

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



Una Institución Adventista

Comportamiento del concreto armado tratado superficialmente con pintura intumescente sometido a fuego en la ciudad de Juliaca

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

Por:

Madeleyne Nedin Quispe Mamani

Liz Alicia Quispe Sullca

Asesor:

Ing. Juana Beatriz Aquisé Pari

Juliaca, agosto de 2020

DECLARACIÓN JURADA

DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS

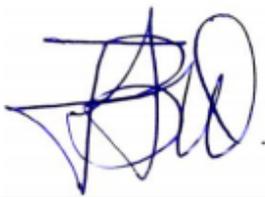
Juana Beatriz Aquisé Pari, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: **“COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ARMADO TRATADO SUPERFICIALMENTE CON PINTURA INTUMESCENTE SOMETIDO A FUEGO EN LA CIUDAD DE JULIACA”** constituye la memoria que presenta las Bachilleres **Madeleyme Nedin Quispe Mamani** y **Liz Alicia Quispe Sullca** para obtener el título de Profesional de Ingeniero Civil, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad de los autores, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca, a los 25 días del mes de marzo del año 2021



Ing Juana Beatriz Aquisé Pari

Asesor



090

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS BACHILLERATO

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiari, a 13 día(s) del mes de agosto del año 2020, siendo las 16:00 horas, se reunieron en el Salón de Grados y Títulos de la Universidad Peruana Unión, Filial Juliaca, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: MSc. Jennin Henry Centurión Jules, el secretario: Mg. Efraim Velazquez Mamani y los demás miembros: Ing. Hersen Duberly Pari Buzi, Ing. William Spaza Perez, y el asesor: Ing. Juana Beatriz Aguirre Pari

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Comportamiento del concreto armado tratado superficialmente con pintura intumescente sometido a fuego en la ciudad de Juliaca"

de el(los)/a(la)(las) bachiller(es): a) Madeleine Nedin Quispe Mamani b) Lic. Alicia Quispe Sulleca conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero Civil (Nombre del Título Profesional)

con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/a(la)(las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): Madeleine Nedin Quispe Mamani

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	15	B-	Bueno	Muy bueno

Candidato (b): Lic. Alicia Quispe Sulleca

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	15	B-	Bueno	Muy bueno

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Signature lines for Presidente, Asesor, Candidato/a (a), Secretario, Miembro, and Candidato/a (b). The Secretario signature is 'Edelm...'.

DEDICATORIA

A mis queridos padres Pedro y Maura por su incondicional apoyo y guía constante, los que son la motivación que me impulsa a seguir y lograr cada meta propuesta.

Atte. Bach. Madeleyne N. Quispe Mamani

Con mucho cariño y amor a Dios y a mis queridos padres Hipólito y Lucía, fuente de inspiración para realizar el presente trabajo de investigación.

Atte. Bach. Liz A. Quispe Sullca

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por ser la luz que guía nuestro camino y por su guía durante el transcurso de la carrera profesional-

A nuestros queridos padres, por ser el pilar fundamental en todo, por su paciencia, por siempre animarnos a seguir adelante y por el gran apoyo brindado durante todo el periodo de nuestra formación profesional.

A nuestra alma mater Universidad Peruana Unión de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, por habernos inculcado en sus aulas a ser un profesional íntegro, misionero e innovadora.

A nuestra asesora Ing. Juana Beatriz Aquisé Pari, quien fue nuestro guía durante el transcurso de la elaboración de la presente tesis, a nuestros jurados Ing. Herson Pari Cusi e Ing. Willian Apaza Pérez, quienes con su experiencia y conocimiento contribuyeron en el desarrollo del presente trabajo.

A todas las personas quienes de alguna manera contribuyeron en la presente investigación.

¡Muchas gracias!

TABLA DE CONTENIDOS

CAPITULO I.....	15
PROBLEMA.....	15
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	16
1.2.1. Problema general	16
1.2.2. Problemas específicos.....	16
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	17
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
1.4.1. Objetivo general	18
1.4.2. Objetivos específicos.....	18
MARCO TEÓRICO	19
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	19
2.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	26
2.2.1. Concreto	26
2.2.2. Concreto armado	26
2.2.3. Tipos de fisuras en vigas de concreto armado.....	31
2.2.4. Control de deflexiones.....	38
2.2.5. Propiedades mecánicas en el concreto armado	38
2.2.6. Incendio.....	42
2.2.7. Concreto expuesto a altas temperaturas por la incidencia del fuego	44
2.2.8. Acero de refuerzo expuesto a altas temperaturas por incidencia del fuego	50
2.2.9. Tiempo estimado de duración de un incendio.....	50
2.2.10. Propagación horizontal y vertical del fuego.....	51
2.2.11. Combustión de excrementos de animales	52
2.2.12. Protección pasiva contra incendios.....	53
2.2.13. Pinturas intumescentes	53
MATERIALES Y MÉTODOS	58

3.1.	METODOLOGÍA Y TIPO DE INVESTIGACIÓN	58
3.1.1.	Metodología de investigación	58
3.1.2.	Tipo de investigación.....	58
3.1.3.	Diseño de la investigación	58
3.2.	FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS	59
3.2.1.	Hipótesis general	59
3.2.2.	Hipótesis específicas.....	59
3.3.	IDENTIFICACIÓN DE LA POBLACIÓN Y TAMAÑO DE MUESTRA	59
3.3.1.	Población.....	59
3.3.2.	Muestra.....	60
3.4.	VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN.....	60
3.4.1.	Variables independientes	60
3.4.2.	Variables dependientes	60
3.5.	DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA Y TEMPORAL.....	61
3.5.1.	Lugar de ejecución.....	61
3.6.	METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO.....	61
3.7.	PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	63
3.7.1.	Agregado para concreto	63
3.7.2.	Ensayos para agregados:.....	64
3.7.3.	Proceso de quemado de las vigas.....	66
3.7.4.	PROCESO CONSTRUCTIVO DE VIGAS	67
3.7.5.	VIGAS SOMETIDAS A INCENDIO SIMULADO.....	71
3.7.6.	Vigas para compresión expuestas al fuego	72
3.7.7.	ENSAYO A FLEXION DE LAS VIGAS	73
	CAPITULO IV.....	75
4.1.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	75
4.1.1.	Evaluación de resultados	75
4.1.2.	EVALUACIÓN DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN.....	80

