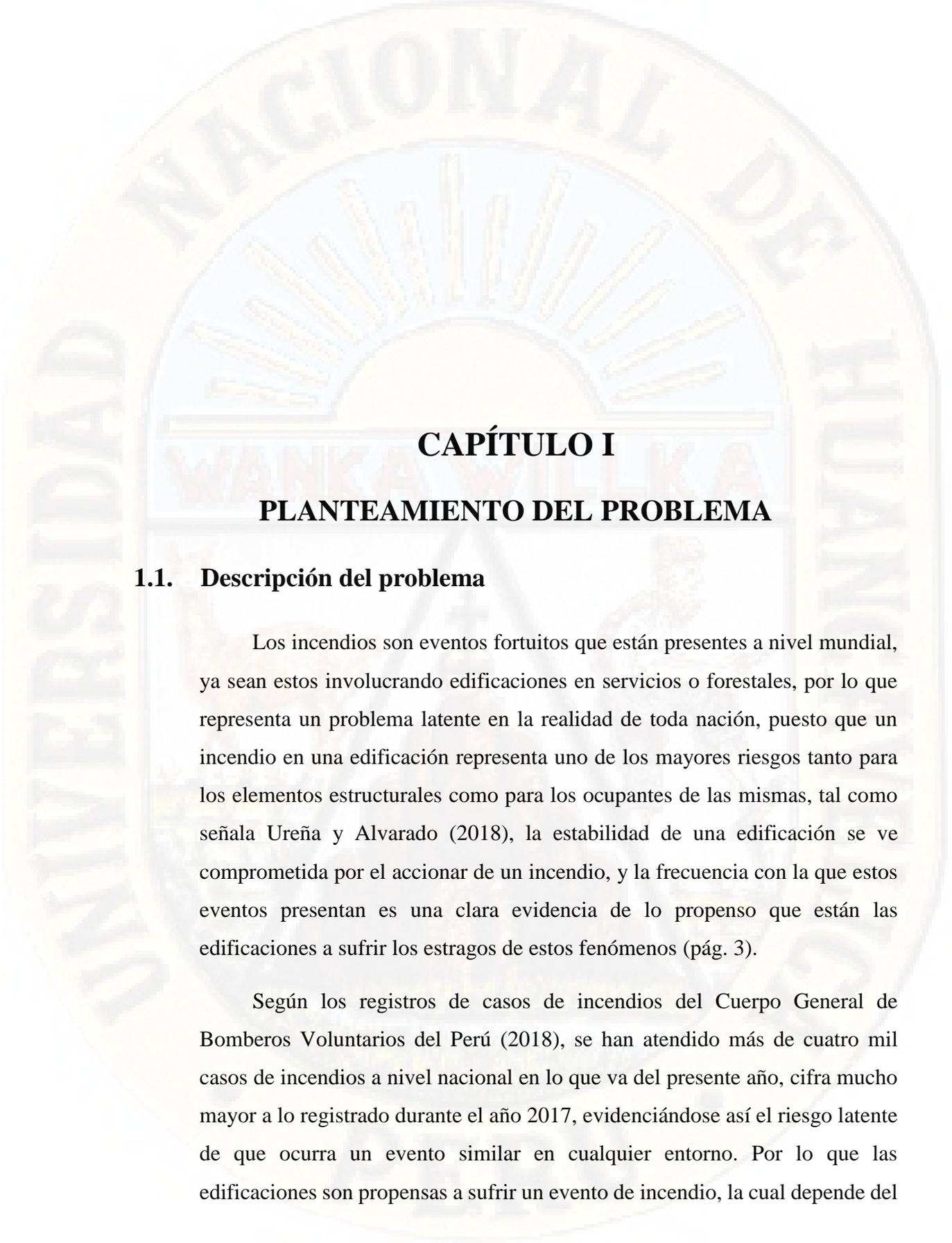
CAPÍTULO II : Marco teórico.

CAPÍTULO III : Metodología de la investigación.

CAPÍTULO IV : Resultados.

Posterior a estos capítulos se encuentran las conclusiones a las que se arribó en la investigación, así como las sugerencias, finalmente se anexaron la matriz de consistencia y el panel fotográfico realizado en la investigación.

Los autores.



# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Descripción del problema

Los incendios son eventos fortuitos que están presentes a nivel mundial, ya sean estos involucrando edificaciones en servicios o forestales, por lo que representa un problema latente en la realidad de toda nación, puesto que un incendio en una edificación representa uno de los mayores riesgos tanto para los elementos estructurales como para los ocupantes de las mismas, tal como señala Ureña y Alvarado (2018), la estabilidad de una edificación se ve comprometida por el accionar de un incendio, y la frecuencia con la que estos eventos presentan es una clara evidencia de lo propenso que están las edificaciones a sufrir los estragos de estos fenómenos (pág. 3).

Según los registros de casos de incendios del Cuerpo General de Bomberos Voluntarios del Perú (2018), se han atendido más de cuatro mil casos de incendios a nivel nacional en lo que va del presente año, cifra mucho mayor a lo registrado durante el año 2017, evidenciándose así el riesgo latente de que ocurra un evento similar en cualquier entorno. Por lo que las edificaciones son propensas a sufrir un evento de incendio, la cual depende del

tipo de material que alberga en su interior, siendo uno de ellos y el más significativo la instalación eléctrica. Sin embargo, los usos de aditivos en los elementos estructurales de una edificación pueden influir como no en la estabilidad final una vez ocurrido un incendio en la edificación, puesto que actualmente las obras hacen uso en gran medida de aditivos que poseen diferentes características y funciones, siendo uno de ellos los acelerones, los cuales tiene por finalidad alcanzar su máxima resistencia en un periodo de tiempo menor al estimando normalmente.

El uso de los activos en concreto se ha empleado progresivamente a lo largo del tiempo en muchas obras, puesto que cada aditivo posee características particulares, siendo uno de ellos los aditivos acelerantes quizá el más empleado localmente, debido a que las obras los emplean para poder cumplir con los plazos de ejecución establecidos y no presentar retrasos durante la ejecución de las partidas de concreto armado. Sin embargo, muchas veces en las obras locales las dosificaciones de las mezclas que han empleado estos aditivos no son verificados correctamente pudiendo ocasionarse sucesos no previstos, como son las fisuraciones, la resistencia final del concreto puede no haber sido la estimada, por lo que involucraría la durabilidad o tiempo de servicio de la edificación en sí, pues es necesario que sean verificados correctamente a través de ensayos de campo y laboratorio, como son el ensayo de asentamiento del concreto ASTM C143-78 y pruebas de resistencia a compresión del concreto respectivamente como esenciales.

De modo que, es importante conocer la alteración de la resistencia y propiedades del concreto que empleó aditivos acelerantes debido a la exposición al fuego, representados por un posible evento de incendio que afectase una edificación, por lo que esta dependerá del tiempo de exposición a la cual estará sometido el elemento estructural, puesto que ello afectaría en el comportamiento y durabilidad de la estructura en sí, de manera que el tiempo de servicio proyectado de una edificación se vería afectado dependiendo de la

magnitud de los daños ocasionados en el elemento estructural por la ocurrencia de un eventual incendio.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿De qué manera influye la exposición al fuego en el comportamiento flexural de vigas de concreto armado con aditivos acelerantes?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿De qué manera se ve afectado la resistencia a compresión del concreto de las vigas con aditivos acelerantes por la exposición al fuego?
- ¿De qué manera se ve afectado la resistencia a flexión de vigas de concreto armado con aditivos acelerantes por la exposición al fuego?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar de qué manera influye la exposición al fuego en el comportamiento flexural de vigas de concreto armado con aditivos acelerantes.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar de qué manera se ve afectado la resistencia a compresión del concreto de las vigas con aditivos acelerantes por la exposición al fuego.
- Determinar de qué manera se ve afectado la resistencia a la flexión de vigas de concreto armado con aditivos acelerantes por la exposición al fuego

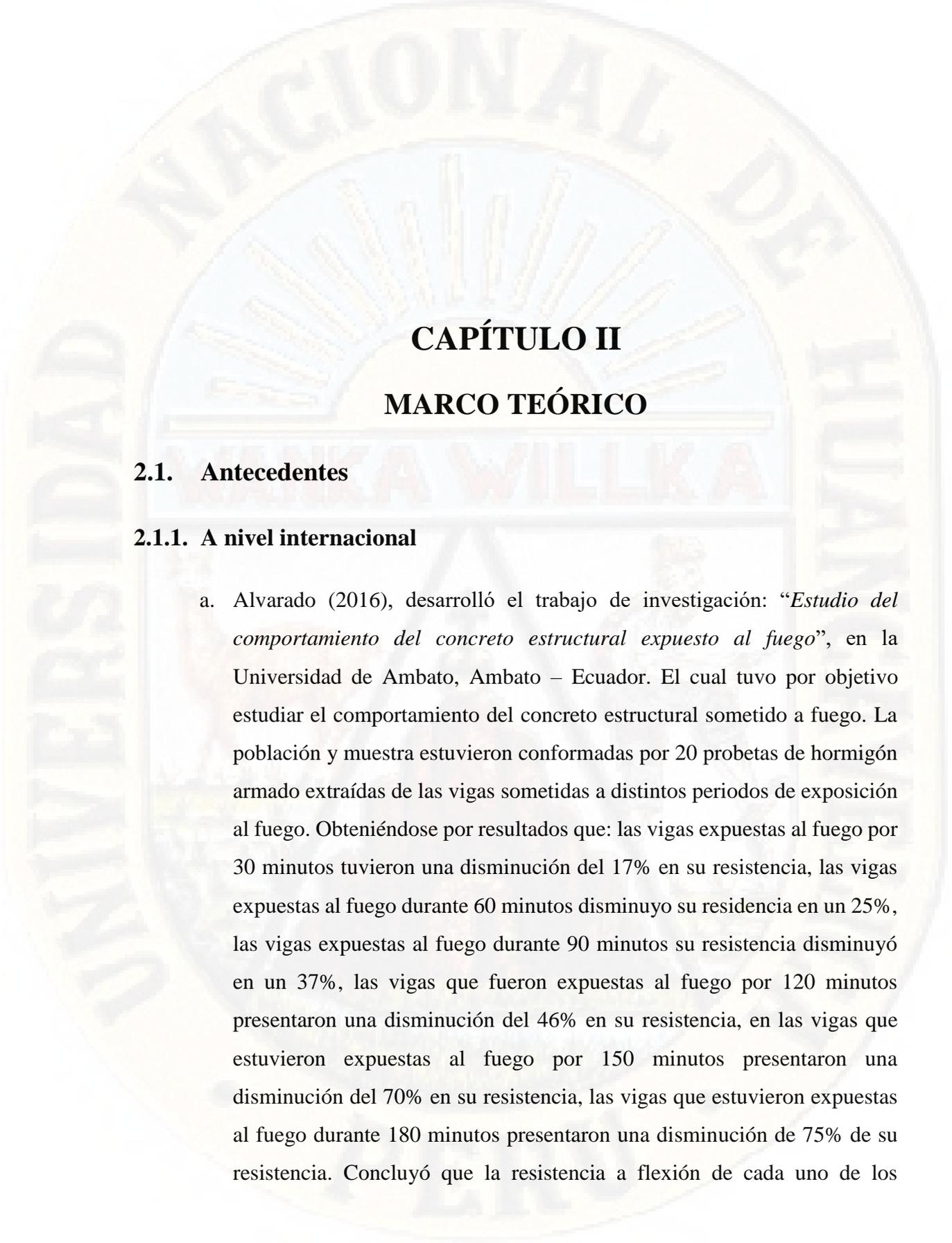
#### **1.4. Justificación**

Debido a que en la actualidad el uso de aditivos para diversas funciones del concreto se han venido empleando con mayor frecuencia, y la gran ocurrencia de incendios a nivel nacional, hace que sea necesario conocer cuál será el comportamiento flexural de las vigas de concreto armado con aditivos acelerantes una vez que sean expuestas al fuego de distintas duraciones, por lo que es fundamental conocer las alteraciones en la resistencia a la flexión propio de un elemento estructural como es la viga, puesto que esta soporta las cargas que presenta la edificación, tanto vivas como muertas, y estas la transmiten a la columna, de manera que si se ve severamente comprometida podría colapsar con mayor facilidad la edificación, y de no tomar en cuenta los daños sufridos podría poner en grave riesgo a las personas que habitan en la edificación afectada.

Si ya de por sí una edificación y sus elementos estructurales se ven afectados por la exposición al fuego, la investigación servirá para conocer si los elementos estructurales de una edificación en los que se han empleado aditivos acelerantes se ven más vulnerables o propensos a sufrir mayores daños en su comportamiento flexural, lo cual involucra su resistencia a la flexión, resistencia del concreto, y la fluencia del acero de la viga.

#### **1.5. Limitaciones**

Para el desarrollo de la investigación no se encontró situaciones que comprometiesen el avance de la investigación, así como se tuvo la facilidad y confiabilidad de acceso y ejecución de los ensayos de laboratorio a las muestras elaboradas (vigas y testigos cilíndricos de concreto). Puesto que no se encontró inconvenientes tanto al acceso de información como en la obtención de resultados de laboratorio.



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes

##### 2.1.1. A nivel internacional

- a. Alvarado (2016), desarrolló el trabajo de investigación: “*Estudio del comportamiento del concreto estructural expuesto al fuego*”, en la Universidad de Ambato, Ambato – Ecuador. El cual tuvo por objetivo estudiar el comportamiento del concreto estructural sometido a fuego. La población y muestra estuvieron conformadas por 20 probetas de hormigón armado extraídas de las vigas sometidas a distintos periodos de exposición al fuego. Obteniéndose por resultados que: las vigas expuestas al fuego por 30 minutos tuvieron una disminución del 17% en su resistencia, las vigas expuestas al fuego durante 60 minutos disminuyó su resistencia en un 25%, las vigas expuestas al fuego durante 90 minutos su resistencia disminuyó en un 37%, las vigas que fueron expuestas al fuego por 120 minutos presentaron una disminución del 46% en su resistencia, en las vigas que estuvieron expuestas al fuego por 150 minutos presentaron una disminución del 70% en su resistencia, las vigas que estuvieron expuestas al fuego durante 180 minutos presentaron una disminución de 75% de su resistencia. Concluyó que la resistencia a flexión de cada uno de los

elementos disminuye en función a la temperatura y tiempo de exposición alcanzados.

- b. Flores (2012), desarrolló el trabajo de investigación que llevó por título: *“Estudio del comportamiento de estructuras durante un incendio usando como ejemplo el Edificio Emilio Pugín UACH Valdivia”*, en la Universidad Austral de Chile. Tuvo por objetivo abordar los problemas sufridos por las estructuras ante la acción de altas temperaturas provocadas por el fuego, y las patologías que este provoca en materiales como el hormigón. La población y muestra fue el edificio Emilio Pugin. Obteniéndose por resultados: 1) Los pilares presentaban craquelado superficial lo por exposición de 300°C, el tiempo promedio de propagación de la onda fue de 430 microsegundos. 2) En los pilares que visualmente presentaron spalling superficial debido a una exposición de 300°C a 600°C, el tiempo promedio de propagación de la onda fue de 760 microsegundos. 3) En los pilares que visualmente presentaron spalling por exposición a 600°C o más, el tiempo de propagación de la onda fue de 1300 microsegundos. Las conclusiones fueron: 1) El hormigón y la albañilería soportan mejor la incidencia del fuego a diferencia del acero, puesto que se ve afectado su módulo de elasticidad. 2) Mientras sea mayor el recubrimiento en las estructuras de hormigón armado el calor tardará en penetrar hasta afectar al acero.
- c. Hernández (2010), desarrolló el trabajo de investigación que llevó por título: *“Efecto del fuego sobre la resistencia a compresión de un elemento de concreto de resistencia de diseño de 210 kg/cm<sup>2</sup>”*, en la Universidad de Carabobo, Venezuela. El cual tuvo por objetivo general determinar qué efectos se ocasionan en la resistencia a compresión de un elemento de concreto de 210 kg/cm<sup>2</sup> luego de ser expuesto durante un periodo de tiempo al fuego. La población y muestra estuvo conformada por 40 probetas de concreto. Llegado a la conclusión de que para elementos de concreto de resistencia 210kg/cm<sup>2</sup>, la resistencia a la compresión disminuye en un 19.98% al ser enfriados por choque posterior a la exposición al fuego.

- d. Mestanza (2016), desarrolló el trabajo de investigación que llevó por título: *“Análisis comparativo de la resistencia a compresión del concreto con adición de fibras de polipropileno sometido a ambientes severos: altas, bajas temperaturas y ambientes salinos”*, en la Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. Cuyo objetivo fue analizar la resistencia a compresión del concreto con adición de fibras de polipropileno sometido a ambientes severos durante la etapa de curado: altas, bajas temperaturas y ambientes salinos. La muestra y población estuvo conformado por 36 probetas. Las conclusiones fueron: 1) El concreto curado en baja temperatura 3°C, tiene un aumento de 1.64% en su densidad y una disminución de 15 % en su resistencia a la compresión. 2) Los especímenes curados en alta temperatura 45°C, aumentan su densidad en un 2,13%, y tienen un incremento de 15%, en su resistencia a compresión. 3) En los cilindros curados con agua de mar la densidad aumente en un 2,36% y su resistencia a la compresión disminuya en un 27%.

### **2.1.2. A nivel nacional**

- a. Chauca y Cruz (2014), desarrollaron el trabajo de investigación *“Evaluación del concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  a altas temperaturas”*, en la Universidad Nacional del Santa. Cuyo objetivo principal fue evaluar el comportamiento del concreto de  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  a elevadas temperaturas. La población muestral estuvo conformada por 36 probetas de concreto. El diseño de mezcla empleado fue en forma porcentual de 14.65% cemento, 29.74% agregado fino, 43.22% agregado grueso y 12.39% agua de mezcla, y una temperatura de exposición al fuego de 500°C, 550°C, 600°C, 650°C, 700°C, 750°C y 800°C, a tiempos de exposición desde 30 minutos hasta 3 horas y media. Concluyéndose así que: 1) La falla del concreto por acción del fuego es debido principalmente por la reacción de contracción de la pasta y la expansión del agregado por su composición mineralógica

ocasionando con ello agrietamiento y descascaramiento. 2) La pérdida de humedad por la exposición al fuego de la pasta tiene influencia en la resistencia del concreto. 3) Los elementos se ven menormente perjudicados son los que estuvieron expuestos a temperaturas menores de estudio 4) El concreto sufre variaciones en sus dimensiones debido a la expansión y contracción de sus componentes expuestas al fuego.

- b. Huincho (2017), desarrolló el trabajo de investigación: “*Evaluación de la resistencia mecánica del concreto sometido a altas temperaturas por incidencia del fuego directo*”, en la Universidad Nacional de Ingeniería. El cual tuvo por objetivos principales determinar el efecto del fuego directo en las propiedades mecánicas del concreto convencional y determinar el efecto del fuego directo en la estructura física del concreto. Donde obtuvo por resultados: 1) Respecto a las pérdidas de resistencia a compresión, para la relación  $a/c=0.60$  hubo pérdidas del 20.6% a 1 hora, 32.1% a 2 horas y 71.5 % a 3 horas, para la relación  $a/c=0.65$  el porcentaje de pérdida fue de 50.1% a 1 hora, 79.1% a 2 horas y 83.9% a 3 horas, para la relación  $a/c=0.70$  hubo pérdidas de resistencia de 53.3% a 1 hora, 72.3% a 2 horas y 82.5% a 3 horas de exposición. 2) Respecto al módulo de elasticidad, para la relación  $a/c=0.60$  las pérdidas fueron de 56.7%, 88.5% y 97.3%, para la relación  $a/c=0.65$  las pérdidas fueron de 85.2%, 96.4% y 97.3%, para la relación  $a/c=0.70$  las pérdidas de resistencia fueron de 66.0%, 94.1% y 99.0%; para la 1°, 2° y 3° hora de exposición respectivamente. Concluyéndose así que: 1) el concreto con relación  $a/c$  de 0.60 posee un mejor comportamiento frente al fuego en comparación a las relaciones de 0.65 y 0.70 de  $a/c$ . 2) El concreto de relación  $a/c=0.65$  presenta un mejor comportamiento con respecto al concreto de relación  $a/c=0.70$  en la resistencia a la compresión solo en la primera hora de exposición.

Ñaupá (2017), desarrolló el trabajo de investigación: “*Evaluación del comportamiento a la flexión de vigas de concreto reforzados con mortero sin contracción*”, en la Universidad Nacional Hermilio Valdizán de Huánuco. El

cual tuvo por objetivo evaluar el comportamiento a la flexión de vigas de concreto que al ser reforzados por aumento de sección con morteros sin contracción. La muestra y población fue de 50 muestras de viga de 15x15x50 cm. Arribando a las siguientes conclusiones: 1) El mortero sin contracción es un excelente material para reforzamiento de vigas por aumento de sección. 2) Para aplicaciones en obra, los elementos estructurales reforzados con mortero sin contracción pueden desencofrarse al día siguiente (24 horas) de modo que estén puestas a servicio a los 3 días de haberse reforzado. 3) Las vigas reforzadas con mortero sin contracción alcanzaron el monolitismo garantizando una adecuada transferencia de esfuerzos en el elemento estructural.

### **2.1.3. A nivel local**

No se encontraron antecedentes a nivel local

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Exposición al fuego**

La exposición al fuego se presenta de múltiples formas, siendo la más representativa, o de más frecuente denominación, el incendio. El incendio viene a ser la manifestación de una combustión incontrolada, y conforme a lo señalado por Grant y Drysdal (2014), en un incendio los materiales que almacenan una edificación normalmente son combustibles o inflamables, ya que estos están mayormente constituidos por carbono. Por lo que existe el riesgo de que entren en combustión si es que a ellos se aplica una fuente de ignición capaz de empezar una reacción en cadena, lo que originaría un incendio. (pág. 2)

El incendio es la ignición no controlada de elementos o materiales considerados inflamables, capaces de provocar reacciones en cadena que volverían a las llamas incontrolables. (Poder Judicial de la Ciudad de México, 2017).

#### 2.2.1.1. *Naturaleza del fuego*

El fuego es un proceso químico en el que el oxígeno del ambiente se combina con un material combustible en presencia del calor. Para que se genere fuego es necesario que se presenten los siguientes elementos: combustible, oxígeno, calor y reacción en cadena. (Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias, 2015, pág. 7)

#### 2.2.1.2. *Clasificación de fuego*

Conforme a lo señalado por Anero (2007) que, de acuerdo al estado físico de los elementos combustibles se clasifican en: Fuegos de tipo A, son aquellos que tienen como combustibles elementos inflamables sólidos como madera, papeles, tejidos, etc. Fuegos de tipo B, son aquellos que se generan por la combustión de líquidos combustibles. Fuego de tipo C, generados por gases inflamables. Fuego de tipo D, generado por metales inflamables como son el magnesio, sodio, aluminio en polvo, etc. (pág. 15).

Mientras que su clasificación por su magnitud y destructividad se clasifica en: a) Conato, cuando el fuego ocasionado puede ser controlado y sofocado sin mucho esfuerzo (extintor) b) Incendio, cuando el fuego es de considerables proporciones de modo que no se puede controlar fácilmente y se presenta de manera súbita, gradual e instantánea. c) Conflagración, el incendio ya posee magnitudes superiores destruyendo parcial o totalmente la edificación. (Poder Judicial de la Ciudad de México, 2017).