4.1.3.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	83
4.1.4.	PRUEBA DE HIPOTESIS	90
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	93
5.1.	CONCLUSIONES.....	93
5.2.	RECOMENDACIONES.....	94
	REFERENCIA.....	95

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1. Clasificación de las fisuras	36
Tabla 2. Valores de corrección para la relación longitud/diámetro.....	40
Tabla 3. Resultados de las experiencias con excrementos de vacas.....	52
Tabla 4. Características de la pintura intumesciente	55
Tabla 5. Elaboración de vigas	60
Tabla 6. Codificación de las muestras.....	75
Tabla 7. Resultados del ensayo a compresión simple	76
Tabla 8. Cuadro de resumen de las muestras patrón y las muestras con pintura	77
Tabla 9. Cuadro de las muestras patrón y las muestras con pintura.....	78
Tabla 10. Cuadro de pérdida de resistencia de la muestra patrón, muestra con pintura	78
Tabla 11. Variación de la resistencia a la flexión de las muestras patrón a 30,60 y 90 minutos	80
Tabla 12. Porcentaje de protección de la pintura ante efectos de fuego.....	82
Tabla 13. Porcentaje de protección de la pintura ante efectos de fuego.....	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curvas carga vs deflexión promedio de las vigas con y sin exposición al fuego.	19
Figura 2. Resistencia a la flexión, Decremento de carga y de deflexión a la rotura de las vigas de concreto armado en función de las temperaturas de exposición al fuego alcanzadas.	20
Figura 3. Desconchamiento en vigas de hormigón armado, dejando expuestas las armaduras de acero.	21
Figura 4. Resistencia del concreto a los 28 días, resistencia 210 Kg/cm ² . En condiciones normales.	22
Figura 5. Resistencia del concreto a los 28 días, resistencia 210 Kg/cm ² ; sometido a fuego.	22
Figura 6. Daños en elementos de hormigón después del incendio.	23
Figura 7. Pérdida de resistencia a compresión 28 días.	24
Figura 8. Características de una viga.	28
Figura 9. Variación de los esfuerzos y deformación en el incremento del momento aplicado.	29
Figura 10. Diagrama de momento resistente – curvatura de una sección de la viga sometida a carga uniformemente distribuida.	30
Figura 11. Fisuras producidas por fuerza de corte por tracción diagonal.	32
Figura 12. Agrietamiento de corte en el alma.	32
Figura 13. Fisuras producidas por la fuerza de corte en el caso de cargas concentradas.	33
Figura 13. Fisuras producidas por la fuerza de corte en el caso de cargas concentradas.	29
Figura 14. Fisuras de corte y flexión en vigas de concreto armado.	30
Figura 15. Fisuras en una viga sometida a flexión en la rotura.	31
Figura 16. Criterio para estimar el peralte efectivo.	33
Figura 17. Especificaciones del ensayo a flexión según la Norma ASTM C 293-02.	36
Figura 18. Incremento de la temperatura y causas sobre la resistencia a compresión.	42
Figura 19. Color y daño del concreto estructural.	43
Figura 20. Etapas de los efectos de spalling o desprendimiento del concreto.	44
Figura 21. Pérdida de la adherencia.	45
Figura 22. Daños a la adherencia.	45
Figura 23. Tiempo estimado de duración de un incendio.	46
Figura 24. Reacción de la pintura intumescente frente al fuego.	52
Figura 25. Universidad Peruana Unión.	57
Figura 26. Detalles de la viga de concreto armado.	59
Figura 27. Viga simplemente apoyada.	63
Figura 28. Dobles del estribo.	64
Figura 29. Aceros longitudinales.	64
Figura 30. Encofrado y montaje.	65
Figura 31. Colocado del concreto.	65

Figura 32. Curado de las vigas.....	66
Figura 33. Aplicación de la pintura intumescente.....	67
Figura 34. Viga simplemente apoyada.....	67
Figura 35. Viga simplemente apoyada.....	68
Figura 36. Viga simplemente apoyad.....	69
Figura 37. Viga simplemente apoyada.....	70
Figura 38. Gráfico de resultados del ensayo a compresión de la muestra de diseño versus la muestra patrón.....	72
Figura 39. Comparación de las muestras patrón en porcentaje.....	72
Figura 40. Resumen de muestras patrón y muestras con pintura.....	73
Figura 41. Porcentaje de disminución de la resistencia a la compresión.....	74
Figura 42. Comparación de la muestra de diseño sin exposición al fuego versus las muestras con pintura y muestras. Patrón.....	75
Figura 43. Porcentaje de pérdida de las muestras con pintura y muestras patrón respecto a la muestra de diseño.....	75
Figura 44. Variación del momento último de las muestras patrón.....	77
Figura 45. Variación del momento último de las muestras tratadas superficialmente con pintura intumescente.....	77
Figura 46. Comparación de los resultados de la muestra patrón y la muestra con pintura.....	78
Figura 47. Porcentaje de protección de la pintura intumescente frente al fuego.....	78
Figura 48. Porcentaje de protección de la pintura intumescente frente al fuego.....	78
Figura 49. Daños producidos en las vigas de concreto armado sin pintura intumescente después de los diferentes tiempos de exposición al fuego: a) 30 min, b)60 min, c)90 min.....	84
Figura 50. Daños producidos en las vigas de concreto armado con pintura intumescente después de los diferentes tiempos de exposición al fuego: a) 30 min, b)60 min, c)90 min.....	85
Figura 51. Porcentaje de disminución de la resistencia a la compresión.....	86

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Panel Fotografico.....	97
Anexo B. Ensayos para el Diseño de Mezclas	108
Anexo C. Diseño de Mezclas para la Elaboración del Concreto.....	116
Anexo D. Procesamiento de Datos del Ensayo a Compresión y Flexión.....	121

RESUMEN

El comportamiento estructural de una edificación es importante debido a que proporciona resistencia, rigidez y estabilidad necesarias para evitar que la edificación colapse, sin embargo, hay factores eventuales que alteran este comportamiento estructural como el fuego; este factor puede resultar muy perjudicial debido a los daños a los cuales estará sometido la edificación y los ocupantes que se encuentran en ella. Las estructuras de concreto, al ser expuestas a elevadas temperaturas tienden a perder la estabilidad, ocasionando daños de manera significativa en los elementos estructurales, que estas afectan directamente sus propiedades mecánicas, disminuyendo la resistencia a la compresión y flexión. Sin embargo, se puede disminuir el efecto del fuego con alternativas que puedan disipar estos efectos negativos. De esta manera, la presente investigación estudia los efectos que tiene el fuego frente a estructuras de concreto y evalúa la protección superficial que tiene la pintura intumescente; para ello se elaboraron muestras (vigas) que fueron sometidas a 30, 60 y 90 minutos de exposición al fuego a una temperatura de hasta 550°C. Las propiedades mecánicas que se evaluaron son: la resistencia a compresión y resistencia a flexión, mediante la normativa NTP 339.034, se determinó que la resistencia a compresión disminuye conforme incrementa el tiempo de exposición al fuego, las muestras tratadas superficialmente con pintura intumescente tuvieron un mejor comportamiento respecto de las muestras patrón, presentando resultados mejores hasta en un 10% mayor a los resultados de las muestras patrón MPQSP (Muestra patrón quemada sin pintura). Por otro lado, según la normativa ASTM C293 se determinó la resistencia a flexión y esta disminuye conforme incrementa el tiempo de exposición al fuego, sin embargo, al ser tratadas con pintura intumescente tuvieron un mejor comportamiento respecto a las muestras patrón, presentando resultados mejores hasta en un 7%. Finalmente se observó una disminución considerable de fisuras en las vigas tratadas superficialmente con pintura intumescente; ya que la pintura intumescente posee un compuesto químico llamado melamina que al ser expuesta al fuego forma espumas que esta sirve como aislante térmico entre el concreto y el fuego.

Palabra clave: Pintura intumescente, fuego, temperatura, tiempo de exposición

ABSTRACT

The structural behavior of a building is important because it provides the strength, rigidity and stability necessary to prevent the building from collapsing, however, there are eventual factors that alter this structural behavior such as fire; This factor can be very damaging due to the damage to which the building and the occupants who are in it will be subjected. When exposed to high temperatures, concrete structures tend to lose stability, causing significant damage to structural elements, which directly affect their mechanical properties, reducing resistance to compression and bending. However, the effect of fire can be reduced with alternatives that can dispel these negative effects. In this way, the present investigation studies the effects of fire against concrete structures and assesses the superficial protection that intumescent paint has; For this, samples (beams) were made that were subjected to 30, 60 and 90 minutes of exposure to fire at a temperature of up to 550 ° C. The mechanical properties that were evaluated are: the resistance to compression and resistance to flexion, through the NTP 339.034 standard, it was determined that the resistance to compression decreases as the time of exposure to fire increases, the samples treated superficially with intumescent paint had a better behavior with respect to the standard samples, presenting better results up to 10% greater than the results to the standard samples MPQSP (Burned standard sample without paint). On the other hand, according to the ASTM C293 standard, the flexural resistance was determined and this decreases as the time of exposure to fire increases, however, when treated with intumescent paint, they had a better behavior compared to the standard samples, presenting better results up to by 7%. Finally, a considerable decrease in cracks was observed in the beams superficially treated with intumescent paint; since intumescent paint has a chemical compound called melamine that when exposed to fire forms foams that serve as a thermal insulator between concrete and fire.

Key words: Intumescent paint, fire, temperature, exposure time.

CAPÍTULO I

PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años se produjo incendios presentándose consecuencias catastróficas medido por la gran cantidad de daños materiales en la estructura y la pérdida de vidas humanas, dando a entender así que el fuego es un agente agresor de las estructuras en general y específicamente hablando de las estructuras de concreto armado. El ataque de esta influye en el comportamiento del material concreto y acero, los mismos que tienen comportamientos y reacciones distintas al exponerlos a altas temperaturas.

Según estadísticas de emergencias a nivel nacional, el Cuerpo de Bomberos Voluntarios del Perú, muestra el incremento de incendios que se registran anualmente considerados desde el año 2017 donde se registraron 12,114 incendios, en el 2018 se registraron 12,175 incendios y en el presente año desde enero hasta la fecha se han registrado 3467 incendios solo en Lima, Callao e Ica. Con esta estadística se muestra que el incendio constituye uno de los riesgos más graves donde está sometida las edificaciones y los ocupantes de las mismas, las consecuencias se resumen con la palabra destrucción. En este tipo de emergencias lo más importante es salvaguardar vidas humanas, por lo tanto, la edificación debe conservar su estabilidad y está depende del comportamiento de los elementos estructurales ya que al estar expuestas a elevadas temperaturas pueden causar daños o hasta llegar al colapso de la misma.

Jáquez (2016), menciona que una edificación al estar expuesta al fuego a una temperatura superior a 300°C afecta negativamente al concreto en cuanto a sus propiedades mecánicas como en la resistencia a esfuerzo de flexo compresión; mostrándose así que la resistencia disminuye en un 50% llegado a una temperatura de 700 °C, en donde ésta pone en peligro la capacidad de

carga debido al incremento del grado de calor transferido al acero y la reducción del espesor total del concreto.