### 2.2.1.3. *Causas de los incendios*

De acuerdo a lo que señala Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (2014), aproximadamente el 90% de los casos de incendios son causados por las siguientes 11 fuentes de ignición (págs. 53-54):

- incendios eléctricos (19%),
- roces y fricciones (14%),
- chispas mecánicas (12%),
- restos de cigarrillos y fósforos (8%),
- ignición espontánea (7%),
- superficies calientes (7%),
- chispas de combustión (6%),
- llamas abiertas (5%),
- soldadura (4%),
- elementos recalentados (3%)
- electricidad estática (2%).

### 2.2.1.4. *Temperatura de los incendios*

La temperatura de los incendios dependerá del tipo de material inflamable que se encuentre dentro de la edificación, puesto que la temperatura que se presenta con elementos sólidos es mucho menor en comparación de elementos combustibles líquidos o gaseosos, tal como afirma Huincho (2017), con combustibles sólidos se alcanzan temperaturas de hasta 800°C como máximo, sin embargo si el material predominante dentro de la edificación es madera, puede llegar hasta una temperatura de 1200°C, y si se tratase de combustibles líquidos podría superar inclusive a los 1500°C dependiendo a la concentración del líquido inflamable (pág. 19).

#### 2.2.1.5. *Incendio estructural*

Si bien los elementos estructurales y los de albañilería no son inflamables por lo que no aumenta la carga del fuego; sin embargo sus funcionalidades se ven comprometidas por el accionar del fuego debido a la combustión de los elementos inflamables que alberga la edificación, es así que se alude al término de incendio estructural, y según lo señalado por Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior de Chile (2014), un incendio estructural es aquel siniestro que tiene lugar en viviendas, edificios, locales comerciales, u otros afines. Siendo la gran mayoría de estos fenómenos provocados por el propio hombre, ya sean estos por propias negligencias o descuidos en el uso del elemento fuego o falta de mantenimiento del sistema eléctrico, o inclusive en el sistema de gas que cuenta la vivienda o edificación.

### 2.2.2. **Comportamiento flexural de vigas**

El término flexural es inglés, el cual significa flexión, el comportamiento de flexión solo de san en algunos elementos estructurales, tal como es el caso de la vigas, las cuales trabajan a flexión transmitiendo las cargas que pesan sobre ellas hacia las columnas, y según señalan Beléndez, Neipp, y Beléndez (2002), estos sólidos de dimensiones alargadas están sometidos a cargas concentradas, distribuidas o a momentos concentrados (pares), siendo la flexión el modo de deformación más significativo.

#### 2.2.2.1. *Concreto armado*

El concreto en sí tiene alta resistencia a la compresión y muy baja a la tracción, es así que para una funcionalidad adecuada ante el accionar de esfuerzos de compresión y tracción se hace uso de material acero, dando la denominación al nuevo elemento como concreto armado, garantizando la estabilidad del elemento y de la propia estructura. Es así que para

elementos que están sometidos a esfuerzos de tracción, como las vigas, es indefectiblemente necesario hacer uso del concreto armado. (CEAC, 2015)

#### 2.2.2.1.1. Cemento

Abanto (2009), define al cemento Portland como un producto comercial de fácil adquisición el cual cuando se mezcla con el agua, ya sea solo o en combinación con arena, piedra u otros materiales similares, tiene la propiedad de reaccionar lentamente con el agua hasta formar una masa endurecida. Esencialmente es un Clinker finamente molido, producido por la cocción a elevadas temperaturas, de mezcla que contienen cal, alúmina, fierro y sílice en proporciones determinadas.

##### A. Composición química

El cemento Portland presenta la siguiente composición:

##### a. Componentes químicos

Los principales componentes del cemento Portland se dan a conocer por el contenido del óxido en porcentajes que van del 95% al 97 %, donde los principales son:

- ✓ la cal,
- ✓ sílice,
- ✓ alúmina,
- ✓ oxido férrico.

#### b. Compuestos químicos

En la elaboración y creación del Clinker del cemento Portland durante la calcinación, los óxidos se combinan con los ácidos de la materia prima entre sí, dando lugar a cuatro compuestos muy importantes, los cuales constituyen del 90% al 95% del cemento, los cuales son:

- ✓ silicato tricálcico (30% al 50%),
- ✓ silicato dicálcico (15% al 30%),
- ✓ aluminato tricálcico (4% al 12%),
- ✓ ferro aluminato tetracálcico (8% al 13%).

#### B. Tipos de cemento

Según las normas técnicas, tenemos los siguientes tipos de cementos Portland:

- Tipo I : para construcciones de concreto y mortero de uso general.
- Tipo II : para uso general y específicamente cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos.
- Tipo III : para obras que requieran alta resistencia elevadas a edades tempranas, normalmente a menos de una semana.
- Tipo IV : para estructuras que requieran bajo calor de hidratación.
- Tipo V : recomendado para obras donde se requiera elevada resistencia a los sulfatos.

#### 2.2.2.1.2. Agregados del concreto

Rivera (2012), son aquellos materiales inertes, es decir, que están estáticos y que no poseen vida, de forma granular, naturales o artificiales, que aglomerados por el cemento Portland en presencia de agua forman un todo compacto (piedra artificial), conocido como mortero o concreto.

##### A. Tipos de agregados

###### A.1. Agregado fino

Rivva (1992), se define como agregado fino a aquel material que proviene de la trituración natural o artificial de las rocas, y es aquel que pasa por el tamiz N° 4, sus partículas deberán ser limpias, duras, resistentes y libre de las cantidades perjudiciales del polvo.

###### A.2. Agregado grueso

El agregado grueso se define como aquel material que es retenido en la malla N°4 y proviene de la desintegración de las rocas, que a su vez se pueden clasificar en piedra chancada, grava o material triturado

##### B. Propiedades físicas de los agregados

###### B.1. Granulometría

Es la clasificación y distribución de partículas y se determina mediante tamices normalizados. Los agregados tanto finos como gruesos según la norma ASTM C- 33, deberán cumplir con las gradaciones especificadas en la NTP 400.012.

###### B.2. Contenido de humedad

NTP 339.185 (2013), define como la cantidad de agua que posee el agregado en su interior y se expresa en porcentaje.

### B.3. Peso unitario

NTP 400.017 (2011), establece la determinación de la densidad de masa o peso unitario de agregados en condición suelto y compactado y se define como la relación entre el peso de una muestra y el volumen del recipiente donde estará dicha muestra.

Los pasos que se deben seguir para la obtención de la densidad de masa o peso unitario se encuentra normalizado en la misma norma técnica peruana ya mencionada.

### B.4. Peso específico y absorción

NTP 400.021 (2002), define a la absorción como la cantidad de agua absorbida por el agregado después de ser sumergido 24 horas, también define al peso específico como la relación, a una temperatura estable, de la masa o peso en el aire de un volumen unitario del material, a la masa del mismo volumen de agua a temperaturas indicadas. Lo relevante de esta propiedad es que se centra en la determinación de los volúmenes que llenará un agregado en el concreto de manera más precisa, la cual cooperará para el cálculo del diseño de mezcla.

La NTP 400.022 (2002), se aplica para determinar el peso específico, el peso específico saturado superficialmente seco, el peso específico aparente y la absorción del agregado fino, con la finalidad de usar sus valores en el cálculo y corrección de diseño de mezclas.

#### 2.2.2.2. *Flexión de vigas*

La flexión representa el estado límite de servicio por la cual están regidos las dimensiones de las vigas de concreto armado de una edificación, de modo que la flexión, una característica de los elementos que trabajan a flexión, como el caso de las vigas, es que poseen una dimensión vertical mayor, pues de este modo los esfuerzos de tensión son absorbidos por el acero de refuerzo y los de compresión por el propio concreto. (Espino & Gallo, s.f.). Es el esfuerzo resultante de aplicar fuerzas perpendicularmente al eje principal del elemento que tienden a doblarlo. La flexión produce compresión en la parte cóncava del elemento y tracción en la opuesta, la convexa.

#### 2.2.2.3. *Resistencia a la flexión de vigas*

En la flexión simple sujeta a carga uniformemente distribuida, la carga se aplica en el plano del alma del perfil, produciéndose así, flexión alrededor del eje de mayor momento de inercia de la sección transversal de la viga. Según la National Ready Mixed Concrete Association (2010), la resistencia a la flexión es una medida que está ligada a la resistencia a la tracción del elemento de concreto, es una medida de la resistencia de un elemento de concreto armado antes de fallar. La resistencia a flexión se expresa como el módulo de rotura y es determinada mediante métodos de ensayo como el ASTM C78 o ASTM C293. (pág. 1)

##### 2.2.2.3.1. Utilidad del ensayo de resistencia flexión

Generalmente emplean este tipo de ensayos para diseños de pavimento, con la finalidad de determinar el módulo de rotura para el control de campo y de aceptación de los pavimentos; sin embargo se emplea muy poco este tipo de ensayos en elementos estructurales, puesto que ven por conveniente considerar solo la resistencia a compresión para conocer la calidad del concreto (National Ready Mixed Concrete Association , 2010).

#### 2.2.2.3.2. Problemas con la flexión

Los ensayos a flexión son extremadamente delicados para su ejecución, puesto que las vigas son pesadas y pueden ser dañadas al momento de manipularse o transportarse hasta el lugar de ensayos, es así que si no se efectúa un buen curado el módulo de rotura hallado no será confiable. (National Ready Mixed Concrete Association , 2010).

#### 2.2.2.4. *Resistencia a la compresión del concreto*

La resistencia a la compresión del concreto es la medida más común de desempeño que se emplea actualmente en la industria de la construcción para el diseño de edificaciones, la resistencia a la compresión se determina fracturando probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión. (National Ready Mixed Concrete Association, 2010)

##### 2.2.2.4.1. Importancia

Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión son empleados principalmente para verificar que la mezcla del concreto cumpla con los estándares de calidad y diseño establecidos. Así también, estos resultados se utilizan con fines de control de calidad o para hacer una programación de operaciones constructivas. (National Ready Mixed Concrete Association, 2010, pág. 1)

#### 2.2.2.5. *Límite de fluencia*

Es la tensión a partir de la cual el material pasa a sufrir deformaciones permanentes, de modo que, hasta este límite de valor de tensión que permanece se ve detenido puesto que después de estar sometido a tracción, el elemento vuelve a su forma inicial, sin presentar deformaciones en su estructura, a esto se le denomina como deformación elástica. En ingeniería se emplea el límite de fluencia del elemento estructural para determinar sus dimensiones, puesto que soportarán diferentes tipos de carga sin sufrir deformaciones permanentes, regresando a su condición inicial, si el elemento llegase a pasar este límite se vería fragilizado y comprometería toda la estructura. (Ingenierocivilinfo, 2010)

#### 2.2.2.5.1. Fluencia del acero

Es la deformación electroplástica cuando el concreto logra alcanzar su máximo nivel de compresión, y con ello comienza a agrietarse, tomando el acero toda la carga tensional, por lo que en este supuesto, el esfuerzo sobre el acero, aumenta considerablemente hasta alcanzar su valor de fluencia. (Cubides, 2008)

### 2.3. Definición de términos

#### a) Aditivos:

Según indica Torres (2004), se denomina aditivo a las sustancias añadidas a los componentes fundamentales del concreto con el propósito de modificar algunas de sus propiedades y hacerlo mejor para el fin a que se destine

#### b) Calor:

Según Young (2009), el calor es un tipo especial de energía que solo existe en tránsito, por lo que jamás se le puede aislar. Su naturaleza radica en su capacidad de ser transmitida de un cuerpo a otro. La causa de esta transmisión puede ser una diferencia de temperaturas entre los cuerpos o la entrega de un trabajo de uno de ellos al otro.

#### c) Concreto:

Conforme menciona Abanto (2009), el concreto es una mezcla de cemento Portland, agregado fino, agregado grueso, aire y agua en proporciones adecuadas para obtener ciertas propiedades resistentes.

#### d) Compresión:

Se produce compresión cuando, sobre el elemento actúan fuerzas de la misma dirección y sentido contrario que intentan a contraerlo. (EDU, s.f.)

**e) Flexión:**

Es el esfuerzo resultante de aplicar fuerzas perpendicularmente al eje principal del elemento que tienden a doblarlo. La flexión produce compresión en la parte cóncava del elemento y tracción en la opuesta, la convexa. (EDU, s.f.)

**f) Fuego:**

Según señala Mesen (2015), el fuego o combustión es un proceso químico en el que el oxígeno del aire se combina con un material combustible en presencia del calor.

**g) Temperatura.**

Según Llamas (2015), la temperatura es una unidad de medida física, nos indica qué tan caliente o frío está un cuerpo o sustancia.

## **2.4. Bases Conceptuales**

**A. Incendio (Exposición al fuego)**

Anero (2007) define al incendio como una ocurrencia de fuego no controlada y abrazamiento con llama, capaz de propagarse.

**B. Resistencia a compresión**

Sánchez (2001), se define como el esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento.

**C. Resistencia a flexión**

National Ready Mixed Concrete Association (2010), lo define como una medida de la resistencia a la tracción del concreto, la resistencia falla por momento de una viga o losa de concreto (pág. 1)

#### D. Regresión

Córdova (2003), define a la regresión como una herramienta de frecuente uso en estadística que permite estudiar y valorar las relaciones entre diferentes variables cuantitativas tenida en cuenta mediante la construcción de una ecuación. (pág. 87)

## **2.5. Hipótesis**

### **2.5.1. Hipótesis general**

La exposición al fuego influye significativamente en el comportamiento flexural de vigas de concreto armado con aditivos acelerantes

### **2.5.2. Hipótesis específicas**

- La exposición al fuego influye significativamente en la resistencia a compresión del concreto de las vigas con aditivos acelerantes.
- La exposición al fuego influye significativamente en la resistencia a flexión de vigas de concreto armado con aditivos acelerantes.

## **2.6. Variables**

- Variable dependiente:  
Comportamiento flexural de las vigas de concreto armado con aditivos acelerantes, se identificará los cambios que ocurren en las vigas sometidas a condiciones de temperatura elevada por un periodo de tiempo establecido.
- Variable independiente:

Exposición al fuego, muestra constante a una temperatura determinada por un periodo de tiempo establecido, simulando la acción de un incendio.

### 2.6.1. Definición operacional de las variables

A fin de que sea conocido el modo y grado de afectación de la exposición al fuego en el comportamiento flexural de vigas de concreto armado, en las que se emplearon el uso de aditivos aceleradores de fragua en su dosificación, fue necesario realizar una simulación de un incendio en un ambiente controlado, de modo que, no solo se enfocará en él los cambios que ocurren en el comportamiento flexural de estos elementos estructurales, sino que, se analizarán del mismo modo la resistencia a la flexión y la resistencia a la compresión propia del concreto con las mismas características. De modo que se detalla en la siguiente tabla (tabla 1) las consideraciones tomadas.

### 2.6.2. Operacionalización de la variable

*Tabla 1. Operacionalización de variables*

<b>Variable</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicador</b>	<b>Unidad</b>
Exposición al fuego	Contacto directo el fuego mediante combustión de materiales inflamables	Tiempo de exposición	Periodos de exposición	Min / Hr
		Intensidad de exposición	Temperatura de exposición	°C
Comportamiento flexural de vigas de concreto armado con aditivos acelerates	Evolución del cambio de resistencias a distintos periodos de tiempo	Resistencia a la flexión	Prueba de flexión, Norma ASTM C293	Kg/cm <sup>2</sup>
		Resistencia a la compresión	Prueba de compresión, ASTM C78	Kg/cm <sup>2</sup>

Nota Fuente: Elaboración propia, 2018.



## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Ámbito temporal y espacial**

La investigación se enfocó en efectuar los experimentos, los diseños y cálculos que rigen en las normas técnicas peruanas como internacionales hasta la fecha (2019), por lo que todas las medidas y demás consideraciones fueron enmarcadas conforme lo que establecen las normas vigentes hasta la fecha.

Respecto al campo espacial, todas las consideraciones que se tomaron para la elaboración de las muestras y testigos que fueron posteriormente ensayados, así como la elección de materiales e insumos para la realización de los experimentos, tanto los agregados empleados como la selección del aditivo fue de acuerdo a las condiciones que se encuentran en la región de Huancavelica.

## **3.2. Tipo y nivel de investigación**

### **3.2.1. Tipo de investigación**

La investigación fue de tipo aplicada, conforme a lo que señala Niño (2011), la investigación del tipo aplicada está orientada en buscar soluciones de problemas prácticos, dentro de la aplicación de la ciencia (pág. 38).

Del mismo modo Maletta (2009) afirma que, la investigación aplicada es la más empleada y difundida por los investigadores ya que está orientada a poner en práctica los conceptos y principios generales a un problema específico. (pág. 110)

Debido a que se buscó dar respuesta y posibles alternativas de solución a la afectación del comportamiento flexural de vigas de concreto armado con aditivos acelerantes mediante la exposición al fuego, replicando lo ocasionado por un incendio.

### **3.2.2. Nivel de investigación**

La investigación perteneció al nivel de investigación explicativa, pues conforme señalan Hernández, Fernández, y Baptista (2010), este nivel de investigación tiene por finalidad dar respuesta a las causas y predicción de posibles efectos de los fenómenos de estudio. (págs. 83-84)

Puesto que se desea conocer los efectos, cambios, variaciones y el modo en que la exposición al fuego genera en el comportamiento flexural de vigas de concreto armado con aditivos aceleradores de fragua en su dosificación, de modo que, se presenta la característica principal de la investigación explicativa “causa – efecto”.

### **3.3. Método de investigación**

#### **3.3.1. Método general**

Se empleará el método científico, pues conforme a lo señalado por Borja (2012), el método científico es un sistema de pasos ordenados que buscan dar respuesta a los diversos fenómenos presentes en la naturaleza y sociedad, por lo busca la comprobación de hipótesis permitiendo una interpretación de la realidad.

#### **3.3.2. Métodos específicos**

##### *3.3.2.1. Método deductivo*

De acuerdo a lo que señala Maya (2014), el método deductivo hace uso de principios universales o generales para aplicarlos a situaciones particulares (pág. 14). Es así que para la investigación se hará uso de los principios hallados en otras investigaciones acerca del comportamiento de elementos estructurales de concreto que se vieron expuestas al calor, para aplicarlos en particular a las vigas de concreto armado que emplearon aditivos acelerantes.

##### *3.3.2.2. Método analítico – sintético*

Falcón (2013) menciona que, el método analítico - sintético estudia los eventos o hechos de estudio, descomponiéndolo en sus partes para que estas sean estudiadas de forma particular, después integrarlas y estudiarlas de forma total e integral una vez sintetizadas. Es así que en la investigación se analizará los componentes esenciales del comportamiento flexural de vigas, para después analizarlos en conjunto y ver su afectación.

### 3.4. Diseño de investigación

El diseño de investigación será cuasi experimental, pues conforme a lo señalado por Hernández, Fernández, y Baptista (2010), en los diseño cuasi experimentales se manipulan deliberadamente por lo menos una variable independiente para analizar los efectos que ocasionan en relación con la variables dependientes (pág. 148). De modo que el diseño cuasi experimental será el siguiente:

$$\begin{array}{l} GE: X \quad O_2 \\ GC: - \quad O_1 \end{array}$$

*Figura 1. Diseño cuasi experimental con post test*

Nota Fuente: Blog, tesis de investigadores, Venezuela 2014.

Donde:

GE : Grupo experimental (8 vigas y 16 probetas)

GC : Grupo de control (3 vigas y 2 probetas)

O<sub>2</sub> : Observación grupo experimental, post test

O<sub>1</sub> : Observación grupo control, post test

### 3.5. Población y muestra

#### 3.5.1. Población

La población, según como menciona Valderrama (2002), es un grupo de individuos que poseen características en común respecto al grupo de acuerdo al interés del investigador, del mismo modo, cada individuo posee características en particular pero que presentan alguna relación o interés en común para el estudio (pág. 163).

La población estará conformada por 11 vigas de concreto armado y 16 probetas de concreto armado, especificados en la tabla 2.

### 3.5.2. Muestra

La muestra es una porción de la población, pues según Niño (2011), la muestra es una parte de una población definida, cuidadosamente seleccionada a fin de estudiar las propiedades que caracterizan a la población de la cual fueron seleccionadas. (pág. 55). La muestra estará conformada por 11 vigas de concreto armado y 16 probetas de concreto armado, especificados en la siguiente tabla:

*Tabla 2. Población y muestra*

	Vigas de concreto armado	Probetas de concreto
Grupo de control	0	3
Grupo experimental	16	8
<b>Total</b>	<b>16</b>	<b>11</b>

Nota Fuente: elaboración propia, 2018.

### 3.5.3. Muestreo

Para esta muestra se empleó el tipo no probabilístico, pues conforme a lo vertido por Briones (1996), este tipo de muestreo no depende del azar; sino del juicio e intención del investigador, de modo que los elementos que conforman la muestra no cumplen con condiciones de probabilidad de selección (pág. 58).

## 3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

### 3.6.1. Técnicas de recolección de datos

Las técnicas a emplearse serán la encuesta, la observación, observación de laboratorio, puesto que se hará uso de los equipos de laboratorio para realizar los ensayos de flexión, compresión y fluencia.

### 3.6.2. Instrumentos de recolección de datos

Fichas de cotejo, fichas de observación y los propios resultados de pruebas de laboratorio.

### **3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

Las técnicas de procesamiento y análisis de datos que se utilizaron en la presente investigación fueron los siguientes:

#### **Técnicas de procesamiento**

- ✓ Revisión de datos obtenidos para ordenarlos y clasificarlos
- ✓ Tabulaciones
- ✓ Representación mediante gráficos

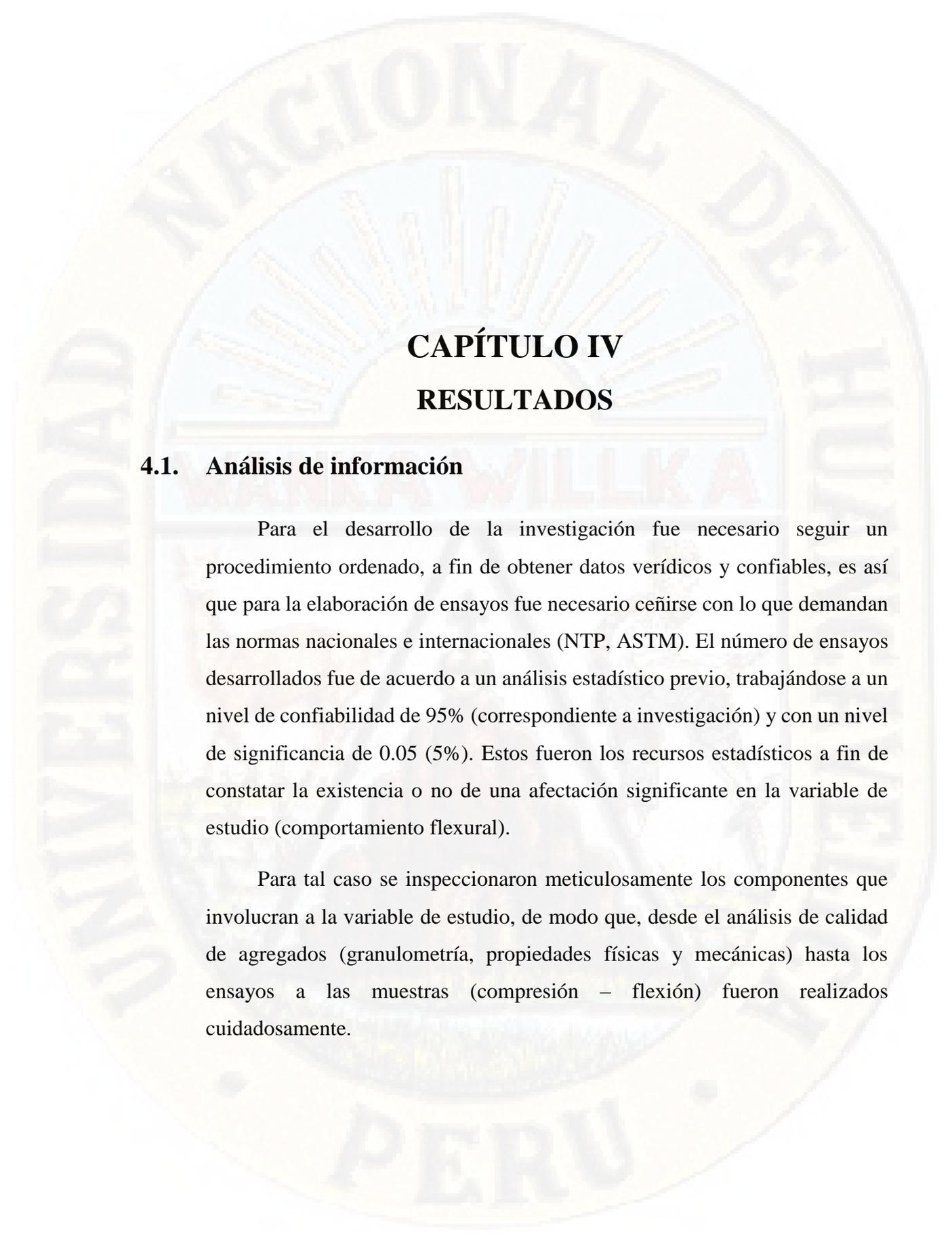
#### **Análisis de datos**

Se utilizó el siguiente análisis:

##### ✓ **Análisis cuantitativo**

Para el análisis de datos se hizo uso de diferentes programas: Excel, Software estadístico SAS Studio, tal como lo señala Pino (2006), el análisis cuantitativo es el tratamiento numérico que se da a los datos. Generalmente cuando se trabajan con las cifras éstas ya fueron codificadas.