En la actualidad en el mercado de la construcción existen insumos varios contra la protección del fuego de los materiales como: retardante de fuego, barniz ignífugo, etc., que exclusivamente se utiliza para la protección de maderas. Por otro lado, siendo el tema de interés la protección del concreto, se requiere buscar otro insumo que pueda mitigar los efectos negativos del fuego, aplicable únicamente al concreto.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿Es posible que la pintura intumescente garantice un mejor comportamiento frente a efectos del fuego haciendo que la resistencia del concreto armado no reduzca a más de un 10%?

1.2.2. Problemas específicos

¿En qué medida varia la resistencia a la compresión en vigas de concreto armado al ser tratada superficialmente con pintura intumescente en un tiempo de exposición al fuego a 30, 60 y 90 minutos?

¿Cómo varia la resistencia a la flexión del concreto y la deflexión en vigas de concreto armado al ser tratadas superficialmente con pintura intumescente en un tiempo de exposición al fuego a 30, 60 y 90 minutos?

¿Cuál es la influencia de la pintura intumescente en la fisuración y en el cambio de color en vigas de concreto armado?

1.3. JUSTIFICACIÓN

Las edificaciones como oficinas están expuestas a riesgos de sufrir un incendio a lo largo de su vida de servicio, ya que el fuego afecta negativamente en una estructura de hormigón de dos maneras; como en la pérdida de las propiedades mecánicas y el denominado efecto spalling o desconchamiento del hormigón.

A sí mismo en la actualidad del siglo 21, con aproximadamente 6.3 millones de habitantes en el planeta, el Centro de Estadísticas de Incendios indica que; se provoca de 7 a 8 millones de incendios originando 70.000 a 80.000 muertes y 500.000 a 800.000 heridos. Y que el 90% por incendios son imputadas a incendios en edificios (CTIF, 2006). Por lo tanto, se mostró que los incendios tienen pérdidas significativas de vidas humanas debido a que en las edificaciones dónde se encontraban las personas colapsaron y no les dieron tiempo para poder salir del siniestro.

El aporte de la presente investigación es disipar los efectos negativos del fuego con pintura intumescente, siendo su principal característica tener propiedades intumescentes y según las especificaciones técnicas de la misma, puede llegar a resistir a altas temperaturas hasta por un periodo de tiempo máximo de 120 minutos. Por esa razón la presente investigación se enfatizará en el estudio de una alternativa de mitigación ante efectos del fuego con una pintura intumescente, que al protegerle superficialmente el elemento estructural de concreto armado reduce la pérdida de resistencia en sus propiedades mecánicas (resistencia a la compresión y flexión).

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general

Determinar el comportamiento del concreto armado sometido a fuego tratado superficialmente con pintura intumescente

1.4.2. Objetivos específicos

Determinar la variación de la resistencia a la compresión en vigas de concreto armado al ser tratadas superficialmente con pintura intumescente en un tiempo de exposición al fuego a 30, 60 y 90 minutos.

Evaluar la variación de la resistencia a la flexión del concreto y la deflexión en vigas de concreto armado al ser tratadas superficialmente con pintura intumescente en un tiempo de exposición al fuego a 30, 60 y 90 minutos.

Identificar la influencia de la pintura intumescente en la fisuración y en el cambio de color en vigas de concreto armado.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Aguirre (2018), menciona que la resistencia a la flexión y la carga máxima tienden a disminuir drásticamente a medida que aumenta la temperatura, a consecuencia de ello fallas estructurales indeseables. Cuando las vigas alcanzan los 900 °C desciende aproximadamente un 50% y cuando las vigas son expuestas a fuego en una hora alcanzan una temperatura de 800 °C, a las dos horas 950 °C y a las tres horas la temperatura se eleva a 1050 °C llegando a si a una conclusión de que por cada hora de exposición al fuego la resistencia disminuye alrededor del 30%; así mismo la presencia de fisuras fueron tornando cada vez más graves y de mayor espesor conforme la temperatura aumenta. En la Figura 1 la curva promedio de las vigas con exposición al fuego de T.E=0 min se diferencia claramente las demás deflexiones. En la figura 2 se muestra una gráfica de los resultados obtenidos en función de la temperatura de exposición al fuego.

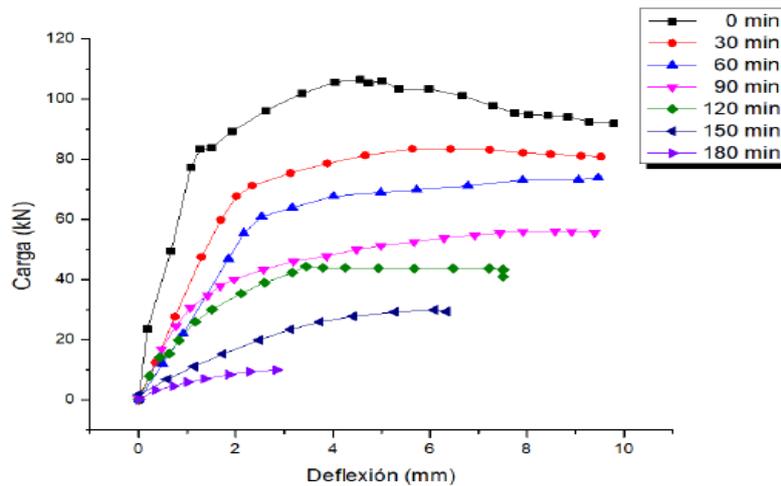


Figura 1. Curvas carga vs deflexión promedio de las vigas con y sin exposición al fuego.