Generalmente los datos codificados son transferidos a una matriz para su operatividad e interpretación. Para ello el investigador, y para su facilidad, hace uso de la computadora. (pág. 476).



## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

#### **4.1. Análisis de información**

Para el desarrollo de la investigación fue necesario seguir un procedimiento ordenado, a fin de obtener datos verídicos y confiables, es así que para la elaboración de ensayos fue necesario ceñirse con lo que demandan las normas nacionales e internacionales (NTP, ASTM). El número de ensayos desarrollados fue de acuerdo a un análisis estadístico previo, trabajándose a un nivel de confiabilidad de 95% (correspondiente a investigación) y con un nivel de significancia de 0.05 (5%). Estos fueron los recursos estadísticos a fin de constatar la existencia o no de una afectación significativa en la variable de estudio (comportamiento flexural).

Para tal caso se inspeccionaron meticulosamente los componentes que involucran a la variable de estudio, de modo que, desde el análisis de calidad de agregados (granulometría, propiedades físicas y mecánicas) hasta los ensayos a las muestras (compresión – flexión) fueron realizados cuidadosamente.



*Figura 2. Procedimiento y consideraciones primarias.*

Nota Fuente: elaboración propia, 2019.

A fin de conocer cuál sería la afectación del comportamiento flexural, fue necesario revisar dos componentes: el comportamiento de la propia resistencia del concreto y la resistencia a flexión de vigas (componente estructural).

Para la elaboración y realización de las muestras y sus posteriores ensayos fue necesario dividir los resultados obtenidos de esta en 3 partes:

- 1°. Ensayos previos: (calidad de agregados, características físicas – mecánicas de agregados, dosificación del concreto).
- 2°. Compresión de testigos: (repeticiones y ensayos de resistencia a la compresión de testigos de concreto expuestos al fuego).
- 3°. Flexión de vigas: (repeticiones y ensayos de flexión de vigas de concreto armado expuestos al fuego).

#### **4.1.1. Ensayos previos**

##### *4.1.1.1. Calidad de agregados*

A fin de conocer la condición que posee un agregado antes de que sea empleado, es necesario identificar si cumple con los estándares que demanda la Norma Técnica Peruana (NTP) 400 – 037, en la cual se detallan las especificaciones normalizadas para agregados en concreto, de modo que, se realizó los ensayos granulométricos a los agregados que se iban a emplear en la elaboración de los especímenes de concreto. Tanto el agregado fino como el grueso provienen de canteras de la región, específicamente de las canteras de Callquichico – Huancavelica.

##### *4.1.1.1.1. Agregado grueso*

El agregado grueso que se empleó tanto en los cilindros de concreto como en las vigas, fue de tamaño máximo nominal de 3/4", de modo que, para verificar si este posee las proporciones que demanda la NTP 400 – 037 fue necesario conocer la distribución granulométrica del agregado grueso, empleándose los tamices que especifica la norma para agregado grueso (piedra chancada), estos fueron 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8" y el N° 4. Se detalla en la siguiente tabla tanto el porcentaje retenido en cada tamiz como el porcentaje que pasa por estos para que sea graficado a una escala logarítmica.

Tabla 3. Distribución granulométrica del agregado grueso

Tamiz	Peso retenido	Porcentaje retenido	Porcentaje acumulado	Porcentaje que pasa
	( gr )	( % )	( % )	( % )
1 1/2 "	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	10.00	0.26	0.26	99.74
3/4"	1530.21	40.27	40.53	59.47
1/2"	1625.16	42.77	83.30	16.70
3/8"	312.53	8.22	91.52	8.48
N° 4	250.22	6.58	98.11	1.89
<b>FONDO</b>	71.88	1.89	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>	<b>3800.00</b>	100.00		

Nota Fuente: elaboración propia, 2019.

Tabla 4. Límites granulométricos para agregado grueso de 3/4"

Tamiz	Abertura (mm)	Límites de agregado (%)	
		mín	máx
1 1/2"	37.5	100	100
1"	25	90	100
3/4"	19	20	55
1/2"	12.5	0	10
3/8"	9.5	0	5
N° 4	4.75	0	0

Fuente: NTP 400 – 037, elaboración propia, 2019.

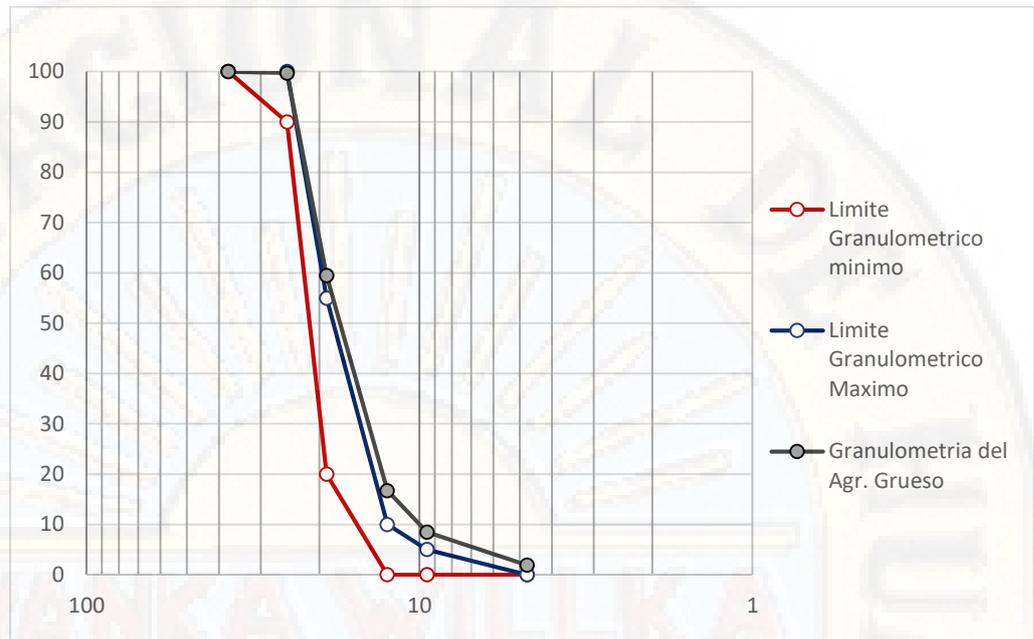


Figura 3. Distribución granulométrica del agregado grueso

Fuente: Registro de datos de ensayos granulométricos, elaboración propia, 2019.

El agregado grueso que se empleó fue de un tamaño máximo nominal de 3/4", como se aprecia en la tabla N° 3, de acuerdo a ello la NTP 400 – 037 demanda las características idóneas que debería tener dicho agregado, estos límites granulométricos recomendados están especificados en la tabla N° 4. A partir de la realización de tamizaje de una proporción del agregado de 3/4" se muestra que la distribución granulométrica que posee se aproxima a lo que demanda la NTP 400-037 (la cual se enfoca en los agregados para concreto), de modo que, tal como se muestra en la figura 3, el agregado grueso que se empleó para la elaboración de las probetas como de las vigas cumple con los estándares de calidad que demanda la norma peruana para agregados (NTP 400-037).

#### 4.1.1.1.2. Agregado fino

El agregado fino, empleado en la elaboración de las muestras de concreto que fueron ensayadas, proviene de la misma cantera que el agregado grueso (cantera de Callquichico – Huancavelica), y al igual que este, se tuvo que realizar un análisis de su granulométrica y verificar si

cumple con los estándares requeridos por la Norma Nacional (NTP 400-037), los límites que demanda dicha norma están especificadas en la tabla N° 6, y la distribución granulométrica del agregado fino se detallan en la tabla N° 5.

Tabla 5. Distribución granulométrica del agregado fino

Tamiz	Peso retenido ( gr )	Porcentaje retenido ( % )	Porcentaje acumulado ( % )	Porcentaje que pasa ( % )
<b>3/8"</b>	0.00	0.00	0.00	100.00
<b>N° 4</b>	24.95	1.00	1.00	99.00
<b>N° 8</b>	365.24	14.61	15.61	84.39
<b>N° 16</b>	597.20	23.89	39.50	60.50
<b>N° 30</b>	718.71	28.75	68.24	31.76
<b>N° 50</b>	530.09	21.20	89.45	10.55
<b>N° 100</b>	190.37	7.61	97.06	2.94
<b>N° 200</b>	20.00	0.80	97.86	2.14
<b>FONDO</b>	53.44	2.14	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>	<b>2500.00</b>	100.00		

Nota Fuente: elaboración propia, 2019.

Tabla 6. Límites granulométricos para agregado fino

Tamiz	Abertura (mm)	Límites de agregado (%)	
		mín	máx
3/8"	9.5	100	100
N° 4	4.75	95	100
N° 8	2.36	80	100
N° 16	1.18	50	85
N° 30	0.6	25	60
N° 50	0.3	5	30
N° 100	0.15	0	10

Fuente: NTP 400 – 037, elaboración propia, 2019.

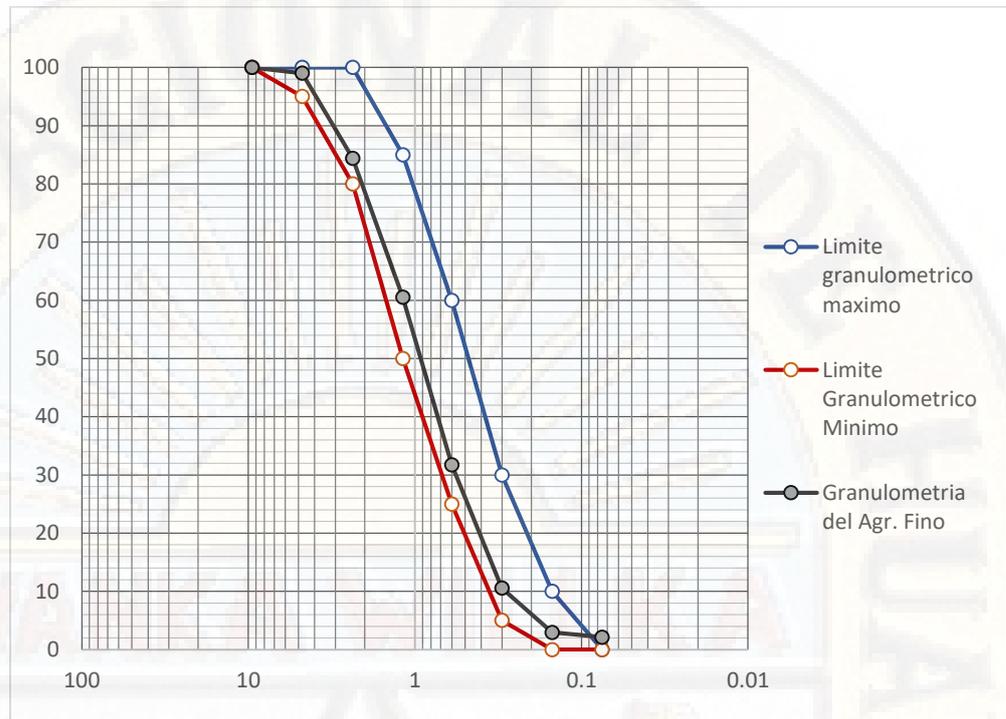


Figura 4. Distribución granulométrica del agregado fino

Fuente: Registro de datos de ensayos granulométricos, elaboración propia, 2019.

A partir de los resultados obtenidos después del tamizaje, mostrados en la tabla N° 5, y tomándose en consideración los límites para el uso del agregado fino en el concreto que establece la norma NTP 400-037 se muestra en la figura 4, que el agregado fino empleado (arena gruesa) cumple con los estándares granulométricos demandados por la norma señalada para la elaboración del concreto tanto de los testigos como las vigas de concreto armado en las que se emplearon aditivo acelerante para su posterior tratamiento (exposición al fuego a distintos periodos de tiempo).

A partir de los resultados de la tabla N°5, el módulo de fineza del agregado fino fue de 3.0186

$$M_F = 3.0186$$

#### 4.1.1.2. Características físicas - mecánicas de agregados

Posterior a los análisis granulométricos realizados a los agregados que se emplearon en la elaboración de las muestras de concreto para los

ensayos respectivos, fue necesario conocer las características físicas y mecánicas que estos poseían, datos que son útiles según el método de diseño ACI para la dosificación del concreto, por lo que al tomarse muestras de estos y de acuerdo a lo que señalan las normas se desarrollaron los ensayos que permitieron obtener los datos siguientes:

- contenido de humedad (NTP 339.185 - ASTM C566),
- peso unitario de agregados (NTP 400.017 - ASTM C29),
- peso específico y absorción de agregados (NTP 400.022).

#### A. Contenido de humedad

Conforme a los procedimientos que especifican las normativas para este ensayo en específico (NTP 339.135 ASTM C566), se desarrollaron el número de repeticiones señaladas, así como las demás consideraciones para obtener un resultado fiable puesto que la humedad de los agregados será importante para la dosificación del concreto y el aporte de agua de estos.

*Tabla 7. Contenido de humedad del agregado fino*

Agregado fino	Ensayos		
	N° 01	N° 02	N° 03
Peso de recipiente (gr)=	36.5	36.91	35.61
Peso de recipiente + muestra húmeda (gr)=	162.22	193.46	209.45
Peso de muestra húmeda (gr)=	125.72	156.55	173.84
Peso de recipiente+ muestra seca (gr)=	158.62	189.05	204.24
Peso de muestra seca (gr)=	122.12	152.14	168.63
Contenido de humedad (%)=	2.95	2.90	3.09
<b>Contenido de humedad promedio (%)=</b>	<b>2.98</b>		

Nota Fuente: registros de laboratorio de mecánica de suelos, elaboración propia, 2019

Tabla 8. Contenido de humedad del agregado grueso

Agregado grueso	Ensayos		
	N° 01	N° 02	N° 03
Peso de recipiente (gr)=	35.62	35.82	36.54
Peso de recipiente + muestra húmeda (gr)=	173.59	171.85	181.69
Peso de muestra húmeda (gr)=	137.97	136.03	145.15
Peso de recipiente+ muestra seca (gr)=	172.45	170.4	180.73
Peso de muestra seca (gr)=	136.83	134.58	144.19
Contenido de humedad (%)=	0.83	1.08	0.67
<b>Contenido de humedad promedio (%)=</b>	<b>0.86</b>		

Nota Fuente: registros de laboratorio de mecánica de suelos, elaboración propia, 2019

Para obtener una mejor precisión en la dosificación de agregados, como la cantidad de agua, y el aporte de agua de los agregados, no solo se hicieron los ensayos mostrados, puesto que la humedad varía de un día a otro dependiendo de las condiciones del clima.

#### B. Peso unitario de agregados

A diferencia del contenido de humedad, hallar el peso unitario de los agregados no varía, por lo que el valor que se obtuvo en los ensayos será permanente, es así que, de acuerdo a las normativas para este ensayo (NTP 400.017 - ASTM C29) se obtuvo las siguientes tablas de resultados.

Tabla 9. Peso unitario suelto y compacto del agregado fino.

<b>Agregado fino</b>				
<b>Peso Unitario Suelto</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>Unid</b>
Peso de molde =	10.155	10.155	10.155	Kg
Peso de molde + muestra =	19.52	19.615	19.68	Kg
Peso de muestra =	9.365	9.46	9.525	Kg
Volumen de molde =	0.00530	0.00530	0.00530	m3
Peso unitario suelto =	1766.502	1784.422	1796.682	Kg/m3
<b>Promedio</b>	<b>1782.535</b>			<b>Kg/m3</b>
<b>Peso unitario compactado</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>Unid</b>
Peso de molde =	10.155	10.155	10.155	Kg
Peso de molde + muestra =	20.51	20.525	20.655	Kg
Peso de muestra =	10.355	10.37	10.5	Kg
Volumen de molde =	0.00530	0.00530	0.00530	m3
<b>Peso unitario suelto =</b>	<b>1953.244</b>	<b>1956.073</b>	<b>1980.595</b>	<b>Kg/m3</b>
<b>Promedio=</b>	<b>1963.304</b>			<b>Kg/m3</b>

Fuente: registros de laboratorio de mecánica de suelos, elaboración propia, 2019

Tabla 10. Peso unitario suelto y compacto del agregado grueso.

<b>Agregado grueso</b>				
<b>Peso unitario suelto</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>Und</b>
Peso de molde =	10.155	10.155	10.155	Kg
Peso de molde + muestra =	17.35	17.36	17.235	Kg
Peso de muestra =	7.195	7.205	7.08	Kg
Volumen de molde =	0.00530	0.00530	0.00530	m3
Peso unitario suelto =	1357.179	1359.065	1335.487	Kg/m3
<b>Promedio=</b>	<b>1350.577</b>			<b>Kg/m3</b>
<b>Peso unitario compactado</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>Und</b>
Peso de molde =	10.155	10.155	10.155	Kg
Peso de molde + muestra =	18.205	18.17	18.29	Kg
Peso de muestra =	8.05	8.015	8.135	Kg
Volumen de molde =	0.00530	0.00530	0.00530	m3
<b>Peso unitario suelto =</b>	<b>1518.456</b>	<b>1511.854</b>	<b>1534.489</b>	<b>Kg/m3</b>
<b>Promedio=</b>	<b>1521.600</b>			<b>Kg/m3</b>

Fuente: registros de laboratorio de mecánica de suelos, elaboración propia, 2019

### C. Peso específico y absorción

Respecto al peso específico y el porcentaje de absorción, son valores que no variarán, y a partir de ellos se conocerá la cantidad de agregado (peso) que se necesitará, así como la cantidad de agua que se utilizará en la dosificación tomando en cuenta la cantidad de agua que absorberán los agregados. Es así que de acuerdo a lo que especifican las normas (NTP 400.022) se obtuvieron las siguientes tablas:

Tabla 11. Peso específico y absorción del agregado fino.

Agregado fino		
Peso de muestra superficialmente seca =	500.00	gr
Peso del picnómetro + muestra superficialmente seca=	660.99	gr
Peso del picnómetro + muestra superf. Seca+ agua=	964.10	gr
Peso del picnómetro=	160.99	gr
Peso del picnómetro+ agua=	659.74	gr
Peso de la muestra seca en horno=	482.28	gr
Peso de la muestra seca en horno=	482.28	gr
Peso del picnómetro + agua=	659.74	gr
Peso de picnómetro + agua + muestra superf. Seca=	964.10	gr
Peso de la muestra superficialmente seca=	500.00	gr
Peso específico aparente =	2.47	gr/cm <sup>3</sup>
<b>Peso específico saturado superficialmente seco (SSS) =</b>	<b>2.56</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>
Peso específico nominal =	2.71	gr/cm <sup>3</sup>
<b>Absorción (%) =</b>	<b>3.67</b>	<b>%</b>

Fuente: registros de laboratorio de mecánica de suelos, elaboración propia, 2019.

$$P. E._f = 2.56 \text{ gr/cm}^3$$

$$a_f \% = 3.67 \%$$

Tabla 12. Peso específico y absorción del agregado grueso.

Agregado grueso		
Peso de agregado saturado superficialmente seco=	3000.00	gr
Peso sumergido de la canastilla=	886.80	gr
Peso de canastilla + peso muestra sumergida (sss) en el agua=	2728.50	gr
Peso del agregado seco al horno=	2936.05	gr
Peso de agregado saturado superficialmente seco=	3000.00	gr
Peso sumergido en el agua del agregado saturado=	1841.70	cm <sup>3</sup>
Peso del agregado seco en el horno=	2936.05	gr
<b>Peso específico aparente =</b>	<b>2.53</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>
<b>Peso específico saturado superficialmente seco (SSS) =</b>	<b>2.59</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>
<b>Peso específico nominal =</b>	<b>2.68</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>
<b>Absorción (%) =</b>	<b>2.18</b>	<b>%</b>

Fuente: registros de laboratorio de mecánica de suelos, elaboración propia, 2019.

$$P. E.g = 2.59 \text{ gr/cm}^3$$

$$a_g \% = 2.18 \%$$

#### 4.1.1.3. Dosificación de concreto

Método de diseño que se empleó para la dosificación del concreto fue el del ACI, es así que a partir de los ensayos desarrollados previamente se obtuvieron los datos necesarios que se requiere de acuerdo al ACI, estos son:

- peso específico de agregados: grueso y fino,
- peso seco compactado: agregado grueso,
- contenido de humedad de agregados: grueso y fino,
- absorción de agregados: grueso y fino,
- módulo de fineza del agregado fino.

Para la ejecución de una mejor adaptación del diseño del concreto, así como la dosificación de agregados y demás componentes que conformarán el concreto, se creó un programa de diseño de mezcla bajos los criterios que demanda el ACI en el lenguaje de programación de HPPL (HP prime), el código del programa se encuentra adjuntado en el anexo 2 del presente informe.

Las características generales de la dosificación del concreto fueron:

- ✓ resistencia de concreto: 210 Kg/cm<sup>2</sup>,
- ✓ asentamiento: de 3” a 4”,
- ✓ sin aire incorporado,
- ✓ sin condiciones especiales de zona (hielo / deshielo, etc.).

Así también, de acuerdo a los datos que requiere el método del ACI, estas características de los agregados fueron:

*Tabla 13. Características de agregados para diseño de concreto*

Dato	ag. fino	ag. grueso	Fuente
Peso específico (Tn/m <sup>3</sup> )	2.56	2.59	Tabla 11 - 12
Peso seco compactado (Kg/m <sup>3</sup> )		1521.6	Tabla 10
Contenido de humedad (%)	2.98	0.86	Tabla 7 - 8
Absorción (%)	3.67	2.18	Tabla 11 - 12
Módulo de fineza	3.0186		Tabla 5

Fuente: registros de ensayos de agregados, elaboración propia, 2019.

16:33

**DATOS DE AGREGADOS**

P.e.(F) 2.56      P.e.(G) 2.59

P.Seco Compactado (G) 1,521.6

w % (F) 2.98      w % (G) 0.86

a % (F) 3.67      a % (G) 2.18

mf (F) 3.0186

Modulo de Fineza del Agr FINO

Editar      Canc.      OK

Figura 5. Datos iniciales del programa de diseño de concreto.

16:35

**PROPORCIÓN CORREGIDA**

Cemento 366      ⇒ 1

Ag. Fino 815      ⇒ 2.23

Ag. Grueso 918      ⇒ 2.51

Agua 222      ⇒ 26

a/c 0.61

Relación Agua-Cemento

Editar      Canc.      OK

Figura 6. Proporción de insumos del concreto por metro cúbico.

Fuente: Programa “Diseño de mezcla”, leguaje de programación HPPL, elaboración y programación propia, 2019.

Tabla 14. Dosificación de concreto.

Dosificación de concreto				
	Cemento	ag. fino	ag. grueso	Agua
Proporción	1	2.23	2.51	26
Volumen	Kg	Kg	Kg	Lts
x 1 m <sup>3</sup>	366	815	918	222
x 1 bolsa	42.5	94.6	106.6	26
x 1 testigo	1.94	4.32	4.87	1.18
x 1 viga	18.30	40.75	45.90	11.10

Fuente: resultado del programa “diseño de mezcla”, elaboración y programación propia, 2019.

A partir del programa de elaboración para la dosificación del concreto, con los datos obtenidos inicialmente en los ensayos ya mostrados, se obtuvo la dosificación del concreto, con ello se muestran la proporción obtenida, así como la cantidad que se necesitó (por metro cúbico, por bolsa, por testigo cilíndrico o por viga) para la elaboración de los especímenes.

Dosificación por metro cúbico (método ACI):

Cemento : 366 Kg

Agregado fino : 815 Kg

Agregado grueso : 918 Kg

Agua : 222 Lts

Debido a que el punto a tratar es con concreto, en el que se emplea aditivo acelerador de fragua, fue necesario hacer la proporción de este insumo al diseño original del concreto, ello no afecta en la cantidad del cemento o en los agregados; sino, solo en la cantidad de agua. Por cada bolsa se debe de incorporar un litro del aditivo acelerante, ya que es un aditivo líquido (de la fábrica SIKA, la más comercial), de modo que se obtiene la siguiente tabla de dosificación en la que se considera la proporción del aditivo acelerante en el concreto.

*Tabla 15. Dosificación de concreto con aditivo acelerante.*

Dosificación de concreto con aditivo acelerante					
	Cemento	ag. fino	ag. grueso	Agua	A. Acelerante
Volumen	Kg	Kg	Kg	Lts	Lts
x 1 m <sup>3</sup>	366	815	918	213.39	8.61
x 1 bolsa	42.5	94.6	106.6	25	1.00
x 1 testigo	1.94	4.32	4.87	1.13	0.05
x 1 viga	18.30	40.75	45.90	10.67	0.43

Fuente: dosificación inicial de concreto, elaboración propia, 2019.

Se realizaron 16 testigos cilíndricos de concreto, y 11 vigas de concreto armado, con la dosificación mostrada en la tabla N° 15.

#### **4.1.2. Compresión de testigos de concreto**

A partir de un análisis de confiabilidad previo, se determinó ensayar 16 muestras de testigos cilíndricos de concreto (4 repeticiones por periodo de exposición), y a partir de la dosificación hallada de acuerdo al ACI, se obtuvo la siguiente tabla de resultados de los ensayos de compresión realizados a los testigos:

Tabla 16. Registro de ensayos de resistencia a la compresión de testigos de concreto.

Muestra	Tiempo de curado	Edad de espécimen	Tiempo de exposición	Carga máxima	Tensión máxima	Condición de composición del concreto	Promedio de resistencia alcanzada
	(Días)	(Mes)	(min)	(Kg)	(kg/cm <sup>2</sup> )		(kg/cm <sup>2</sup> )
M1	28	3	0.00	84820.45	480.00	Con aditivo acelerante	420.90
M2	28	2	0.00	68810.59	389.40	Con aditivo acelerante	
M3	28	3	0.00	74394.60	421.00	Con aditivo acelerante	
M4	28	3	0.00	69482.09	393.20	Con aditivo acelerante	367.88
M5	28	3	62.00	67414.59	381.50	Con aditivo acelerante	
M6	28	3	60.00	72238.75	408.80	Con aditivo acelerante	
M7	28	3	61.00	63686.02	360.40	Con aditivo acelerante	327.80
M8	28	2	62.00	56688.34	320.80	Con aditivo acelerante	
M9	28	3	123.00	60275.53	341.10	Con aditivo acelerante	
M10	28	3	120.00	63633.01	360.10	Con aditivo acelerante	249.00
M11	28	3	122.00	56882.72	321.90	Con aditivo acelerante	
M12	28	2	125.00	50909.94	288.10	Con aditivo acelerante	
M13	28	2	184.00	35606.92	201.50	Con aditivo acelerante	249.00
M14	28	3	182.00	43011.04	243.40	Con aditivo acelerante	
M15	28	3	180.00	51387.06	290.80	Con aditivo acelerante	
M16	28	3	182.00	45997.42	260.30	Con aditivo acelerante	

Nota fuente: registro de datos de ensayos de compresión digital, elaboración propia, 2019.

Tabla 17. Promedio de resistencias y el porcentaje de pérdida.

Tiempo de exposición	Resistencia promedio	Porcentaje resistencia
(Hrs)	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(%)
0	420.90	100.00
1	367.88	87.40
2	327.80	77.88
3	249.00	59.16

Nota Fuente: registro de datos de ensayos de compresión digital, 2019.

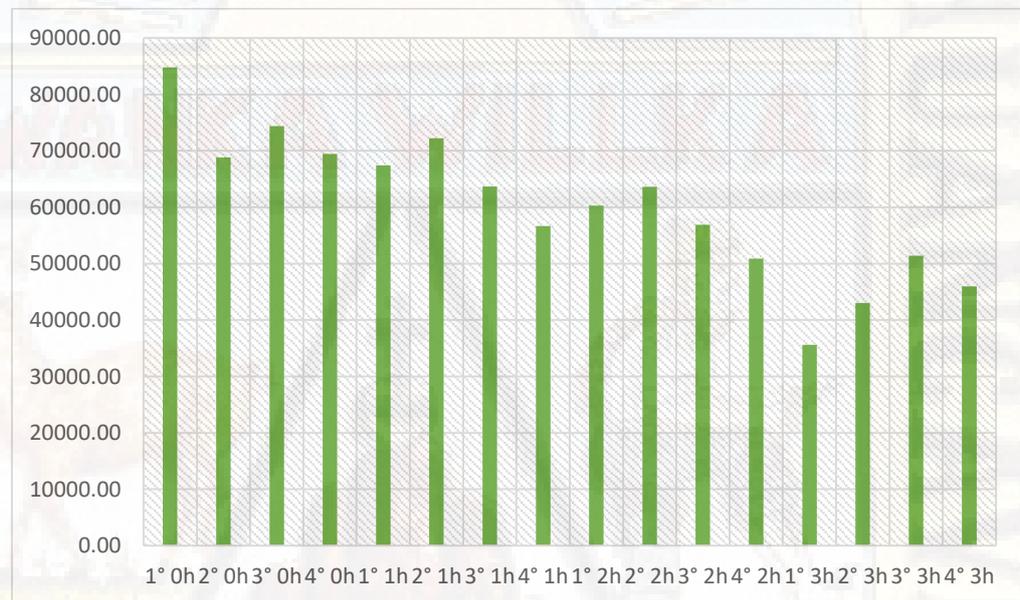


Figura 7. Cargas máximas de tensión aplicadas en los testigos de concreto

Fuente: Procesamiento de registro de datos, elaboración propia, 2019.

Las cargas que fueron aplicadas a las muestras cilíndricas de concreto, conforme a lo señalado por la norma ASTM C39, presentaron un decrecimiento a medida que se sometían a compresión las muestras que fueron expuestas a un mayor tiempo al fuego, y tal como se muestra en la figura 7, las cargas que se aplicaron llegaron hasta picos de ochenta y cuatro mil kilogramos fuerza, y presentaron valores menores de treinta y cinco mil kilogramos fuerzas, estos valores serán divididos por el área promedio del espécimen cilíndrico a fin de conocerse la resistencia alcanzada (figura 8).

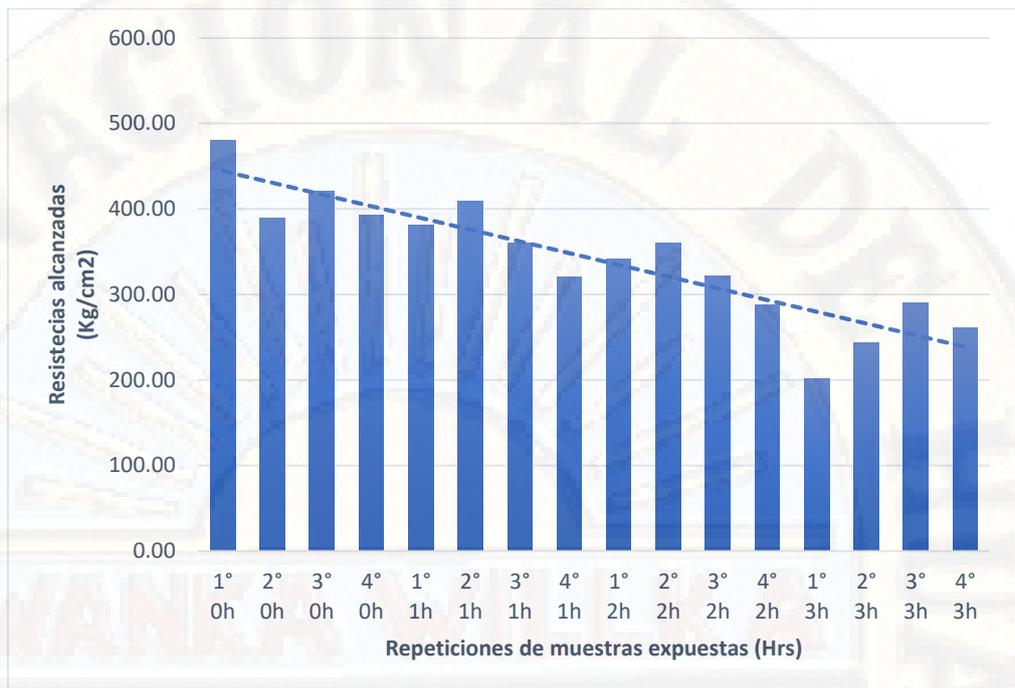


Figura 8. Registro de resistencias a la compresión en los testigos de concreto

Fuente: Procesamiento de registro de datos, elaboración propia, 2019.

Se realizaron cuatro repeticiones por cada periodo de exposición al fuego, es así que primero se ensayaron las muestras que no fueron expuestas, seguidas de las otras cuatro que fueron expuestas a una hora, posteriormente del mismo modo las otras cuatro que fueron expuestas a dos horas y las últimas cuatro, expuestas a tres horas. Las primeras muestras ensayadas presentaron una mayor resistencia que las demás que fueron expuestas al fuego a mayores periodos de tiempo, tal como se muestra en la figura 8, presenta un claro decrecimiento a medida de mayor tiempo de exposición, para un mejor análisis de decrecimiento en la resistencia a la compresión propia del concreto se inspeccionó mediante las medias a cada periodo de exposición obteniéndose a continuación la figura 9.

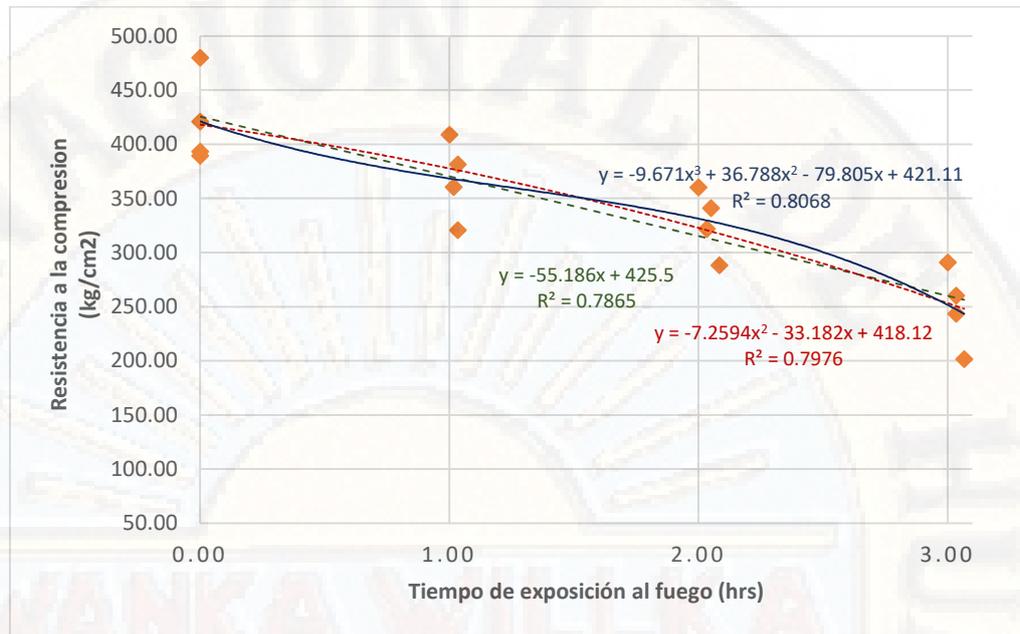


Figura 9. Tendencias del cambio de resistencias a la compresión de tesigos de concreto.

Fuente: Procesamiento de registro de datos, elaboración propia, 2019.

A partir de la obtención del registro de resultados de todos los ensayos realizados a las muestras cilíndricas expuestas al fuego y las que no lo fueron, se registró todos estos resultados en gráfico de dispersión (tiempo de exposición / resistencia a compresión) a fin de conocer el comportamiento en conjunto de todas las muestras ensayadas, es así que se puede notar un claro decrecimiento en las resistencias alcanzadas; no obstante, es necesario emplear medidas de regresión para conocer la tendencia de los resultados obtenidos, se aplicaron tres regresiones a estos resultados, siendo estas una regresión lineal ( $R^2 = 0.7876$ ) y dos regresiones polinómicas, regresión polinómica de grado 2 ( $R^2 = 0.7865$ ) y una regresión polinómica de grado 3 ( $R^2 = 0.8068$ ), siendo esta última que obtuvo un valor más cercano a la unidad en comparación al resto, es decir, que se ajusta mejor al comportamiento y tendencia de los resultados obtenidos plasmados en la figura 9, de modo que puede estimarse con mayor precisión un evento posible (exposición al fuego mayor a 3 horas).

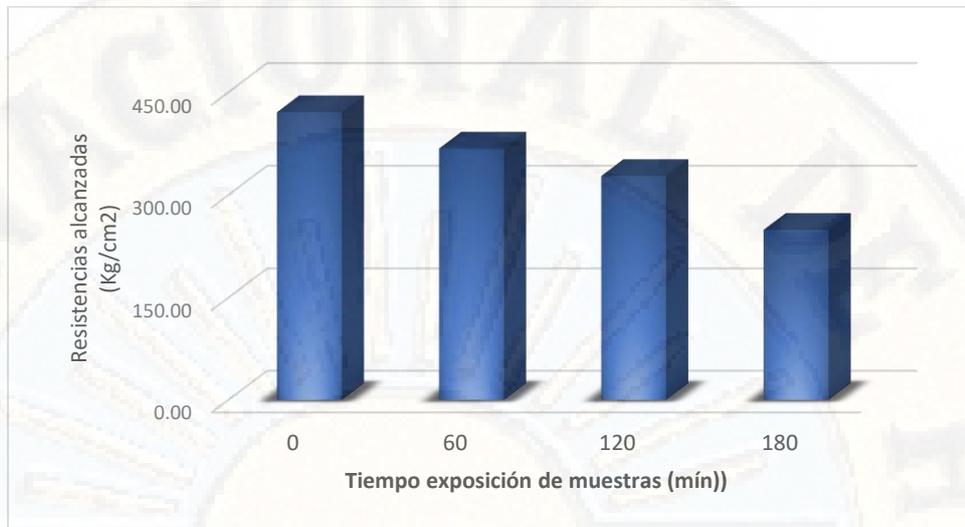


Figura 10. Promedio de resistencias alcanzadas por los testigos de concreto

Fuente: Procesamiento de registro de datos, elaboración propia, 2019.

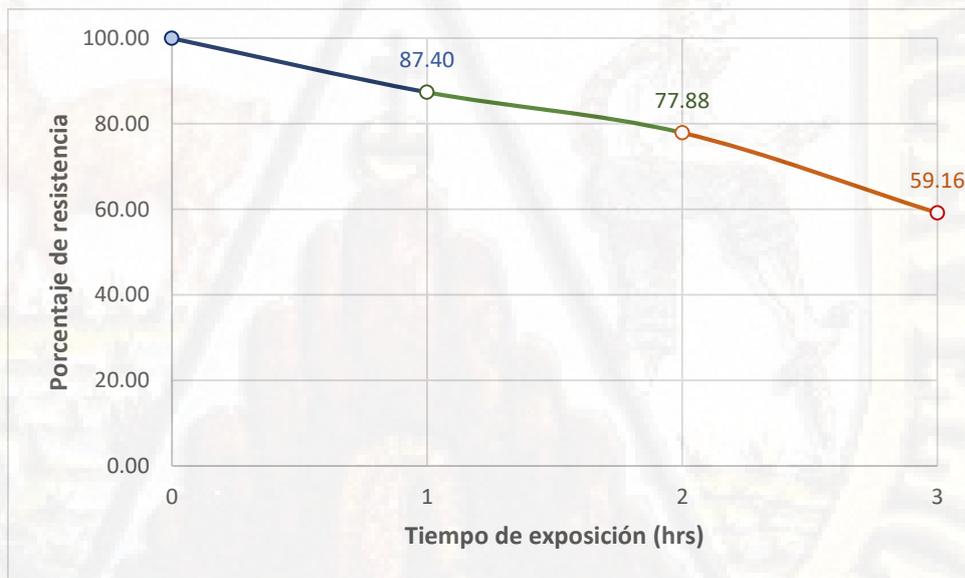


Figura 11. Porcentaje de decrecimiento de resistencia del concreto.

Fuente: Procesamiento de registro de datos, elaboración propia, 2019.



Figura 12. Pérdida de resistencia promedio del concreto.

Fuente: Procesamiento de registro de datos, elaboración propia, 2019.

A partir de todas las repeticiones hechas (confiabilidad) se obtuvieron las medias de cada uno de los ensayos de resistencia a la compresión de cilindros de concreto con aditivo acelerante de fragua, donde a la primera hora de exposición se presenta una resistencia del 87.4% de la inicial (sin exposición) presentando una pérdida de resistencia del 12.6%. A la segunda hora de exposición se presenta solo una resistencia del 77.88% de la inicial, presentando una pérdida del 22.12% de la resistencia inicial. A la tercera hora de exposición se ve una pérdida de resistencia de 40.84% puesto que la resistencia alcanzada solo fue un 59.16% de la inicial que no fuera expuesta al fuego.

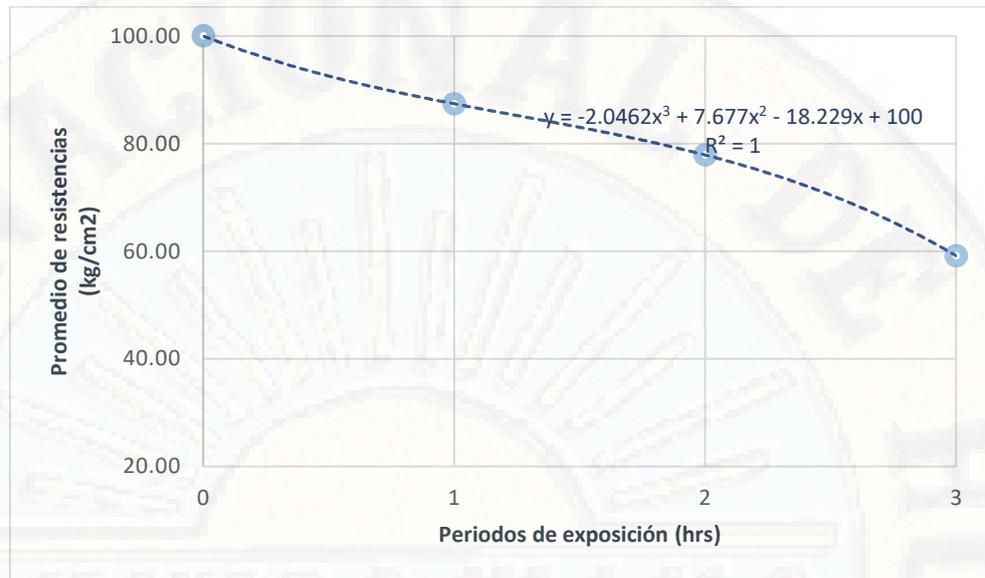


Figura 13. Tendencia de promedios de resistencias a la compresión del concreto

Fuente: Procesamiento de registro de datos, elaboración propia, 2019.

A partir de los promedios realizados a los resultados de los ensayos de compresión propia de concreto, se obtuvo cuatro puntos que representan el comportamiento en general (promedio de resistencias) del concreto con aditivo acelerante de fragua expuesto al fuego a distintos periodos de tiempo, de modo que para entender el comportamiento de este tipo de concreto en sí, fue necesario aplicar una medida de regresión, y como se explicó de la figura 9, la regresión que más se ajusta a los resultados obtenidos fue el polinomio de grado 3, es así que aplicándose esta a los promedios de las resistencias se obtiene el valor de 1, con eso se evidencia que se ajusta completamente a los resultados, en tal sentido se puede realizar una estimación de cuanto decrecimiento tendría la resistencia propia del concreto con aditivo acelerante ante una exposición al fuego más prolongada (mayor a 3 horas).

A partir de la ecuación obtenida en la regresión de los datos, siendo esta:

$$Y = -2.0462 X^3 + 7.677 X^2 - 18.229 X + 100$$

Donde  $Y$  viene a ser la resistencia promedio alcanzada, y  $X$  el tiempo al que estuvo expuesto el concreto (en horas), en tal sentido que la ecuación puede aplicarse para hacer una estimación del cuanto se vería afectado la resistencia

del propio concreto con aditivo acelerante, de modo que para una exposición prolongada de 4 horas, la resistencia sería casi solo de un 20% de la inicial. Lo cual comprometería seriamente las condiciones del elemento estructural que a su vez involucraría la operatividad o habitabilidad de la edificación.

#### 4.1.3. Flexión de vigas de concreto armado

Las vigas son elementos estructurales que trabajan a flexo compresión, son elementos que llevan acero en su interior, haciendo de este una viga de concreto armado, el cual estará dosificado con un aditivo acelerante. Para un diseño por resistencia de la viga el área de acero que se empleó fue de  $2.53 \text{ cm}^2$ , tanto en la parte superior como inferior (doblemente reforzada) como se muestra en la imagen.