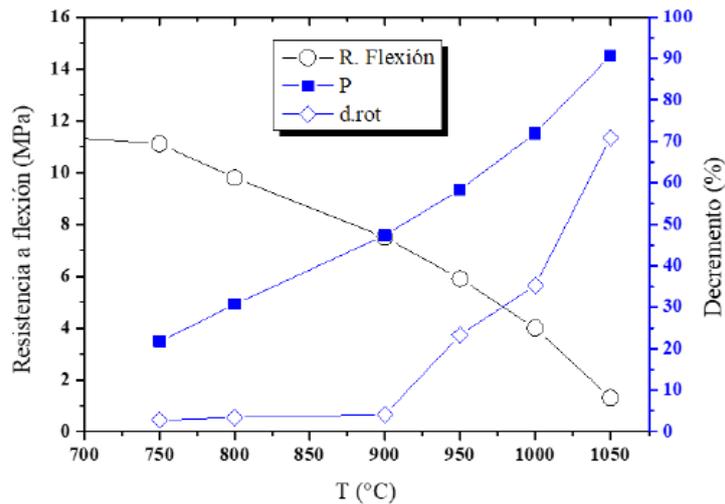


Figura 2. Resistencia a la flexión, Decremento de carga y de deflexión a la rotura de las vigas de concreto armado en función de las temperaturas de exposición al fuego alcanzadas.

Casali (2007), realizó una investigación de la resistencia a la compresión y determinación de propiedades estructurales a partir de ensayos destructivos, utilizaron el método de ensayo a compresión con diamantina a través de especímenes de las briquetas, para poder determinar con precisión los módulos de elasticidad, según la relación agua/cemento y el tipo de cemento. Al poder realizar el ensayo con diamantina llegan a la conclusión de que la prueba destructiva (ensayo de diamantina) es confiable ya que el rango de confiabilidad es aceptable.

Pereira y otros (2018), realizaron un estudio sobre Evaluación de la resistencia mecánica de vigas en hormigón armado después del incendio; en donde indican que las altas temperaturas alcanzadas en el incendio, provocan fenómenos físicos y mecánicos que resultan en la reducción de las propiedades mecánicas; es decir en la resistencia a la compresión, tracción y módulo de elasticidad de los materiales constituyentes acero y concreto. La elevación de la temperatura en el acero provoca una reducción en su resistencia, ya que al llegar a una temperatura de 720 °C impide parcialmente la recuperación de la resistencia.

Jáquez (2016), en su artículo de investigación sobre efectos del fuego en estructuras de hormigón alude que, cada parte de la estructura tendrá una función distinta durante un fuego,

según su tipo y posición. A si mismo resalta que el elemento más afectado será la viga ya que la propagación o el efecto spalling se incrementa rápidamente en las vigas, produciendo desconchamiento en donde esta pone en peligro la capacidad de carga debido al incremento del grado de calor transferido al acero y a la reducción del espesor total del hormigón.



Figura 3. Desconchamiento en vigas de hormigón armado, dejando expuestas las armaduras de acero.

Hernández (2010) en su investigación de efecto del fuego sobre la resistencia a compresión de un elemento de concreto de resistencia de diseño de 210 kg/cm^2 , menciona que al realizar el ensayo a compresión se llegó a los siguientes resultados: Para los cilindros sometidos a fuego con resistencia de diseño de 210 kg/cm^2 , a los 28 días, disminuyen su resistencia $45,52 \text{ kg/cm}^2$, es decir un 19,98% disminuyendo su capacidad portante con respecto a los cilindros en condiciones normales. A si mismo alude que la cualidad del concreto es limitada y se conserva dependiendo a varios factores entre los cuales es decisivo el grado de exposición al fuego, como son: temperatura, tiempo de exposición y cambio de temperatura.

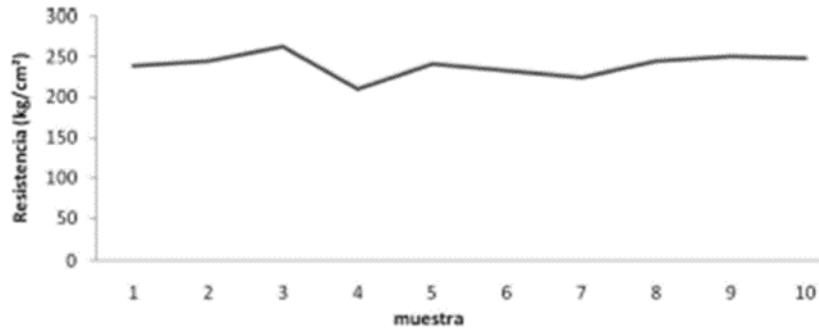


Figura 4. Resistencia del concreto a los 28 días, resistencia 210 Kg/cm2. En condiciones normales

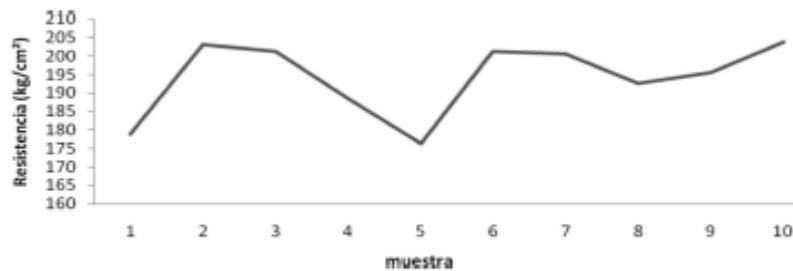


Figura 5. Resistencia del concreto a los 28 días, resistencia 210 Kg/cm2; sometido a fuego.

Alonso y Laguna (2013), determinaron la profundidad de daño en estructuras de hormigón post - incendio con las técnicas de tipo DT(destructivas) y NDT(no destructivas). Para su estudio consideraron tres tipologías de estructuras afectadas por incendios de diferente intensidad los cuales son: edificio subterráneo de tres sótanos, la Torre de Windsor de Madrid y la estructura del túnel. La característica más relevante de estas estructuras fue la del análisis de inspección in-situ visual, en donde indican que, si es de color amarillento y marrón rojizo ha estado expuesto una temperatura superior a los 800 °C., si es de color marrón-rojo o negro, es típico de corrosión inducida a altas temperatura mayor a 500 °C. Asimismo en la **Figura 6**; indican las diferentes tipologías de daños; a) el fuego se inició en el primer sótano y llegó a los sótanos segundo y terceros, y la duración de fuego en el sótano tercero se extendió hasta 48 horas. b) La torre Windsor de Madrid era un edificio que albergaba oficinas de más 100m de altura de 37 plantas, el incendio comenzó en el piso 21 y llegó a afectar todo el edificio por

encima de piso 4, y la duración de incendio fue de 18 horas. c) La estructura del túnel constaba con un techo de hormigón armado y estaba recubierto con una pintura no reflectante; el fuego se inició debido a la combustión de la cabina de un camión y duro 20 a 30 minutos.



Figura 6. Daños en elementos de hormigón después del incendio.

Orjuela y López (2018), evalúan y diagnostican la resistencia a compresión y a flexión del concreto simple expuesto a 450 °C, concreto simple en condiciones normales, concreto luego de ser expuesto a una temperatura promedio de 450 °C y concreto expuesto a la misma temperatura, pero con un aditivo reductor de agua; así mismo se preparó la mezcla de concreto con una proporción (1:2:2). Una vez expuesta a fuego se comparan las características físicas superficiales de probetas de concreto simple en condiciones normales y las probetas expuestas a fuego a 450 °C, a los 7,14, 28 días de curado. Por último llegaron a la conclusión de que al realizar el ensayo de compresión de probetas expuestas a fuego, la resistencia está en función

a la temperatura y el tiempo de exposición de cada uno de los elementos de concreto que son sometidos; así mismo las probetas expuestas a fuego presentan cambios físicos y alteraciones en la resistencia del material, donde para la temperatura evaluada se obtuvo cambios de color entre rosado y amarillo; logrando obtener una reducción del 27% de la resistencia a compresión a los 28 días.

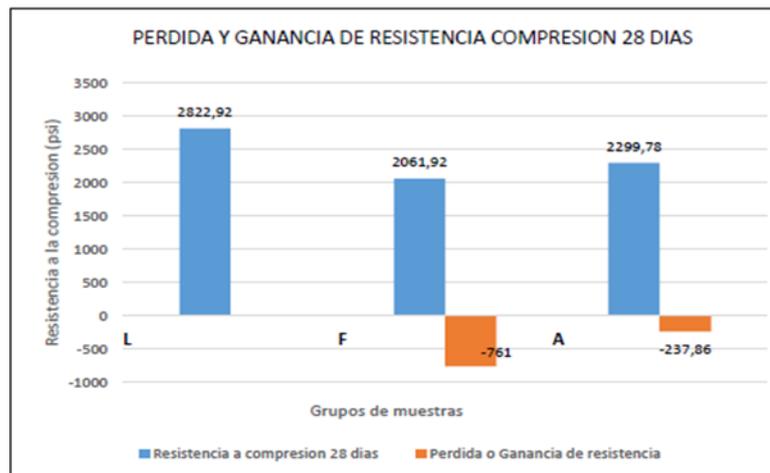


Figura 7. Perdida de resistencia a compresión 28 días.

Rodríguez y Pérez (2012), realizaron un estudio de caso sobre la degradación del hormigón armada sometido a altas temperaturas durante un incendio, al realizar los ensayos mencionan que, el hormigón tuvo un descenso de resistencia a la compresión en función de la temperatura en los puntos donde se extrajo el testigo. En las zonas donde el fuego alcanzó su mayor intensidad el hormigón redujo su resistencia en un 50% en comparación a las zonas no experimentadas. Este descenso de su resistencia corresponde generalmente a un hormigón expuesto a una temperatura entre 500 y 600 °C. Sin embargo, en las zonas donde el incendio alcanzo a menor intensidad la resistencia del hormigón solo bajo a un 20% y este descenso de resistencia corresponde a un hormigón expuesto a temperaturas entre 300 y 400 °C. Cuando baja la resistencia del hormigón también depende de las características físico químico de los materiales que lo componen como: cemento, agua, agregados.

López y otros (2014), realizaron un estudio acerca de la pintura intumescente, en donde dice que la utilización de pinturas intumescentes en el caso eventual de un incendio retarda la acción destructora del mismo, pudiendo a si asegurar la estabilidad al fuego exigible a una determinada estructura en función del tipo de edificio. Su efectividad se basa en el hecho de que al entrar en contacto con la llama reaccionan hinchándose y formando una capa aislante que se denomina intumescencia y que impide la propagación del calor. Así mismo da a conocer que las pinturas intumescentes contienen 4 componentes básicos independientes como: Aglomerante, catalizador, compuesto firmador de residuo carbonoso, agente espumógeno.

Romero (2015), en su estudio sostiene que la intumescencia consiste en un conjunto de reacciones químicas capaces de provocar un incremento del espesor del material, de manera que, en caso de incendio el material intumescente desarrolla un importante volumen de espuma carbonosa aislante (de hasta entre 20 y 30 veces su espesor original) que evita que la temperatura afecte al elemento protegido. Asimismo da a conocer mediante un ejemplo; que un producto intumescente son las pinturas protectoras de estructuras de acero. El acero pierde su resistencia estructural alrededor de los 500°C, pero una pintura intumescente correctamente formulada y aplicada puede ser capaz de mantener la temperatura del acero por debajo de esa temperatura durante 120 minutos.

Pereyra, Canosa y Giudice (2010), sostienen que el acero al ser tratadas con pinturas intumescentes disminuyen sensiblemente sus propiedades mecánicas conforme a la evaluación de la temperatura. Ya que el hierro y los metales son considerados totalmente inmunes a la acción del fuego. Al finalizar la investigación llegaron a la conclusión de que la pintura intumescente tiene una buena resistencia frente a los efectos del fuego.

2.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.2.1. Concreto

El concreto (hormigón) es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesta de cemento portland y agua, une los agregados, normalmente arena y grava (piedra triturada piedra machacada pedrejón), creando una masa similar a una roca. Esto ocurre por el endurecimiento de la pasta en consecuencia de la reacción química del cemento con el agua. Kosmatka et al (2004).

2.2.2. Concreto armado

“Se denomina así al concreto simple reforzado con armaduras metálicas que absorben generalmente los esfuerzos de tracción que el concreto sólo no podría resistir y, también para incrementar en algunos casos los esfuerzos de compresión del concreto” (Cachay, 2003, p.2).