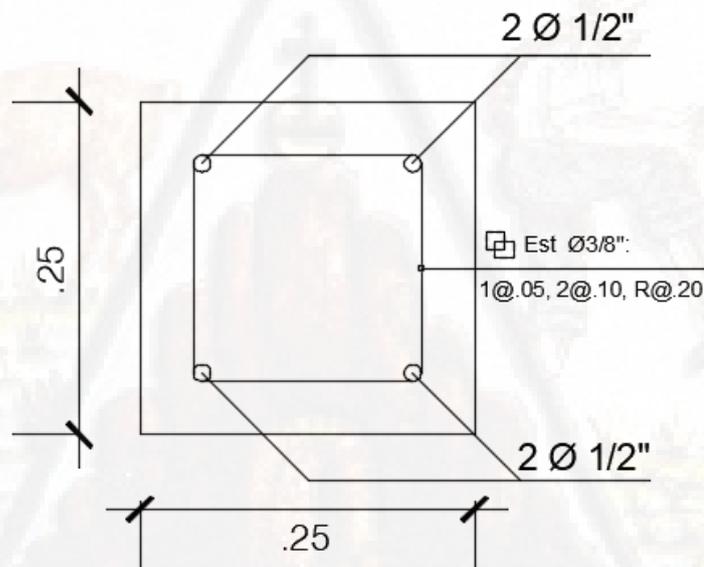
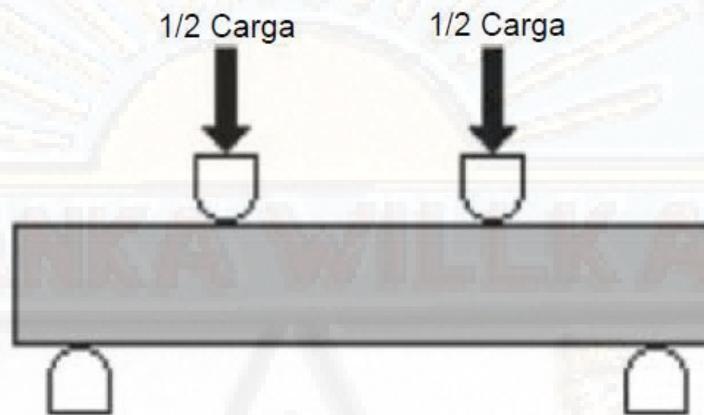


Figura 14. Sección de viga ensayada.

Nota fuente: elaboración propia, 2019.

Tal como se muestra en la imagen las dimensiones de la sección de viga no están escaladas; sino son reales, esta fue de sección de 25 x 25 cm, con un

recubrimiento de 4 cm en cada lado, y el tipo de acero que se empleó también se detalla en la figura mostrada. Todas las muestras que fueron ensayadas tuvo las mismas características (respecto a dimensiones y área de acero), por lo que se hizo 11 muestras, siendo 8 vigas con aditivo acelerante y 3 vigas sin aditivo a fin de conocerse el comportamiento de estas ante la afectación del fuego bajo distintos periodos de tiempo.



*Figura 15. Cargas en los puntos tercios*

Fuente: ASTM C78, MNRCA, 2018.

El tipo de aplicación de carga fue a 2 tercios de luz para todas las vigas, tanto para que no fueron expuestas como para las que si fueron expuestas al fuego, es así, que se obtuvo la siguiente tabla de resultados una vez ensayadas las vigas a flexión.

Tabla 18. Registro de resultados de ensayos de flexión de vigas de concreto armado.

N° de muestra	Orden de ensayo	Tiempo de exposición	Repetición	Dimensiones (cm)			Deformación máxima	Fuerza aplicada		Resistencia alcanzada
		Hrs		BASE	ALTURA	LUZ	mm	KN	KG-f	Kg/cm2
M1:1	1	0.00	Primera	25.10	25.90	80.20	13.30	155.00	15810	25.296
M1:2	7	0.00	Segunda	25.40	25.40	80.30	10.70	147.00	14994	23.990
M2:1	10	1.00	Primera	25.30	25.80	80.90	11.60	143.00	14586	23.338
M2:2	9	1.00	Segunda	25.20	25.80	80.20	13.00	141.00	14382	23.011
M3:1	6	2.00	Primera	25.40	25.80	80.10	10.50	138.00	14076	22.522
M3:2	3	2.00	Segunda	24.90	25.80	80.40	12.10	137.00	13974	22.358
M4:1	11	3.00	Primera	25.30	25.60	80.00	11.40	127.00	12954	20.726
M4:2	5	3.00	Segunda	25.10	25.80	80.20	9.30	125.00	12750	20.400
MC1	8	1.00	Única	25.10	25.30	80.50	12.50	146.00	14892	23.827
MC2	4	2.00	Única	25.10	25.50	80.20	11.40	136.00	13872	22.195
MC3	2	3.00	Única	25.00	25.20	81.00	13.40	128.00	13056	20.890

Fuente: Registro gráfico de ensayos de flexión, elaboración propia, 2019.

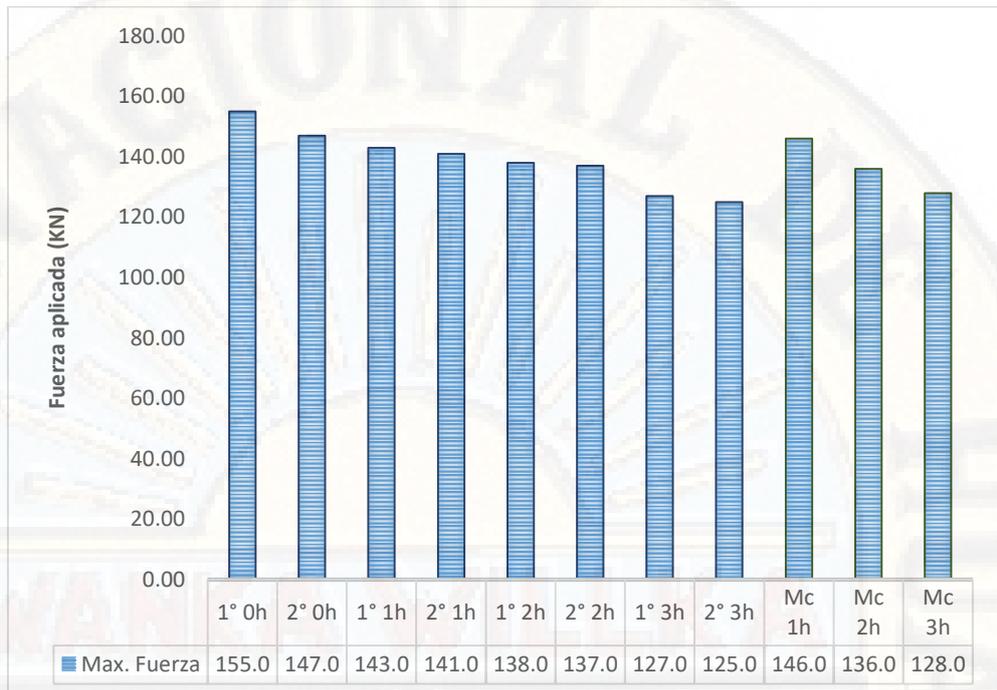


Figura 16. Fuerzas aplicadas a las vigas de concreto armado.

Fuente: Registro gráfico de ensayos de flexión, elaboración propia, 2019.

Las cargas que fueron aplicadas en cada una de las vigas que fueron ensayadas estuvieron en unidades en Kilo Newton's (KN), puesto que el equipo y software trabajan con el sistema inglés. Y tal como se muestra en la imagen las fuerzas aplicadas decrecieron desde los 155KN, esto para aquellas que fueron dosificadas con aditivo acelerante, mientras que las últimas 3 cargas representan a aquellas vigas que no se elaboraron con aditivo acelerante, siendo el pico más alto de estas una carga de 146 KN y decreciendo a medida que se ensayaban las muestras que fueron expuestas a mayor tiempo al fuego. Se elaboraron muestras control (sin aditivo acelerante) a fin de conocer si esta sustancia lo vuelve o no más vulnerable ante la exposición al fuego.

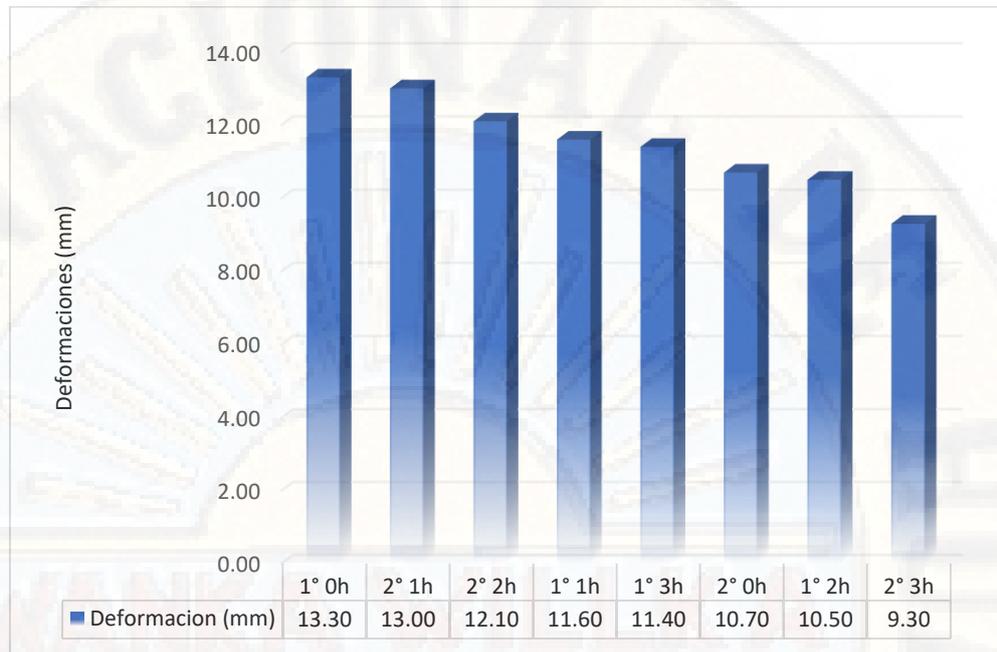


Figura 17. Deformaciones máximas registradas.

Fuente: registro gráfico de ensayos de flexión, elaboración propia, 2019.

Otra característica propia de los elementos estructurales que trabajan a flexión es la deformación que sufre esta antes de fallar, es así que tal como se muestra en la figura 17, los registros obtenidos posteriores a la realización de los ensayos a flexión de las vigas, se muestra que la mayor deformación registrada antes del momento de falla es de la primera repetición de la viga que no fue expuesta al fuego (0 horas de exposición) con 13.3 mm desde su condición inicial. Mientras que la deformación menor se presentó en una de las vigas que fue expuesta a 3 horas con una deformación de 9.3mm desde su condición inicial.

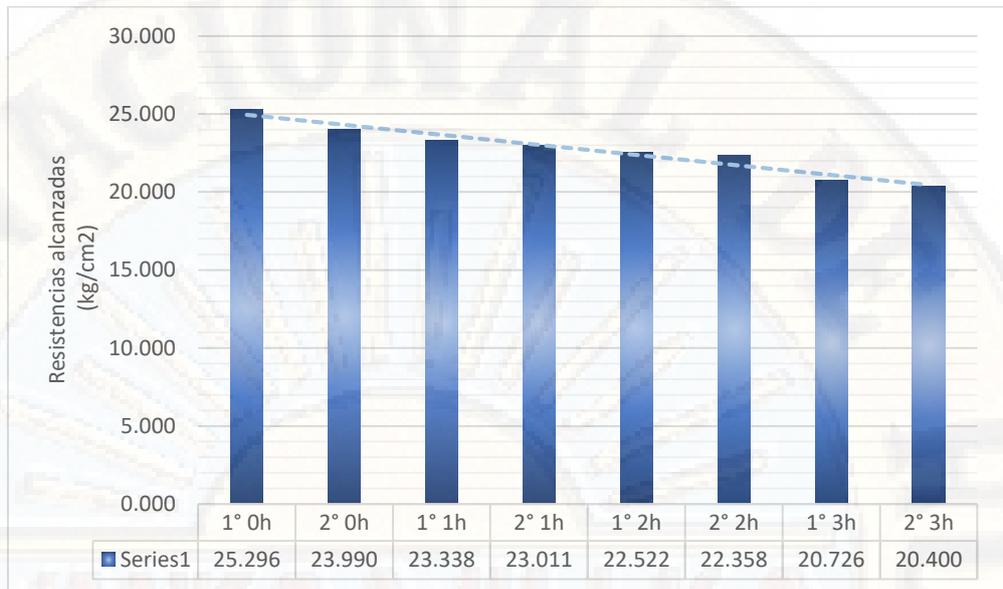


Figura 18. Resistencia a flexión alcanzadas

Fuente: registro gráfico de ensayos de flexión, elaboración propia, 2019.

Una vez transformadas las fuerzas máximas aplicada (de KN a Kg-f) se calculó la resistencia alcanzada dividido por el área de la sección de viga (25 x 25cm), de modo que tal como se muestra en la imagen se observa un decrecimiento en las resistencias de las vigas ensayadas de acuerdo a un mayor tiempo de exposición al fuego. La resistencia a flexión máxima alcanzada por la viga que no fue expuesta al fuego fue de 25.3 kg/cm<sup>2</sup>, la cual representaría el 6% de la resistencia propia del concreto, mientras que la resistencia menor obtenida fue de 20.4 kg/cm<sup>2</sup>, debido a que esta viga fue expuesta a un periodo de 3 horas de exposición al fuego.

Del mismo modo como para el análisis del comportamiento de la resistencia de las probetas cilíndricas de concreto, fue necesario realizar un análisis de medias de los registros obtenidos en los ensayos de flexión de las vigas de concreto armado tanto las que se elaboraron con aditivo acelerante y las que no contaron con este aditivo, siendo estos últimos ensayos únicos a diferencia de las vigas con aditivo acelerante que tuvieron un número de repeticiones para la confiabilidad inicial (95%). De este modo que se obtiene la siguiente tabla con los promedios de los resultados obtenidos:

Tabla 19. Promedio de deformaciones y resistencias a flexión alcanzadas.

Condición de muestra	Tiempo de exposición	Deformación	Resistencia	Porcentaje alcanzado
	(Hrs)	(mm)	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(%)
Con aditivo acelerante	0.00	12.00	24.643	100.00
Con aditivo acelerante	1.00	12.30	23.174	94.04
Con aditivo acelerante	2.00	11.30	22.440	91.06
Con aditivo acelerante	3.00	10.35	20.563	83.44
Sin aditivo acelerante	0.00	12.00	24.643	100.00
Sin aditivo acelerante	1.00	12.50	23.827	96.69
Sin aditivo acelerante	2.00	11.40	22.195	90.07
Sin aditivo acelerante	3.00	13.40	20.890	84.77

Fuente: registro gráfico de ensayos de flexión, elaboración propia, 2019.

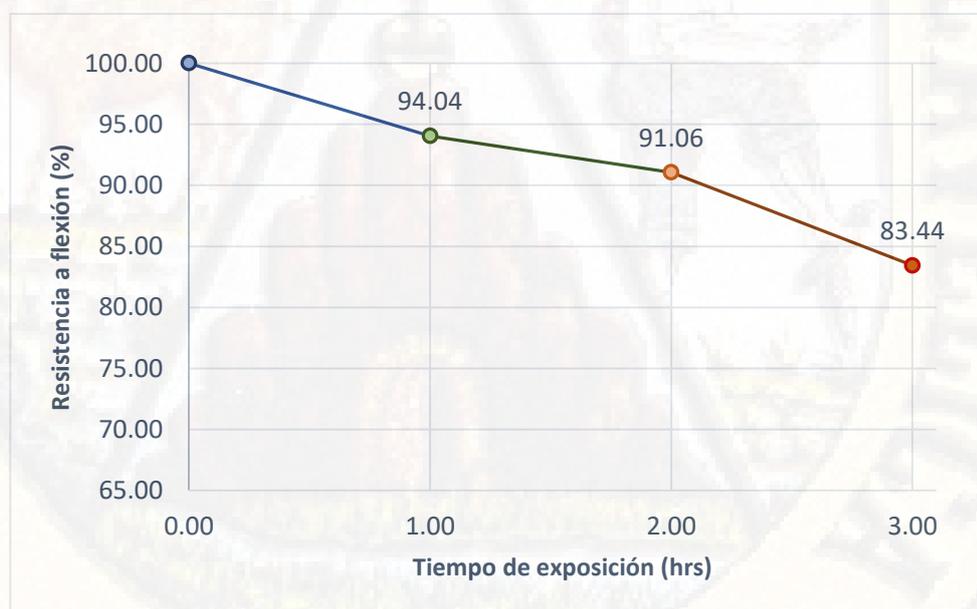


Figura 19. Decrecimiento promedio de las resistencias a flexión

Fuente: registro gráfico de ensayos de flexión, elaboración propia, 2019.

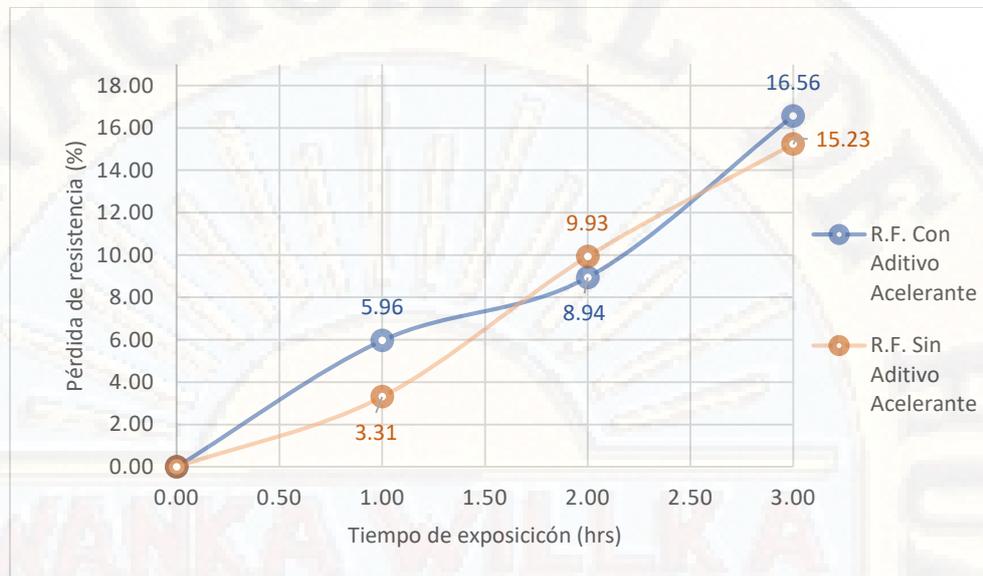


Figura 20. Porcentaje de pérdidas de resistencia a flexión

Fuente: registro gráfico de ensayos de flexión, elaboración propia, 2019.

A medida que la viga este expuesta a mayor tiempo al fuego esta perderá la resistencia inicial que poseía (100%) y se verá decreciendo a mayor tiempo de exposición, pero el comportamiento de este decrecimiento no es igual en aquellas que fueron dosificadas con aditivo acelerante y las que no, tal como se muestra en la figura 20, si bien en ambas condiciones existe un decrecimiento, la que aparentemente tuvo una mejor conservación de resistencia a la primera hora de exposición fueron aquella que no emplearon el aditivo acelerador de fragua ya que solo perdió un 3.3% de sus resistencia inicial; mientras que aquellos que empezaron el aditivo acelerante tuvo una pérdida de casi 6%; la evolución de pérdidas de resistencia a flexión de las vigas para ambos casos (con o sin empleo de aditivo acelerante) es progresiva; no obstante la que presenta un decrecimiento más pronunciado fueron aquellas vigas en las que se empleó el aditivo acelerador de fragua ya que tuvo una pérdida del 16.6% de su resistencia inicial. Para un mejor entendimiento de la evolución de pérdida de resistencia a la flexión y la evolución de esta se detalla en las siguientes páginas de resultados.

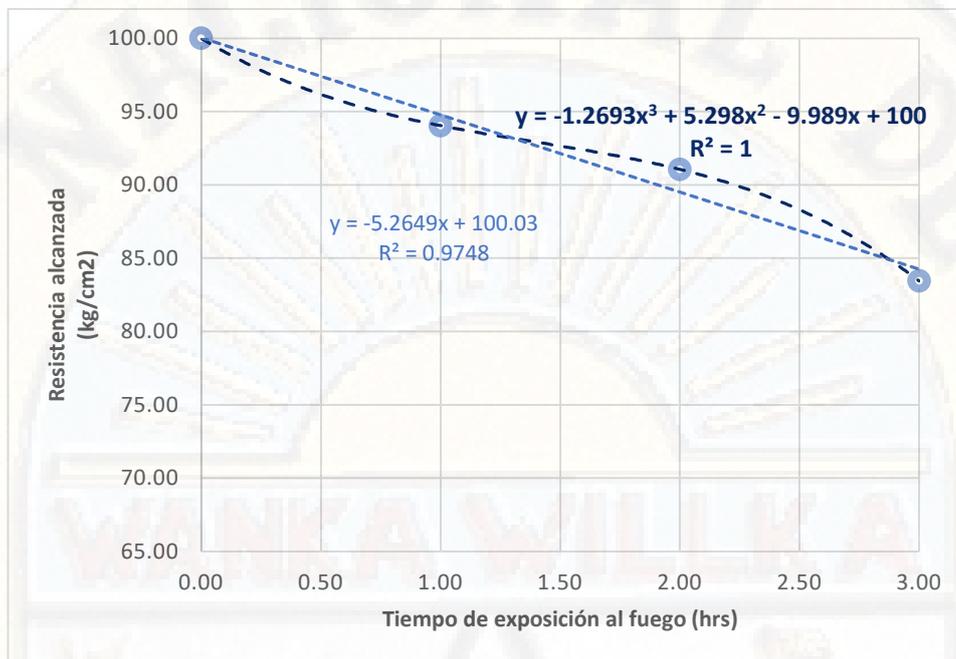


Figura 21. Regresión de resultados de resistencias a flexión con aditivo acelerante

Fuente: registro gráfico de ensayos de flexión, elaboración propia, 2019.

A partir de los datos que se muestran en la tabla 19, se realizó un diagrama de dispersión, de modo que se pueda identificar el comportamiento de este a partir de la realización de regresiones, pues no basta con realizar un regresión lineal sino una que se ajuste lo mejor posible a la dispersión de datos, es así que la regresión que más se ajusta es la regresión polinómica de grado 3, pues posee un  $R^2 = 1$ , y tal como se muestra en la figura 21, es la que se ajusta a los datos. Y a partir de la ecuación obtenida  $Y = -1.293.X^3 + 5.298.X^2 - 9.989.X + 100$ , la cual  $Y$  viene a ser el porcentaje de resistencia a flexión alcanzado y  $X$  el tiempo de exposición al fuego, queda claro que un comportamiento futuro (mayor a 3 horas) tendrá una pérdida de resistencia a la flexión (módulo de rotura) mucho mayor.