La importancia del concreto armado es debido a la adaptabilidad que está tiene al adecuarse a cualquier forma, debido a que las formas son gracias al acero de refuerzo y al estado plástico del concreto, por otra parte, económicamente es aceptable debido al bajo costo, relevando así su importancia.

La construcción de una edificación esta comprendida de elementos estructurales siendo éstos en la superestructura como columna, vigas y losas. Estos elementos estructurales deben ser seguros, ya que de estos depende la estabilidad de la estructura.

a) Importancia de la viga como elemento estructural

La viga es un elemento estructural importante en la construcción de edificaciones ya sea del material del cual fuere elaborado, la medida de las secciones de este elemento estructural es según el tipo, la calidad y el fin de la construcción.

La importancia que recae en este elemento estructural es debido a que cumple la función de resistir cargas puntuales, distribuidas (cargas como las losas y sobre las que la losa tiene) en una sola dirección que se colocan sobre ellas. La viga de concreto armado soportan cargas de compresión y esfuerzos de flexión que son absorbidas por las varillas de acero, este elemento estructural también soporta esfuerzos cortantes en los extremos o las caras interiores de las columnas.

2.2.2.1. Viga como elemento estructural

Las vigas como elemento estructural presentan definiciones como:

- Son estructuras unidimensionales, debido a que las vigas están en línea recta, y simétrica respecto al plano de la carga (XZ), la sección y sus propiedades constantes.
- Se encuentran sustentadas en uno o más punto, la sustentación puede ser un apoyo o que se encuentre empotrada.
- Este elemento estructural se encuentra cargado con fuerzas perpendiculares a su eje los cuales pueden ser cargas distribuidas o puntuales.
- La viga es una estructura elástica lineal y que las deformaciones que pueden presentarse son pequeñas, comparadas con las dimensiones de la viga que se va a construir.

Teniendo las condiciones mencionadas, las vigas tienen comportamiento inelástico lineal, y son estructuras planas, las deformaciones que surgen son perpendiculares a su eje siendo éstas más pequeñas que la sección de la viga.

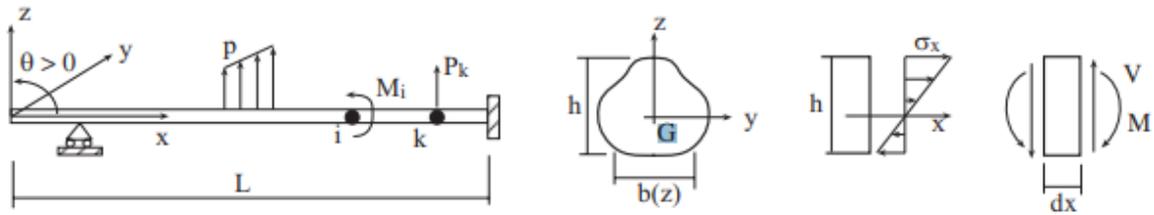


Figura 8. Características de una viga.

2.2.2.2. Comportamiento de una viga sometida a flexión

Sarmiento (2016) “Son frecuentes los elementos estructurales sujetos a flexión como vigas que trabajan en una sola dirección. Sabemos que usualmente la flexión viene acompañada de una fuerza cortante.”

La viga de sección cuadrada y simplemente apoyada cuenta con refuerzo en la parte inferior y superior dando así forma para la colocación de los estribos, los aceros están sometidos a una carga puntual en la parte central, donde se genera un diagrama de momento flector a lo largo del elemento, en la parte superior de la viga que se encuentra en contacto con la carga actúa a compresión y en la parte inferior a tracción.

A medida que se le aplique más carga se produce una falla por flexión, en la parte central de la viga, en este aspecto la fuerza cortante llega a ser nula dando lugar a explicar las siguientes etapas:

- **Primera etapa:** Las cargas externas que se le aplican son pequeñas donde estas cargas que conllevan a esfuerzos de compresión y tracción no exceden a la resistencia del concreto o momento máximo. En esta etapa no se presentan fisuras. La distribución de esfuerzos en la sección se muestra en la siguiente figura:

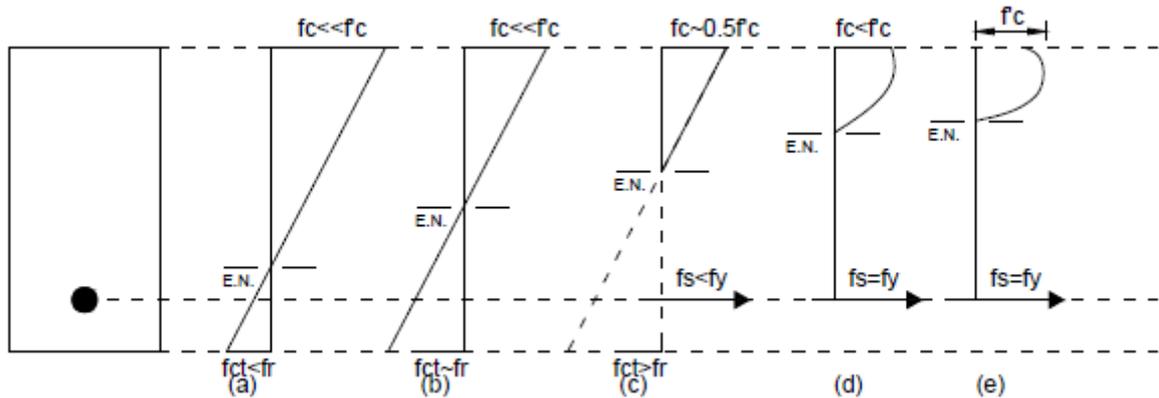


Figura 9. Variación de los esfuerzos y deformación en el incremento del momento aplicado.