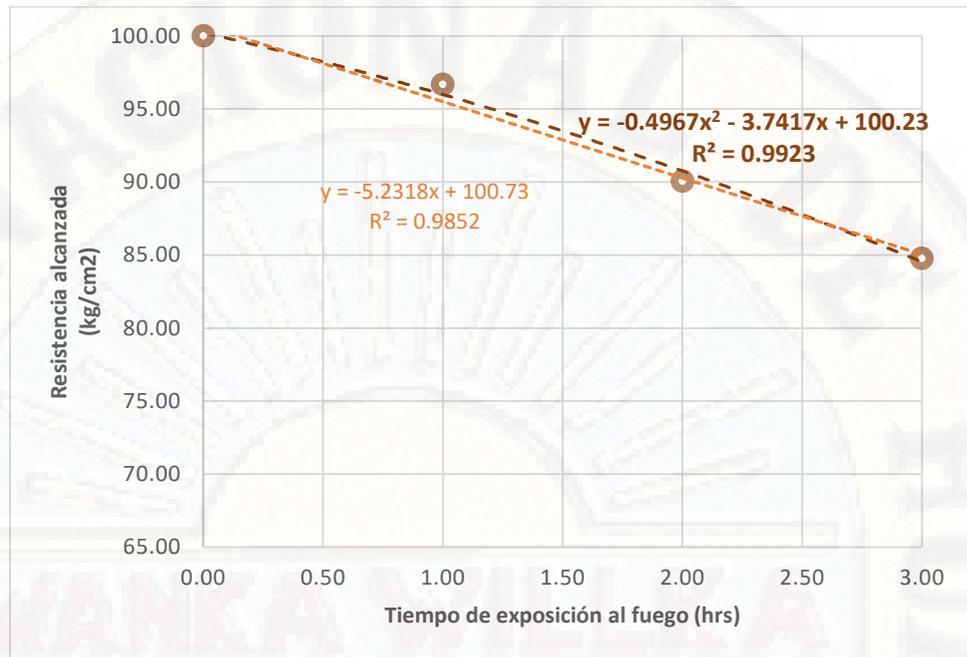


Figura 22. Regresión de resultados de resistencias a flexión sin aditivo acelerante

Fuente: registro gráfico de ensayos de flexión, elaboración propia, 2019.

A diferencia del caso anterior, la regresión que mejor se ajusta para el caso de las resistencias a flexión de las vigas en las que no se empleó aditivo acelerante fue la regresión polinómica de grado 2 ( $R = 0.9923$ ), de modo que así se muestra un claro y mejor entendimiento del modo de pérdida de resistencia que tienen las vigas ante la exposición al fuego durante las primeras 3 horas, además ello servirá para conocer y comparar con los resultados de la vigas en las que sí se emplearon aditivo acelerante en la dosificación de su concreto.

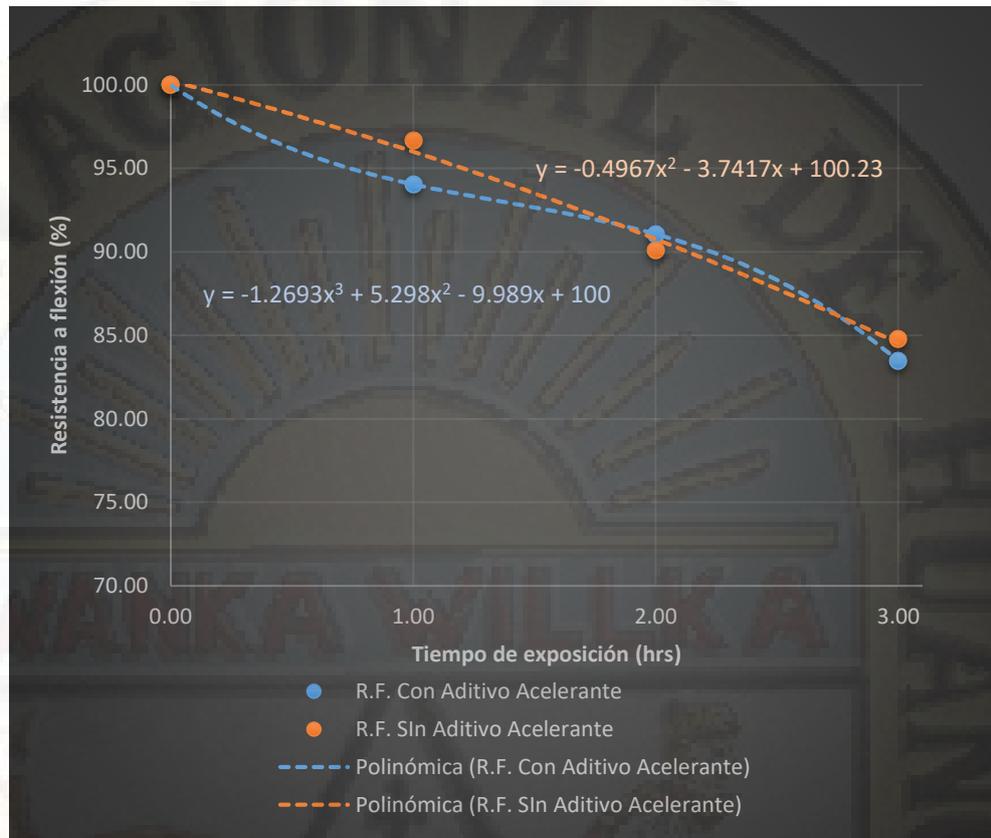


Figura 23. Comparación de comportamientos flexurales

Fuente: registro gráfico de ensayos de flexión, elaboración propia, 2019.

Si bien la evolución del decrecimiento de la resistencia a la flexión depende del tiempo a la que está siendo expuesto el elemento estructural (la viga), esta no tendrá el mismo comportamiento, pues como se muestran en las regresiones para cada caso (con y sin aditivo acelerante) el comportamiento futuro que se mostraría en las resistencias a periodos de tiempo mayores a 3 horas serían muy distintas, de modo que para esa proyección o estimación de cuan afectado se vería la resistencia a la flexión de la viga con aditivo acelerante se emplea la función de regresión mostrada ( $Y = -1.293.X^3 + 5.298.X^2 - 9.989.X + 100$ ), es así que para un periodo de 4 horas de exposición la resistencia del elemento estructural sería de un 63.6% de su resistencia inicial, mientras que para una viga en la cual no se empleó aditivo acelerante tendría una resistencia del 77.3%, entonces se tendría una diferencia de 13.7% en ambos; pero para un periodo cercano a las 5 horas de exposición

al fuego la resistencia a la flexión de las vigas con aditivo acelerante se vería afectado más severamente, a tal punto que poseería solo un 24% aproximadamente de la resistencia inicial, mientras que para una viga que no se dosificó con aditivo acelerante sería de un 69%. Es de este modo que se estima que para exposiciones prologadas de mayor duración una viga en la cual se empleó aditivo acelerante se vería más afectada que una viga en la cual no se haya empleado este aditivo, puesto que el cambio y decrecimiento de la resistencia a la flexión de una viga con aditivo acelerante es más drástico ante un mayor periodo de tiempo expuesto al fuego.

## 4.2. Prueba de hipótesis

### 4.2.1. Prueba de hipótesis específicas

#### 4.2.1.1. Primera hipótesis específica

- Planteamiento de hipótesis

**H1** (Hipótesis alterna) : La exposición al fuego influye significativamente en la resistencia a compresión del concreto de las vigas con aditivos acelerantes.

**H0** (Hipótesis nula) : La exposición al fuego no influye significativamente en la resistencia a compresión del concreto de las vigas con aditivos acelerantes.

- Decisión estadística

A fin de conocer si los resultados obtenidos aprueban o no, la hipótesis planteada inicialmente en la investigación (H1), fue necesario ordenar estos datos para realizar un análisis estadístico a partir del número de repeticiones hechas, siendo para este caso 4 repeticiones por condición de exposición, de modo que se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 20. Registro de resultados de diseño completamente al azar mutuamente excluyentes

Probeta de concreto	Tiempo de exposición	Bloques (repeticiones)			
		1	2	3	4
P1	H0	480.00	389.40	421.00	393.20
P1	H1	381.50	408.80	360.40	320.80
P1	H2	341.10	360.10	321.90	288.10
P1	H3	201.50	243.40	290.80	260.30

Nota Fuente: registro de resultados de compresión de testigos de concreto, elaboración propia, 2019.

Se realizó un único tipo de testigo de concreto (P1), con una dosificación igual en todas las 16 repeticiones, así también como las dimensiones están estandarizadas por la norma ASTM C39. El otro factor que se consideró fue el tiempo de exposición de los testigos (a periodos de 1 hora), de modo que de esta forma se obtuvieron los resultados en los 4 bloques mostrados. De manera que a partir de esta tabla se realizó la programación en SAS Studio, para conocerse así la existencia o no de significancia en estos resultados.

```

1 DATA FACTORIAL_CUALI_DBA;
2 INPUT PROBETAS $ EXPOSICION $ BLOQUE RES_COMPR;
3 CARDS;
4 P1 H0 1 480
5 P1 H0 2 389.4
6 P1 H0 3 421
7 P1 H0 4 393.2
8 P1 H1 1 381.5
9 P1 H1 2 408.8
10 P1 H1 3 360.4
11 P1 H1 4 320.8
12 P1 H2 1 341.1
13 P1 H2 2 360.1
14 P1 H2 3 321.9
15 P1 H2 4 288.1
16 P1 H3 1 201.5
17 P1 H3 2 243.4
18 P1 H3 3 290.8
19 P1 H3 4 260.3
20 ;
21 PROC GLM DATA = FACTORIAL_CUALI_DBA;
22 CLASS PROBETAS EXPOSICION BLOQUE;
23 MODEL RES_COMPR = BLOQUE PROBETAS EXPOSICION PROBETAS*EXPOSICION /SS3;
24 LSMEANS PROBETAS*EXPOSICION/Slice = PROBETAS;
25 LSMEANS PROBETAS*EXPOSICION/Slice = EXPOSICION;
26 MEANS PROBETAS*EXPOSICION;
27 MEANS PROBETAS/TUKEY;
28 MEANS EXPOSICION/TUKEY; RUN;

```

Figura 24. Código de procesamiento estadístico (Prueba de hipótesis 1)  
Fuente: Procesamiento SAS Studio, elaboración propia, 2019.

Una vez escrito el código se realizó la compilación de este, obteniéndose así los siguientes resultados.

**Procedimiento GLM**

Información del nivel de clase		
Clase	Niveles	Valores
PROBETAS	1	P1
EXPOSICION	4	H0 H1 H2 H3
BLOQUE	4	1 2 3 4

N.º observaciones leídas	16
Número de observaciones usadas	16

---

**Procedimiento GLM**

Variable dependiente: RES\_COMPR

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Modelo	6	66537.56275	11089.59479	7.79	0.0037
Error	9	12816.42062	1424.04674		
Total corregido	15	79353.98337			

R-cuadrado	Var Coef.	Raíz MSE	Media de RES_COMPR
0.838491	11.05367	37.73654	341.3937

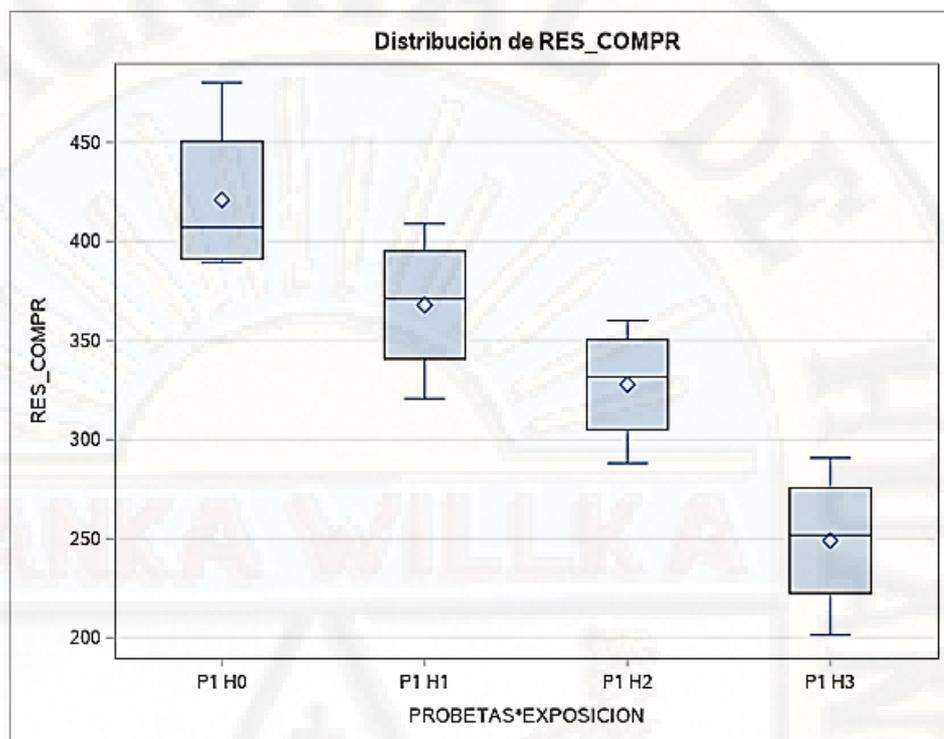
  

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
BLOQUE	3	3561.98888	1187.32896	0.83	0.5083
PROBETAS	0	0.00000	.	.	.
EXPOSICION	3	62975.58188	20991.85063	14.74	0.0008
PROBETAS*EXPOSICION	0	0.00000	.	.	.

Figura 25. Prueba de hipótesis para un experimento factorial por bloques (concreto - exposición)

Fuente: Procesamiento SAS Studio, 2019.

De acuerdo a los resultados obtenidos mediante el procesamiento de datos en el programa estadístico SAS Studio se obtuvo que para las condiciones que se hallaron (variaciones en la resistencia), se muestra que el nivel de significancia hallado ( $Pr > F$ ) es menor a 0.05 puesto que el valor hallado fue de 0.0037. Así también, se muestra que se tuvo 16 datos analizados debido a que se hizo 4 tratamientos o condiciones de exposición y con ello 4 repeticiones (bloques) a fin de cumplir con el 95% de confiabilidad.



Nivel de PROBETAS	Nivel de EXPOSICION	N	RES_COMPR	
			Media	Desv. est.
P1	H0	4	420.900000	41.8424027
P1	H1	4	367.875000	37.1143618
P1	H2	4	327.800000	30.7195920
P1	H3	4	249.000000	37.2493400

Figura 26. Diagrama de cajas para las medias de los datos (concreto – exposición)

Fuente: Procesamiento SAS Studio, 2019.

Como se muestra en la figura, las medias de los resultados hallados muestran que no están fuera del rango, es decir, no son valores atípicos por lo que cumplen con un comportamiento en general, mostrándose así la presencia de significancia planteada en la primera hipótesis específica.

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para RES\_COMPR

Note: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Grados de error de libertad	9
Error de cuadrado medio	1424.047
Valor crítico del rango estudentizado	4.41488
Diferencia significativa mínima	83.301

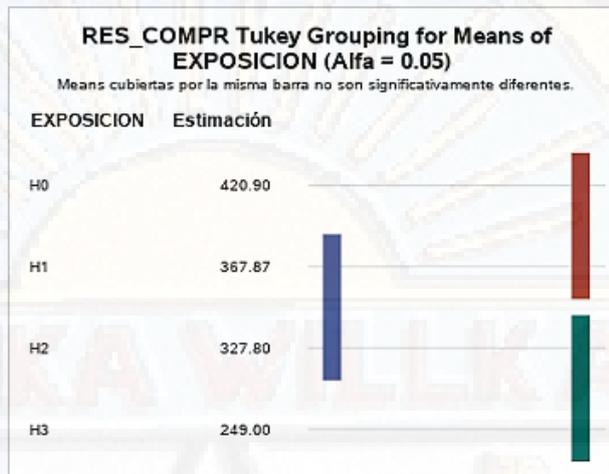


Figura 27. Prueba de rango turkey (concreto – exposición)  
Fuente: Procesamiento SAS Studio, 2019.

A partir de la figura obtenida sobre las barras de medias con un alfa de 0.05, se muestra que las barras están cubriéndose por lo que se muestra significancia de diferencias entre los datos obtenidos del procesamiento de resultados de los ensayos de compresión de testigos de concreto.

CÓDIGO LOG RESULTADOS DATOS DE SALIDA

Tabla: WORK.FACTORIAL\_CUALI\_DBA | Ver: Nombres de columna | Filtrar: (ninguno)

Columnas:  Seleccionar todo

- PROBETAS
- EXPOSICION
- BLOQUE
- RES\_COMPR

	PROBETAS	EXPOSICION	BLOQUE	RES_COMPR
1	P1	H0	1	480
2	P1	H0	2	389.4
3	P1	H0	3	421
4	P1	H0	4	393.2
5	P1	H1	1	381.5
6	P1	H1	2	408.8
7	P1	H1	3	360.4
8	P1	H1	4	320.8
9	P1	H2	1	341.1
10	P1	H2	2	360.1
11	P1	H2	3	321.9
12	P1	H2	4	288.1
13	P1	H3	1	201.5
14	P1	H3	2	243.4
15	P1	H3	3	290.8
16	P1	H3	4	260.3

Figura 28. Datos de salida (concreto – exposición)  
Fuente: Procesamiento SAS Studio, elaboración propia, 2019.

- Consideración final

Tal como se mostró en la figura 25, el nivel de significancia hallado fue menor a 0.05, por lo que a partir de ella se puede evidenciar estadísticamente, la existencia de significancia en la variable dependiente (resistencia a compresión del concreto) de modo que a partir de la hipótesis planteada inicialmente (H1) se muestra una clara afección en las resistencias halladas de las repeticiones hechas, ello dependiendo al grado y tiempo de exposición al fuego. Por lo que mediante lo expuesto se aprueba la hipótesis alterna, la cual plantea que, “La exposición al fuego influye significativamente en la resistencia a compresión del concreto de las vigas con aditivos acelerantes”.

#### 4.2.1.2. Segunda hipótesis específica

- Planteamiento de hipótesis

**H1** (Hipótesis alterna) : La exposición al fuego influye significativamente en la resistencia a flexión de vigas de concreto armado con aditivos acelerantes.

**H0** (Hipótesis nula) : La exposición al fuego no influye significativamente en la resistencia a flexión de vigas de concreto armado con aditivos acelerantes.

- Decisión estadística

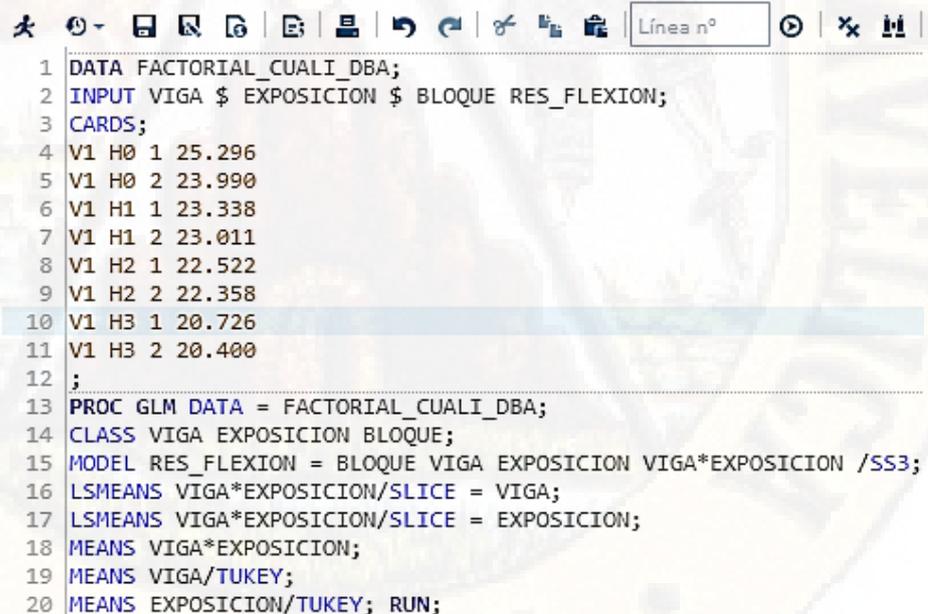
A fin de conocer si los resultados obtenidos aprueban la hipótesis planteada inicialmente en la investigación, fue necesario ordenar estos datos de manera que se pueda realizar un análisis estadístico con el número de repeticiones hechas, siendo para este caso 2 repeticiones por condición de exposición ya que las dimensiones de las vigas hacían complicadas la operación, de modo que se obtiene la siguiente tabla.

Tabla 21. Registro de resultados de diseño completamente al azar mutuamente excluyentes.

Viga	Tiempo de exposición	Bloques	
		1	2
V1	H0	25.296	23.990
V1	H1	23.338	23.011
V1	H2	22.522	22.358
V1	H3	20.726	20.400

Nota Fuente: registro gráfico de resistencia a flexión, elaboración propia, 2019.

Se realizó un único tipo de viga de concreto para este análisis (V1), con una dosificación igual en todas las 8 repeticiones, estas estuvieron dosificadas con aditivo acelerador e fraguado, las vigas tenían por dimensiones de sección de 25x25cm. El otro factor que se consideró fue el tiempo de exposición al fuego (a periodos de 1 hora), de modo que de esta forma se obtuvieron los resultados en los 2 bloques mostrados. Y a partir de esta tabla se realizó la programación en SAS Studio, para conocerse así la existencia o no de significancia en estos resultados de acuerdo a lo planteado en la hipótesis.



```

1 DATA FACTORIAL_CUALI_DBA;
2 INPUT VIGA $ EXPOSICION $ BLOQUE RES_FLEXION;
3 CARDS;
4 V1 H0 1 25.296
5 V1 H0 2 23.990
6 V1 H1 1 23.338
7 V1 H1 2 23.011
8 V1 H2 1 22.522
9 V1 H2 2 22.358
10 V1 H3 1 20.726
11 V1 H3 2 20.400
12 ;
13 PROC GLM DATA = FACTORIAL_CUALI_DBA;
14 CLASS VIGA EXPOSICION BLOQUE;
15 MODEL RES_FLEXION = BLOQUE VIGA EXPOSICION VIGA*EXPOSICION /SS3;
16 LSMEANS VIGA*EXPOSICION/SLICE = VIGA;
17 LSMEANS VIGA*EXPOSICION/SLICE = EXPOSICION;
18 MEANS VIGA*EXPOSICION;
19 MEANS VIGA/TUKEY;
20 MEANS EXPOSICION/TUKEY; RUN;

```

Figura 29. Código de procesamiento estadístico (Prueba de hipótesis 2)

Fuente: Procesamiento SAS Studio, elaboración propia, 2019.

Procedimiento GLM

Información del nivel de clase		
Clase	Niveles	Valores
VIGA	1	V1
EXPOSICION	4	H0 H1 H2 H3
BLOQUE	2	1 2

N.º observaciones leídas	8
Número de observaciones usadas	8

Procedimiento GLM

Variable dependiente: RES\_FLEXION

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Modelo	4	17.83271750	4.45817938	32.86	0.0083
Error	3	0.40947738	0.13649248		
Total corregido	7	18.24219488			

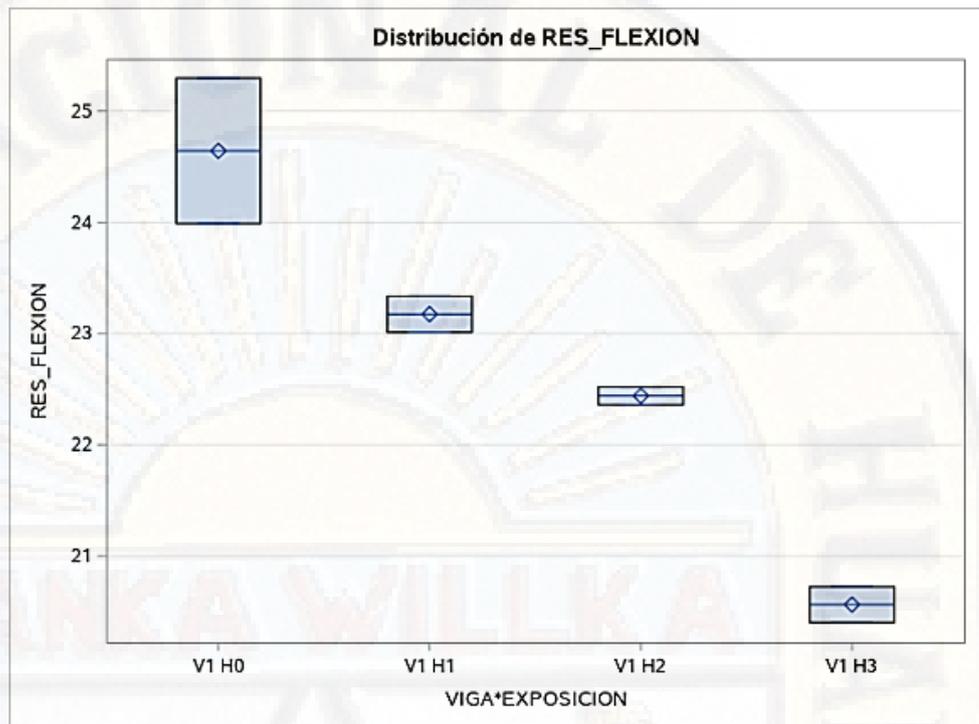
R-cuadrado	Var Coef.	Raíz MSE	Media de RES_FLEXION
0.977553	1.627181	0.389449	22.70513

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
BLOQUE	1	0.56339113	0.56339113	4.13	0.1351
VIGA	0	0.00000000	.	.	.
EXPOSICION	3	17.28932838	5.75644213	42.17	0.0059
VIGA*EXPOSICION	0	0.00000000	.	.	.

Figura 30. Prueba de hipótesis para un experimento factorial por bloques (R. flexión - exposición)

Fuente: Procesamiento SAS Studio, 2019.

De acuerdo a los resultados obtenidos mediante el procesamiento de datos en el programa estadístico SAS Studio se obtuvo que para las condiciones que se hallaron (variaciones en la resistencia), se muestra que el nivel de significancia hallado ( $Pr > F$ ) es menor a 0.05 puesto que el valor hallado fue de 0.0083. Así también, se muestra que se tuvieron 8 datos analizados debido a que se hicieron 4 tratamientos o condiciones de exposición y con ello 2 repeticiones (bloques), de modo que se evidencia la existencia de significancia en la variable dependiente.



Nivel de VIGA	Nivel de EXPOSICION	N	RES_FLEXION	
			Media	Desv. est.
V1	H0	2	24.6430000	0.92348148
V1	H1	2	23.1745000	0.23122392
V1	H2	2	22.4400000	0.11598551
V1	H3	2	20.5630000	0.23051681

Figura 31. Distribución de medias y desviación estandar (R. flexión – exposición)

Fuente: Procesamiento SAS Studio, 2019.

Como se muestra en la figura, las medias de los resultados hallados muestran un comportamiento de decrecimiento, es decir disminución en la resistencia a flexión para vigas que fueron dosificadas con aditivo acelerador de fraguado, así también se muestra que estos resultados están dentro del rango de error, es decir, no se muestran valores atípicos al comportamiento en relación de los demás datos.

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para RES\_FLEXION

Note: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Grados de error de libertad	3
Error de cuadrado medio	0.136492
Valor crítico del rango estudentizado	6.82452
Diferencia significativa mínima	1.7828

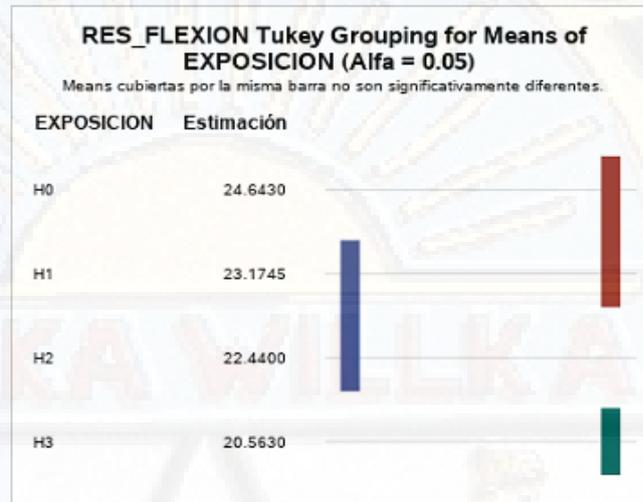


Figura 32. Prueba de rango Turkey (R. flexión – exposición)  
Fuente: Procesamiento SAS Studio, 2019.

A partir de la figura obtenida sobre las barras de medias con un alfa de 0.05, se muestra que las barras están cubriéndose por lo que indica significancia de diferencias entre los datos obtenidos del procesamiento de resultados de los ensayos de compresión de testigos de concreto.

Nº total de filas: 8 Nº total de columnas: 4

	VIGA	EXPOSICION	BLOQUE	RES_FLEXION
1	V1	H0	1	25.296
2	V1	H0	2	23.99
3	V1	H1	1	23.338
4	V1	H1	2	23.011
5	V1	H2	1	22.522
6	V1	H2	2	22.358
7	V1	H3	1	20.726
8	V1	H3	2	20.4

Figura 33. Datos de salida (concreto – exposición)  
Fuente: Procesamiento SAS Studio, elaboración propia, 2019.

- Consideración final

De acuerdo a lo especificado en la figura 30, el nivel de significancia hallado fue menor a 0.05 ya que fue de 0.0083, por lo que a partir de ello se puede evidenciar por medio de la estadística, la existencia de significancia en la variable dependiente (resistencia a flexión de vigas de concreto armado), de modo que la hipótesis alterna (H1) planteada en la investigación queda aceptada, la nula queda descartada puesto que se muestra una afectación significativa en la resistencia a flexión de acuerdo a distintos periodos de tiempo expuestos al fuego. Por lo expuesto queda aprobado la hipótesis alterna planteada, la cual plantea que: “La exposición al fuego influye significativamente en la resistencia a flexión de vigas de concreto armado con aditivos acelerantes”.

#### 4.2.2. Prueba de hipótesis general

- Planteamiento de hipótesis

**H1** (Hipótesis alterna) : La exposición al fuego influye significativamente en el comportamiento flexural de vigas de concreto armado con aditivos acelerantes.

**H0** (Hipótesis nula) : La exposición al fuego no influye significativamente en el comportamiento flexural de vigas de concreto armado con aditivos acelerantes.

- Decisión estadística

A fin de conocer si los resultados obtenidos aprueban o descartan la hipótesis planteada inicialmente en la investigación, fue necesario ordenar estos datos de manera que se pueda realizar un análisis estadístico con el número de repeticiones hechas, siendo para este caso 2 repeticiones por condición de exposición ya que las dimensiones de las vigas hacían

complicadas la operación, además de que se realizó una distinta dosificación para un concreto sin aditivo acelerante, de modo que se obtiene la siguiente tabla.

Tabla 22. Registro de resultados de diseño completamente al azar mutuamente excluyentes.

Condición de viga	Periodo de exposición	Bloques	
		1	2
CA	H0	25.296	23.990
CA	H1	23.338	23.011
CA	H2	22.522	22.358
CA	H3	20.726	20.400
SA	H0	24.643	24.643
SA	H1	23.827	23.827
SA	H2	22.195	22.195
SA	H3	20.890	20.890

Nota Fuente: registro gráfico de resistencia a flexión, elaboración propia, 2019.

Se tuvo dos tipos de vigas, con dosificaciones de agregados iguales, pero no con el uso del aditivo acelerante en su elaboración, es decir, que se tuvo un grupo de control y otro experimental, en los cuales la dosificación de agregados, cemento y relación agua-cemento no varió, sino solo el empleo del aditivo acelerante de fragua. Las vigas tuvieron las mismas dimensiones (25x25cm) tanto aquellas en las que se empleó el aditivo acelerante (CA) y en las que no se usó de este (SA). El otro factor que se consideró fue el tiempo de exposición al fuego (a periodos de 1 hora), de modo que de esta forma se obtuvieron los resultados en los 2 bloques mostrados. Y a partir de esta tabla se realizó la programación y procesamiento en SAS Studio, para conocerse así la existencia o no de significancia en estos resultados de acuerdo a lo planteado en la hipótesis general.

```

1 DATA FACTORIAL_CUALI_DBA;
2 INPUT COND_VIGA $ EXPOSICION $ BLOQUE COMP_FLEXURAL;
3 CARDS;
4 C1 H0 1 25.296
5 C1 H0 2 23.990
6 C1 H1 1 23.338
7 C1 H1 2 23.011
8 C1 H2 1 22.522
9 C1 H2 2 22.358
10 C1 H3 1 20.726
11 C1 H3 2 20.400
12 C2 H0 1 24.643
13 C2 H0 2 24.643
14 C2 H1 1 23.827
15 C2 H1 2 23.827
16 C2 H2 1 22.195
17 C2 H2 2 22.195
18 C2 H3 1 20.890
19 C2 H3 2 20.890
20 ;
21 PROC GLM DATA = FACTORIAL_CUALI_DBA;
22 CLASS COND_VIGA EXPOSICION BLOQUE;
23 MODEL COMP_FLEXURAL = BLOQUE COND_VIGA EXPOSICION COND_VIGA*EXPOSICION /SS3;
24 LSMEANS COND_VIGA*EXPOSICION/SLICE = COND_VIGA;
25 LSMEANS COND_VIGA*EXPOSICION/SLICE = EXPOSICION;
26 MEANS COND_VIGA*EXPOSICION;
27 MEANS COND_VIGA/TUKEY;
28 MEANS EXPOSICION/TUKEY; RUN;

```

Figura 34. Código de procesamiento estadístico (Prueba de hipótesis general)  
Fuente: Procesamiento SAS Studio, elaboración propia, 2019.

#### Procedimiento GLM

Información del nivel de clase		
Clase	Niveles	Valores
COND_VIGA	2	C1 C2
EXPOSICION	4	H0 H1 H2 H3
BLOQUE	2	1 2

N.º observaciones leídas	18
Número de observaciones usadas	18

Figura 35. Procedimiento DCA por bloques  
Fuente: Procesamiento SAS Studio, elaboración propia, 2019.

Donde se muestra el número de elementos inspeccionados (16) tanto los 8 ensayos a flexión de vigas con aditivo acelerante y las otras que no se emplearon.

Procedimiento GLM

Variable dependiente: COMP\_FLEXURAL

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Modelo	8	34.55388800	4.31923600	43.74	<.0001
Error	7	0.69117294	0.09873899		
Total corregido	15	35.24506094			

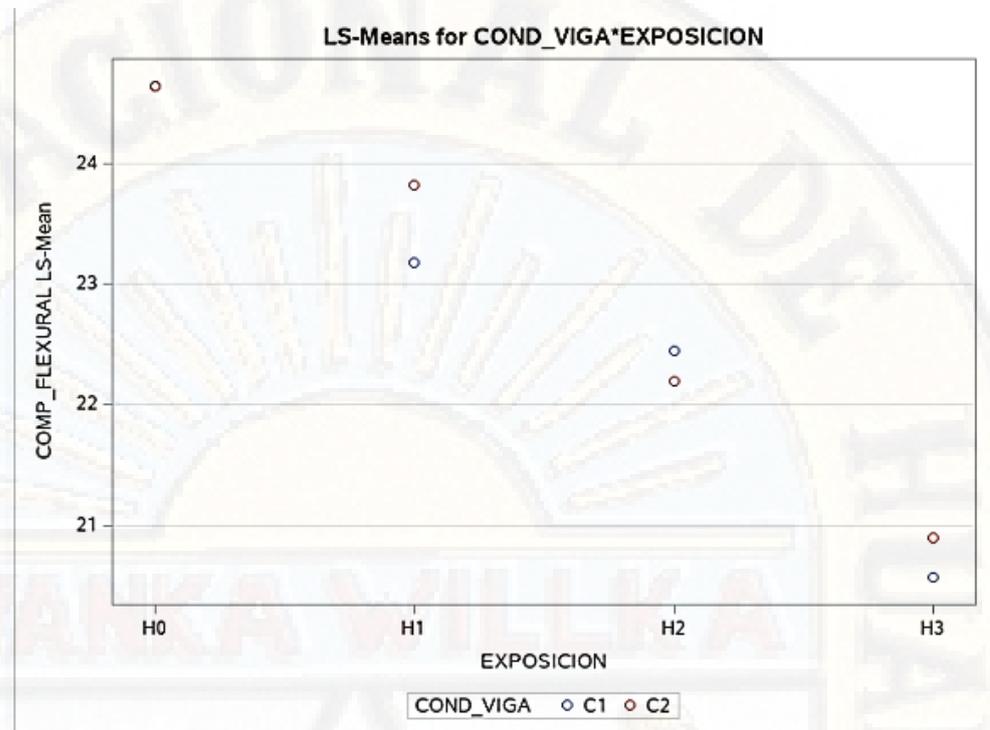
R-cuadrado	Var Coef.	Raíz MSE	Media de COMP_FLEXURAL
0.980390	1.378376	0.314228	22.79694

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
BLOQUE	1	0.28169556	0.28169556	2.85	0.1351
COND_VIGA	1	0.13487256	0.13487256	1.37	0.2808
EXPOSICION	3	33.67948219	11.22649406	113.70	<.0001
COND_VIGA*EXPOSICION	3	0.45783769	0.15261256	1.55	0.2854

Figura 36. Prueba de hipótesis para un experimento factorial por bloques (comportamiento flexural - exposición)

Fuente: Procesamiento SAS Studio, 2019.

De acuerdo a los resultados obtenidos mediante el procesamiento de datos en el programa estadístico SAS Studio se obtuvo que para las condiciones que se hallaron (comportamientos flexurales), se muestra que el nivel de significancia hallado ( $Pr > F$ ) es menor a 0.05 ya que el valor hallado fue menor de 0.0001. Así también, se muestra que se tuvo 16 datos analizados, tanto para los elementos en los que se empleó el aditivo como en los que no. Este valor de significancia nos servirá para determinar la aprobación o descarte de las hipótesis planteadas.



Procedimiento GLM  
Medias de mínimos cuadrados

Efecto COND_VIGA*EXPOSICION subdividido por COND_VIGA para COMP_FLEXURAL					
COND_VIGA	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
C1	3	17.289326	5.763109	58.30	<.0001
C2	3	16.867994	5.622665	56.94	<.0001

Figura 37. Medias de mínimos cuadrados (comportamiento flexural CA/SA – exposición)

Fuente: Procesamiento SAS Studio, 2019.

Como se muestra en la figura, las medias de los resultados hallados muestran un comportamiento de decrecimiento en las resistencias obtenidas, tanto para los elementos en los que se empleó aditivo acelerante como en los que no; sin embargo, pese a tener un comportamiento similar existen diferencias a medida que el periodo de exposición avanza, de modo que mediante la media de mínimos cuadrados reafirma ello.

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para COMP\_FLEXURAL

Note: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Grados de error de libertad	7
Error de cuadrado medio	0.098739
Valor crítico del rango estudentizado	4.88121
Diferencia significativa mínima	0.7366

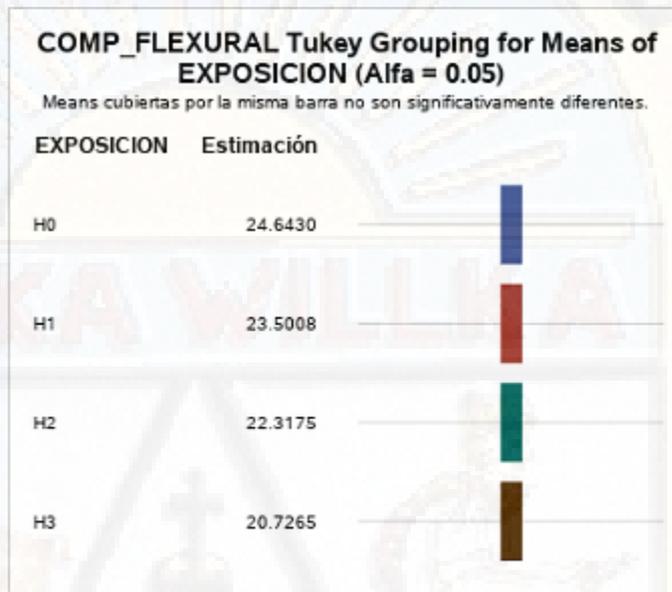


Figura 38. Prueba de rango Turkey (comportamiento flexural CA/SA – exposición)  
Fuente: Procesamiento SAS Studio, 2019.

A partir de la figura obtenida sobre las barras de medias, con un alfa de 0.05, se muestra que las barras no están cubriéndose, ello indica que existe una significancia diferente entre los datos (C.F. con aditivo – C.F. sin aditivo) por lo que a lo mencionado anteriormente, pese a mostrarse que para ambos casos existe decrecimiento en la resistencia a medida que el periodo de exposición sea mayor, pero dichos comportamiento no son similares sino diferentes.

	COND_VIGA	EXPOSICION	BLOQUE	COMP_FLEXURAL
1	C1	H0	1	25.296
2	C1	H0	2	23.99
3	C1	H1	1	23.338
4	C1	H1	2	23.011
5	C1	H2	1	22.522
6	C1	H2	2	22.358
7	C1	H3	1	20.726
8	C1	H3	2	20.4
9	C2	H0	1	24.643
10	C2	H0	2	24.643
11	C2	H1	1	23.827
12	C2	H1	2	23.827
13	C2	H2	1	22.195
14	C2	H2	2	22.195
15	C2	H3	1	20.89
16	C2	H3	2	20.89

Figura 39. Datos de salida (comportamiento flexural CA/SA – exposición)  
Fuente: Procesamiento SAS Studio, elaboración propia, 2019.

- Consideración final

De acuerdo a lo especificado en la figura 36, el nivel de significancia hallado fue menor a 0.0001 y para trabajos de investigación el nivel de significancia es de 0.05, ya que se trabaja a un nivel de confiabilidad del 95%, y debido a que este valor es mucho menor a la solicitada, se descarta la hipótesis nula de modo que la hipótesis alterna planteada inicialmente en la investigación queda aprobada, dicha hipótesis señala o siguiente: “La exposición al fuego influye significativamente en el comportamiento flexural de vigas de concreto armado con aditivos acelerantes”

### 4.3. Discusión de resultados

El título de la investigación fue: “Influencia de la exposición al fuego en el comportamiento flexural de vigas de concreto armado con aditivos acelerantes”, para el cual se encamino en base a un objetivo principal: Determinar de qué manera influye la exposición al fuego en el comportamiento flexural de vigas de concreto armado con aditivos acelerantes. Para el cual fue necesario conocer las dimensiones que comparte hablar de comportamiento flexural, estos fueron la resistencia propia del concreto y la resistencia a flexión propio de este tipo de elementos estructurales (vigas de concreto armado). De modo que fue necesario conocer lo que señalan las normas nacionales e internacionales, no solo para estos ensayos sino para el diseño propio del concreto (dosificación).

Respecto a la exposición al fuego, este fue del tipo directo, donde el material de combustión fueron leños de eucalipto y maderas de construcción en estado seco, ubicándose las muestras en la parte superior y debajo estos materiales, alcanzando temperaturas promedio de 480°C propio de la combustión de maderas de eucalipto y restos de material de construcción de madera, los periodos de exposición fueron a cada una hora, un número de repeticiones a una hora de exposición al fuego, otro número a dos horas y por último a tres horas de exposición, a fin de conocer el impacto y variaciones que ocurren en la resistencia a diferentes tiempo de exposición, ya que a esta temperatura y a un tiempo superior a 1 hora se aprecia desprendimiento y fisuras en las muestras como mencionaron de Chauca y Cruz (2014) en su investigación, ello para testigos cilíndricos de concreto, mientras que para las vigas solo fue presencia de fisuramientos en su estructura superficial.

Para saber el modo de afectación de la exposición al fuego en la resistencia propia del concreto, se elaboraron en bloques de 4 repeticiones por periodo de exposición (0, 1, 2 y 3 horas) a fin de obtenerse resultados con una confiabilidad del 95%, se notó que a partir de una hora y media

aproximadamente los testigos que estaban siendo expuesto al fuego presentaron fisuraciones externas, mientras que a partir de las dos horas hubo desprendimientos de parte de las probetas, ya cercano a las tres horas de exposición, los testigos adquirieron un color más gris pálido sumado a ello el desprendimiento y fisuras en las paredes de estos, así se mostraba como la exposición al fuego también afecta claramente a la condición propia del concreto. Las muestras tuvieron un proceso de refrigeración a temperatura ambiente (sin emplear agua) para posteriormente ser ensayados de acuerdo a los normado por el ASTM C39, de modo que se inspecciono cada muestra antes de ensayarla, la relación de agua cemento (a/c) fue de 0.61. Las muestras que fueron expuestas a 1 hora presentaron un color negro en su superficie debido a que el contacto del fuego fue directo, resultando que las resistencias alcanzadas solo representaron un 87% de la resistencia inicial. Las muestras que fueron expuestas a periodos de dos horas el color de estos fueron de un tono más gris, presentaron así también fisuras en sus superficies, algunos de ellos presentaron desprendimientos de materia de sus paredes, respecto a su resistencia solo alcanzaron un 78% del inicial. Para las muestras que fueron expuestas a 3 horas presentaron fisuras más pronunciadas, así como desprendimiento de las paredes, y la resistencia alcanzada solo fue un 59% de la inicial. A partir de estos resultados se ve un claro decrecimiento en la resistencia a medida que se expone a un periodo de tiempo más prolongado al fuego para un concreto que empleo de aditivos acelerantes en su composición; mientras que en la investigación que desarrolló Huincho (2017) me muestra que para testigos de concreto que no emplearon aditivo acelerante con una relación de agua-cemento de 0.60, el porcentaje de perdida no es muy significativo en las 2 primeras horas de exposición, sin embargo en la tercera hora la perdida de resistencia es más de un 50% del inicial, de modo que la resistencia del concreto sin aditivo acelerante (normal) se comporta de un modo mejor en las primeras 2 horas; a diferencia de un concreto que empleó aditivo acelerador de fraguado, pero a pesar de ello las resistencias mayores a las de 2 horas presentan un decrecimiento pronunciado de casi el 50% del diseño inicial.

Respecto a los ensayos realizados para conocer el modo en que la exposición al fuego afecta la resistencia a flexión de vigas de concreto armado que fueron elaboradas con aditivo acelerador de fraguado, se empleó la misma dosificación que en los testigos cilíndricos de concreto, de manera que para ambas sub variables se posea una misma condición y dosificación de concreto con una resistencia de diseño única ( $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ ) de acuerdo a los parámetros que establece el ACI. Debido a que las dimensiones de las vigas eran a escala real (sección 25x25 cm) y una luz de 0.8 metros para la manipulación de estos, ya que por el peso de cada viga (120 kg aproximadamente) hacia difícil la manipulación de estos; sin embargo, se realizaron las actividades programadas para su exposición de la mejor forma, similar al de los testigos la exposición y contacto con el fuego fue en la parte inferior de las vigas, a intervalos de tiempo de una hora. El área de acero para cada muestra fue de  $2.53 \text{ cm}^2$  (superior e inferior), ya que se traba de elementos a escala real, con estribos de acero de 3/8". El método de ensayo fue flexión a dos tercios de luz según lo especificado en la normativa ASTM C78, es así que se efectuaron los ensayos, donde la carga máxima aplicada antes de que falle la viga será dividida entre la sección de viga para obtener así la resistencia a flexión (módulo de rotura) del elemento. Para una exposición a 1 hora la resistencia de la viga era un 94% del inicial. Para un periodo de 2 horas de exposición las vigas ya presentaban fisuras en su superficie, la resistencia promedio alcanzada fue de un 91% de la inicial. Para un periodo de exposición de 3 horas la resistencia sería de un 83%, mostrándose de este modo una pérdida de resistencia más brusca que en las primeras horas, y haciendo uso de las regresiones se pudo estimar el comportamiento futuro para periodos de exposición mayores a 3 horas.

Para conocer el grado de afectación de la resistencia a flexión es mayor o menor en vigas que se emplearon aditivo acelerante y en aquellos que no, fue necesario elaborar muestras de control (vigas sin aditivo acelerante), estos elementos poseen la misma dosificación, dimensiones y cantidades de acero

como en las otras vigas; así también fueron expuestas a los mismos periodos de tiempo al fuego. El ensayo a flexión fue del mismo modo a dos tercios de luz. Es así que se obtuvo que a la primera hora de exposición al fuego la viga control tuvo una pérdida de resistencia del 3.31%, mientras que en las vigas con aditivo acelerante tuvo una pérdida de casi 6% de la resistencia inicial, mostrándose así un mejor comportamiento por parte de la viga sin aditivo acelerante (viga control). Para una exposición a 2 horas las diferencias de pérdidas de resistencia no fueron tan pronunciadas, ya que para las vigas con aditivo acelerante la pérdida de resistencia fue de un 8.9% y para las vigas sin aditivo fue de 9.9%. Para una exposición ya de 3 horas la pérdida de resistencia en las vigas con aditivo acelerante fue de 16.6% mientras que para aquellas en las que no se empleó aditivo fue de un 15.2%. Haciendo uso del recurso estadístico de la regresión, se muestra que el comportamiento de la resistencia a flexión de las vigas con aditivo acelerante expuestas al fuego tendrá una pérdida mucho más significativa en comparación a una que no se empleó el mencionado aditivo. De este modo se evidencia que emplear el uso de aditivo acelerador de fraguado vuelve más vulnerable a la estructura en comparación a uno en el cual no se haya empleado para exposiciones a tiempo muy prolongadas (mayores a 3 horas).

## CONCLUSIONES

En la investigación que lleva por título: “Influencia de la exposición al fuego en el comportamiento flexural de vigas de concreto armado con aditivos acelerantes”, se llegó a las siguientes conclusiones:

- ♣ Si bien tanto para elementos que emplean aditivo acelerador de fraguado como los que no, muestran un decrecimiento en sus resistencias a medida que son expuestos estos al fuego, la pérdida de resistencia para cada caso es distinta, de modo que para periodos de exposición más prolongados al fuego emplear aditivo acelerador de fraguado representa un mayor riesgo debido a que vuelve más vulnerable a la estructura, comprometiendo no solo a la resistencias de los elementos estructurales (condición de habitabilidad), sino también reduciría el tiempo de servicio de esta.
- ♣ La resistencia a la compresión del concreto se ve comprometida severamente ante la exposición al fuego a periodos de tiempo prolongados, es así que emplear aditivo acelerador de fraguado no provoca una pérdida de resistencia de comportamiento lineal; sino que a partir de periodos de tiempo mayores a dos horas presentan una pérdida de resistencia exponencial decreciente, donde a la primera hora de exposición se presenta una resistencia del 87.4% de la inicial (sin exposición) presentando una pérdida de resistencia del 12.6%. A la segunda hora de exposición se presenta solo una resistencia del 77.88% de la inicial, presentando una pérdida del 22.12% de la resistencia inicial. A la tercera hora de exposición se ve una pérdida de resistencia de 40.84% puesto que la resistencia alcanzada solo fue un 59.16% de la inicial que no fuera expuesta al fuego, Presentándose fisuras y desprendimiento de concreto a medida del tiempo expuesto. El decrecimiento de la resistencia inicial del concreto ante la exposición prolongada al fuego genera pérdidas de más de la mitad de su resistencia inicial, lo que involucra en la durabilidad y estabilidad tanto del propio elemento como de la estructura en sí.

- ♣ La pérdida de resistencia a flexión de una viga de concreto armado en la cual se empleó aditivo acelerador de fraguado muestra pérdidas de resistencia no tan significativas en las primeras horas; sin embargo la pérdida que presentaría ante un tiempo más prologado de exposición se verían severamente comprometido, la que tuvo una mejor conservación de resistencia a la primera hora de exposición fueron aquellas que no emplearon el aditivo acelerador de fragua, a la primera hora de exposición se presenta una resistencia del 94.04 % de la inicial (sin exposición) presentando una pérdida de resistencia del 3.31%, a la segunda hora de exposición al fuego presenta una resistencia del 91.06% de la inicial presentando una pérdida de resistencia del 9.93% y a la tercera hora de exposición al fuego presenta una resistencia del 83.44% de la inicial presentando una pérdida de resistencia del 15.23%.; mientras que en aquellos en donde se emplearon el aditivo acelerante se obtuvieron las siguientes perdidas: a la primera hora tuvo una pérdida de resistencia del 5.96%, a la segunda hora tuvo una pérdida de resistencia del 8.94% y finalmente a la tercera hora de exposición tuvo una pérdida de resistencia del 16.56% ; la evolución de pérdidas de resistencia a flexión de las vigas para ambos casos (con o sin empleo de aditivo acelerante) es progresiva; no obstante la que presenta un decrecimiento más pronunciado fueron aquellas vigas en las que se empleó el aditivo acelerador de fragua ya que tuvo una pérdida del 16.56%, comprometiéndose no solo la propia resistencia, sino la durabilidad de la estructura. La resistencia a flexión de las vigas de concreto armado en las que se empleó aditivo acelerador de fraguado presentan una pérdida de resistencia exponencial a periodos de tiempo más prolongados; y en comparación a la resistencia de la compresión propia del concreto, de las mismas características, presenta una mejor conservación de resistencia.

## RECOMENDACIONES

A partir de la realización y obtención de resultados en la investigación, se recomienda:

- ♣ Que, el gobierno central debe implementar medidas que regulen y controlen el uso de sustancias ajenas a la composición estándar del concreto, así como brindar toda la información acerca de los pros y contras de emplear estas sustancias en el concreto.
- ♣ Que, tanto el sector público como privado deben de tener en consideración que emplear o hacer uso de sustancias que mejoran algunas características en particular del concreto, como es el caso del aditivo acelerante, pueden hacerlo más vulnerable ante la suscitación de un evento externo como es el caso de un incendio.
- ♣ Que, el cumplir con los cronogramas y plazos de ejecución de las obras es importante; pero no se debe de pasar por alto los posibles riesgos que podría presentar el emplear los aditivos aceleradores de fraguado en la edificación, pues ante el posible suceso de un incendio, la edificación se vería más seriamente afectada a como hubiera sido si no se emplease este aditivo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 339.185, N. (2013). *Metodo de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado*. LIMA - Perú: Indecopi.
- 400.017, N. (2011). *Metodo de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad y los vacios en los agregados*. Lima - Perú: Indecopi.
- 400.021, N. (2002). *Metodo de ensayo normalizado para peso especifico y absorcion de agregado grueso*. Lima - Perú: Indecopi.
- 400.022, N. (2002). *Metodo de ensayo normalizado para peso especifico y absorcion del agregado fino*. Lima - Perú: Indecopi.
- Abanto Castillo, f. (2009). *Tecnologia del Concreto*. Lima - Perú: San Marcos.
- Alvarado, G. (2016). *Estudio del comportamiento del concreto estructural expuesto al fuego*. Ambato - Ecuador: Universidad Técnica De Ambato.
- Anero, M. (2007). *Técnicas de Investigación de Incendios*. Barcelona - España: Universidad Autónoma de Barcelona.
- Anero, M. (2007). *Técnicas de investigación de incendios*. Barcelona - España: Universidad Autónoma de Barcelona.
- Beléndez, T., Neipp, C., & Beléndez, A. (2002). Estudio de la Flexión de una Viga de Material Elástico no Lineal. *Enseño de Física*.
- Borja, M. (2012). *Metodología de la Investigación Científica para Ingenieros*. Chiclayo.
- Briones, G. (1996). *Metodología de la investigación cuantitativa en las Ciencias Sociales*. Bogotá: ARFO Editores.

- CEAC. (15 de Mayo de 2015). *Hormigón armado: Flexión, tracción y compresión*. Recuperado el 21 de Octubre de 2018, de <https://www.ceac.es/blog/>:  
<https://www.ceac.es/blog/hormigon-armado-flexion-traccion-y-compresion>
- Chauca, D. O., & Cruz, M. (2014). Nuevo Chimbote: Universidad Nacional del Santa.
- Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias. (2015). *Manual de Prevención de Incendios*. Costa Rica: Ministerio de Educación Pública.
- Córdova, M. (2003). *Estadística descriptiva e inferencial*. Lima - Perú: Moshera S.R.L.
- Cubides, H. (2008). *Fluencia de Acero*. Recuperado el 23 de Octubre de 2018, de <https://www.academia.edu/>:  
[https://www.academia.edu/17492208/Que\\_es\\_Fluencia\\_de\\_Acero](https://www.academia.edu/17492208/Que_es_Fluencia_de_Acero)
- Demsa. (2017). Seguridad contra Incendios. *Demsa*, 23.
- EDU. (s.f.). *Compresión*. Recuperado el 25 de octubre de 2018, de <https://www.edu.xunta.es/>:  
[https://www.edu.xunta.es/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947489/contido/42\\_compresin.html](https://www.edu.xunta.es/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947489/contido/42_compresin.html)
- EDU. (s.f.). *Flexión*. Recuperado el 25 de Octubre de 2018, de <https://www.edu.xunta.es/espazoAbalar/>:  
[https://www.edu.xunta.es/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947489/contido/43\\_flexin.html](https://www.edu.xunta.es/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947489/contido/43_flexin.html)
- Espino, L., & Gallo, G. (s.f.). *Diseño por flexión de vigas de concreto reforzado*. Recuperado el 22 de Octubre de 2018, de <https://www.academia.edu/>:  
[https://www.academia.edu/4855502/DISE%C3%91O\\_POR\\_FLEXI%C3%93N\\_DE\\_VIGAS\\_DE\\_CONCRETO\\_REFORZADO.\\_Profes](https://www.academia.edu/4855502/DISE%C3%91O_POR_FLEXI%C3%93N_DE_VIGAS_DE_CONCRETO_REFORZADO._Profes)

- Falcon, J. (25 de Octubre de 2013). *Método analítico-sintético*. Recuperado el 20 de Octubre de 2018, de <https://prezi.com/aj7ol61na2bb/metodo-analitico-sintetico/>
- Flores, Y. (2012). *Estudio del comportamiento de estructuras durante un incendio usando como ejemplo el Edificio Emilio pugin UACH Valdivia*. Valdivia - Chile: Universidad Austral de Chile.
- Grant, C., & Drysdale, D. (2014). Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. En C. Grant, *Incendios* (pág. 32). Madrid: Ministerio de Trabajo, Migraciones y Seguridad Social.
- Hernández, N. (2010). *Efecto del fuego sobre la resistencia a compresión de un elemento de concreto de resistencia de diseño de 210 kg/cm<sup>2</sup>*. Valencia - Venezuela: Universidad de Carabobo.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, L. (2010). *Metodología de la Investigación*. México D.F.: MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES.
- Huincho, M. (2017). *Evaluación de la resistencia mecánica del concreto sometido a altas temperaturas por incidencia del fuego directo*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Ingenierocivilinfo. (Octubre de 2010). *Propiedades del acero*. Obtenido de Ingeniería Civil: <http://www.ingenierocivilinfo.com/2010/10/propiedades-del-acero.html>
- Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud. (2014). *La prevención de riesgos en los lugares de trabajo*. España: ISTAS. Recuperado el 20 de Octubre de 2018
- Llamas, L. d. (2015). *Física II*. Mexico.
- Maletta, H. (2009). *Epistemología Aplicada: Metodología y técnica de la producción científica*. Lima: Biblioteca Nacional del Perú.

Maya, E. (2014). *Métodos y técnicas de investigación*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Mesen, C. (2015). *Manuel de Prevencion de Incendios*. Costa Rica: Vallardes II edicion.

Mestanza, J. (2016). *Análisis comparativo de la resistencia a compresión del concreto con adición de fibras de polipropileno sometido a ambientes severos: altas, bajas temperaturas y ambientes salinos*. Ambato - Ecuador: Universidad Tecnica de Ambato.

Ministerio del Interior y Seguridad Pública. (2014). Incendios Estructurales. *ONEMI*, 2.

National Ready Mixed Concrete Association . (2010). Resistencia a Flexión del concreto. *El concreto en la práctica*, 2.

National Ready Mixed Concrete Association. (2010). Hormigon en concreto en la practica. *National Ready Mixed Concrete Association*, 2.

National Ready Mixed Concrete Association. (2010). Prueba de resistencia a la compresión del concreto. *Concreto en la práctica*, 2.

Niño, V. M. (2011). *Metodología de la Investigación*. Bogotá: Ediciones de la U.

Ñaupá, W. (2017). *Evaluación del comportamiento a la flexión de vigas de concreto reforzados con mortero sin contracción*. Huánuco: Universidad Hermilio Valdizan de Huánuco.

Perú21. (08 de Mayo de 2018). *Bomberos han atendido más de 4,000 incendios en lo que va del año*. Obtenido de <https://peru21.pe/peru:https://peru21.pe/peru/bomberos-han-atendido-4-000-incendios-ano-video-406331>

Pino, R. (2006). *Metodología de la Investigacion*. Lima - Perú: San Marcos.

Poder Judicial de la Ciudad de México. (2017). *Incendios*. Recuperado el 20 de Octubre de 2018, de [http://www.poderjudicialcdmx.gob.mx/proteccion\\_civil/](http://www.poderjudicialcdmx.gob.mx/proteccion_civil/): [http://www.poderjudicialcdmx.gob.mx/proteccion\\_civil/incendio/](http://www.poderjudicialcdmx.gob.mx/proteccion_civil/incendio/)

Rivera, G. (2012). *Tecnología del Concreto*. Cauca - Colombia: Universidad de Cauca.

Rivva, E. (1992). *Tecnología del Concreto*. Lima - Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.

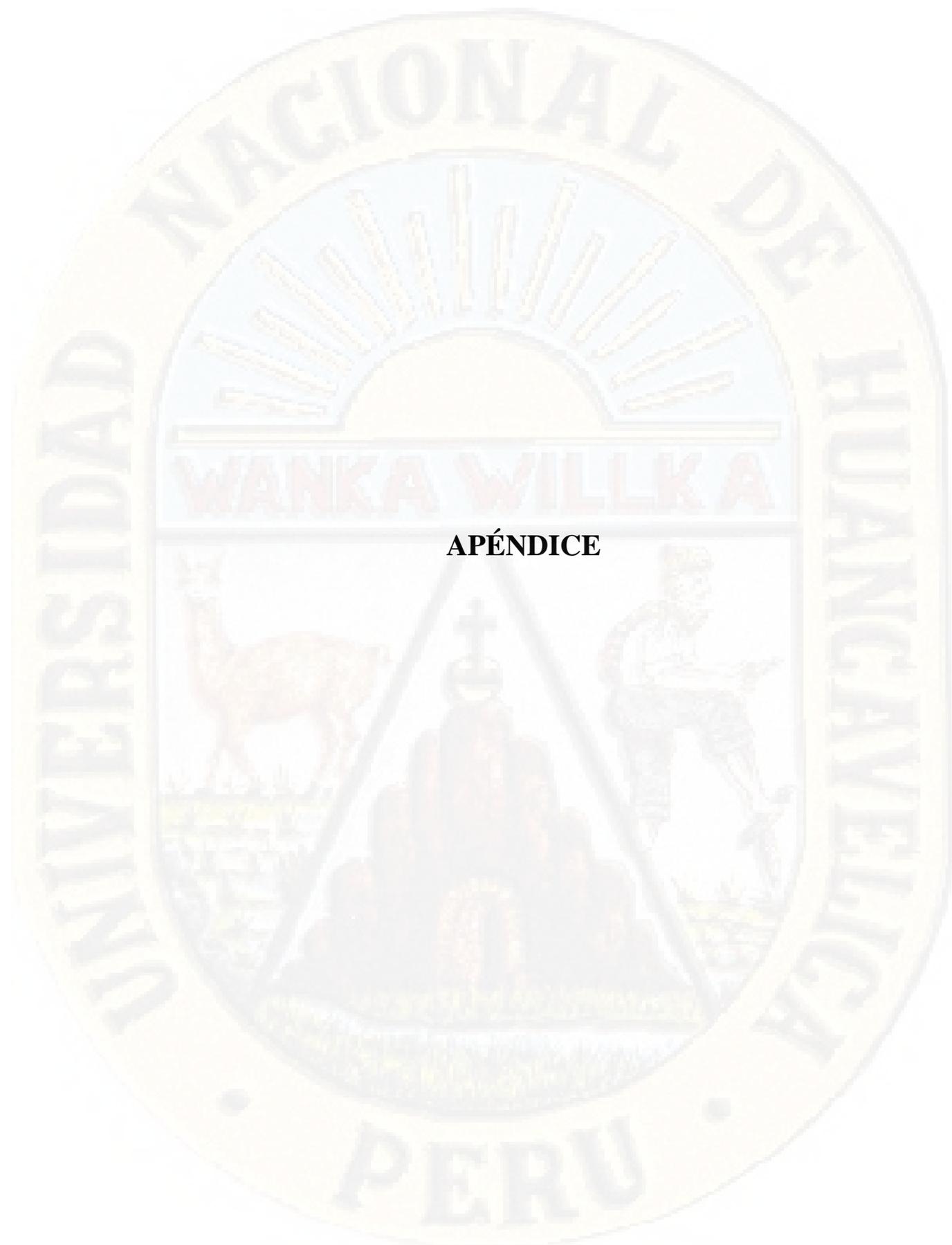
Sanchez, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Bogotá - Colombia: Bhandar.

Torres, A. (2004). *Curso Básico de Tecnología del Concreto*. Lima - Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.

Ureña, M. E., & Alvarado, G. J. (2018). Effect of exposure time to fire in flexural strength of reinforced concrete beams. *Revista Gaceta Técnica*, 13.

Valderrama, S. (2002). *Pasos para elaborar proyectos de investigación científica*. Lima, Perú: San Marcos.

Young, H. (2009). *Física Universitaria*. Mexico: Pearson Educación.



**APÉNDICE**

## Apéndice 1: Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA	MUESTRA	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p><b>Problema general:</b> ¿De qué manera influye la exposición al fuego en el comportamiento flexural de vigas de concreto armado con aditivos acelerantes?</p> <p><b>Problemas específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>¿De qué manera se ve afectado la resistencia a compresión del concreto de las vigas con aditivos acelerantes por la exposición al fuego?</li> <li>¿De qué manera se ve afectado la resistencia a flexión de vigas de concreto armado con aditivos acelerantes por la exposición al fuego?</li> </ul>	<p><b>Objetivo general:</b> Determinar de qué manera influye la exposición al fuego en el comportamiento flexural de vigas de concreto armado con aditivos acelerantes</p> <p><b>Objetivos específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Determinar de qué manera se ve afectado la resistencia a compresión del concreto de las vigas con aditivos acelerantes por la exposición al fuego</li> <li>Determinar de qué manera se ve afectado la resistencia a flexión de vigas de concreto armado con aditivos acelerantes por la exposición al fuego</li> </ul>	<p><b>Hipótesis general:</b> La exposición al fuego influye significativamente en el comportamiento flexural de vigas de concreto armado con aditivos acelerantes</p> <p><b>Hipótesis específicas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>La exposición al fuego influye significativamente en la resistencia a compresión del concreto de las vigas con aditivos acelerantes</li> <li>La exposición al fuego influye significativamente en la resistencia a flexión de vigas de concreto armado con aditivos acelerantes</li> </ul>	<p><b>Variables independientes:</b> Exposición al fuego</p> <p><b>Variable dependiente:</b> Comportamiento flexural de las vigas de concreto armado con aditivos acelerantes</p> <p><b>Dimensiones:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Resistencia a compresión</li> <li>Resistencia a flexión</li> </ul>	<p><b>Tipo de investigación:</b> Aplicada</p> <p><b>Nivel de investigación:</b> Explicativa</p> <p><b>Método general:</b> Método científico</p> <p><b>Diseño:</b> Cuasi experimental</p> <p>GE: X O2 GC: --- O1</p> <p>Donde: GE: grupo experimental GC: grupo de control O2: observación grupo experimental, post test O1: observación grupo control, post test</p>	<p><b>Población:</b> La población estará conformada por</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>11 vigas de concreto armado</li> <li>16 probetas de concreto armado</li> </ul> <p><b>Muestra:</b> La población estará conformada por</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>11 vigas de concreto armado</li> <li>16 probetas de concreto armado</li> </ul> <p><b>Muestreo:</b> No probabilístico</p>	<p><b>Técnicas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Observación</li> </ul> <p><b>Instrumentos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Fichas de inspección y observación</li> <li>Fichas de cotejo</li> <li>Máquina de ensayo a flexión</li> <li>Máquina de ensayo a compresión</li> </ul>

## Apéndice 2: Panel fotográfico



Tamizado de agregados (ASTM C 136)



Muestras para contenido de humedad (ASTM C566)



Peso unitario de agregados (ASTM C 29)



Saturación de agregados



Peso específico de agregado grueso (ASTM C127)



Peso específico del agregado fino (ASTM C 127)

## Elaboración de probetas de concreto



Proporciones de material para el mezclado



Aditivo para el mezclado



Moldes para el llenado del concreto



Llenado del concreto al cono de abrams



Cálculo del asentamiento o slump (ASTM C 143)



Llenado del concreto a los moldes (ASTM C 31)



Moldes vaciados de concreto (ASTM C 31)



Curado de las muestras de concreto (ASTM C 31)

## Elaboración de vigas de concreto armado



Armado de las vigas de concreto



Armazones terminados para las vigas de concreto armado

## Quemado de probetas y vigas



Quemado de probetas



Quemado de vigas



Probetas después del quemado



Vigas después del quemado



Medición de la temperatura a la que se expuso la viga



Vigas en el momento del quemado

## Ensayo de compresión de testigos



Muestra antes de ser metida a la máquina de compresión (ASTM C 39)



Muestra sometida a la máquina de compresión (ASTM C 39)



Ensayo de todas las muestras sometidos a compresión (ASTM C 39)



Muestras patrón sometidas a la máquina de compresión (ASTM C 39)

## Ensayos a flexión en vigas



Muestras después del quemado



Muestra sometida a la máquina de flexión (ASTM C 78)



Fallas que se presentaron debido a la aplicación de la carga, en la muestra sometida a fuego (ASTM C 78)



*"Año de la lucha contra la corrupción y la impunidad"*

**EL JEFE DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL HUANCAVELICA, DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA, otorga la presente:**

## **CONSTANCIA**

A: **HUAMAN HUAYRA Samuel y HUAMANI YARANGA Obed Heber**, bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil - Huancavelica, Facultad de Ciencias de Ingeniería, de la Universidad Nacional de Huancavelica, quienes han concluido con el desarrollo los siguientes ensayos en los laboratorios de **GEOTECNIA I, LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO Y LABORATORIO DE ESTRUCTURAS Y ANTISÍSMICA** de la EPICH:

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Análisis granulométrico por tamizado por agregados	02
2	Análisis de peso específico y absorción de agregados	02
3	Análisis de contenido de humedad	02
4	Análisis de peso unitario de agregados	02
5	Ensayo de flexión de vigas	11
6	Compresión digital de testigos de concreto	16
7	Curado de testigos de concreto	16

Durante el periodo de ejecución desde el 18 de febrero al 13 de agosto de 2019, del proyecto de tesis: **"INFLUENCIA DE LA EXPOSICIÓN AL FUEGO EN EL COMPORTAMIENTO FLEXURAL DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO CON ADITIVOS ACELERANTES"**.

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado para fines que estime por conveniente.

Huancavelica, 11 de noviembre de 2019.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL - EPICH  
ÁREA DE PRODUCCIÓN

Msc. Marco Antonio López Barrantes  
JEFE

Nº 014-2019

C. C.  
Archivo  
AP