- **Segunda etapa:** Aumentando la carga aplicada, tenderá a presentarse pequeñas fisuras que serán absorbidas por el acero de refuerzo, por otra parte, los esfuerzos de compresión serán absorbidos por el concreto, explicando así que la viga de concreto armado trabajan homogéneamente, con esto se puede explicar que los esfuerzos están relacionados a través de la relación modular, n .

$$f_s = n f_t$$

Donde:

f_s : Esfuerzo en el acero.

f_t : Esfuerzo en el concreto.

- **Tercera etapa:** Es en esta etapa donde alcanza el momento crítico, M_{cr} , donde se producen las primeras fisuras al centro de la viga las cuales apuntan al eje neutro, sin embargo, este eje neutro asciende conforme la carga aumenta como se aprecia en la figura 2 (c). “El concreto al agrietarse no resiste a los esfuerzos a tracción y este es absorbido por el refuerzo. La sección es menos rígida debido a que disminuye su momento de inercia. Los esfuerzos en el concreto llegan hasta $0.5 f_c$ conforme

aumenta la carga. Las fisuras empiecen a ensancharse conforme la carga aplicada aumenta, pero si esta última se retira, las fisuras se cerraron. Cabe destacar que, si vuelve a cargar la viga ya antes fisurada, éstas fisuras aparecerán rápidamente”

- **Cuarto etapa:** Finalmente el refuerzo alcanza su esfuerzo de fluencia, sin embargo, el concreto no llega a su máxima resistencia a la compresión máxima. Los esfuerzos que se dan en el concreto son de forma parabólica que se puede observar en la figura 2 (d) la deflexión se incrementa rápidamente y las rajaduras se ensanchan. Conforme se aumente la carga aplicada, el acero entra a su fase de endurecimiento por deformación y finalmente el concreto fallará por aplastamiento.

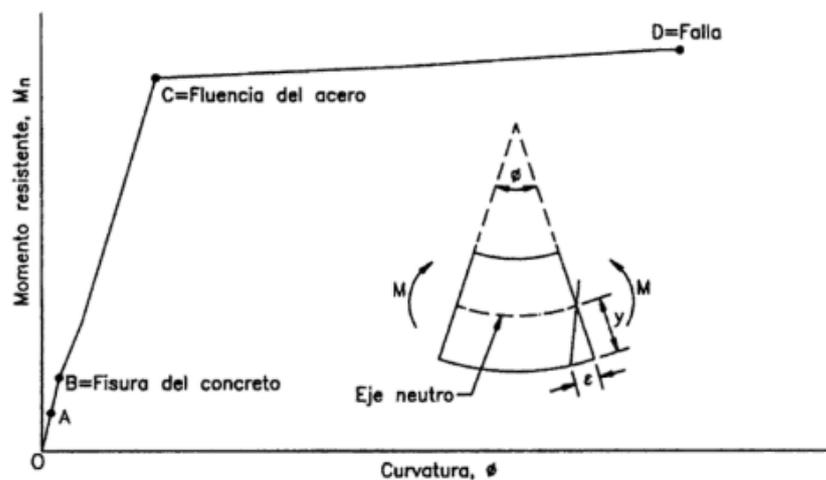


Figura 10. Diagrama de momento resistente – curvatura de una sección de la viga sometida a carga uniformemente distribuida.

2.2.2.3. Tipos de falla de los elementos sometidos a flexión

Los elementos sometidos a flexión casi siempre fallan a compresión de concreto, sin embargo, el concreto puede fallar antes o después de que el acero fluya. La naturaleza de la falla es determinada por la cuantía de refuerzo y es de tres tipos:

- **Falla por tensión:** Es la correspondiente a la viga analizada en la figura 2. El acero fluye y el elemento estructural exhibe una falla dúctil. Se aprecian grandes deflexiones y fisuras antes del colapso lo cual alerta a los usuarios acerca del peligro inminente. Estas secciones son llamadas sub reforzadas.
- **Falla por compresión:** El acero no tiene la oportunidad de fluir y el concreto falla repentinamente. Estas secciones son llamadas sobre reforzadas. La resistencia de una sección sobre reforzada es mayor que la de otra sub reforzada de dimensiones similares. Sin embargo, la primera no tiene comportamiento dúctil y el tipo de colapso no es conveniente. Forma de evitar esta falla es en el diseño.
- **Falla balanceada:** se produce cuando el concreto alcanza la deformación unitaria última de 0.003 simultáneamente al inicio de la fluencia del acero. La falla es frágil y no deseada.

2.2.3. Tipos de fisuras en vigas de concreto armado

2.2.3.1. *Fisuras de fuerza de corte por tracción diagonal*

Las principales características de este tipo de fisuras (figura 11, figura 12), es que se presentan con una inclinación de unos 45° con la directriz de la pieza si en la zona no hay un momento flector apreciable. Si lo hay, el ángulo puede ser mayor. Son fisuras de ancho variable, mayor a nivel del acero de refuerzo de tracción. Generalmente la fisura se cierra al llegar a la cabeza comprimida, y frecuentemente se presentan varias fisuras paralelas, pero con separación apreciable. Las causas de este tipo de fisura inclinada, es la excesiva tracción (diagonal) en el concreto (Exeni, 2011).

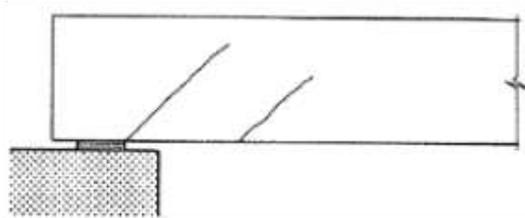


Figura 11. Fisuras producidas por fuerza de corte por tracción diagonal.

La formación de estas grietas, se suele llamar “de cortante en el alma”, puede ocurrir cuando el esfuerzo de tensión diagonal en las proximidades del eje neutro, alcanza valores similares al de la resistencia a la tensión del concreto. Las grietas de cortante en el alma se presentan en especial cerca de los apoyos de vigas de gran altura y alma delgada, o en los puntos de inflexión de vigas continuas.



Figura 12. Agrietamiento de corte en el alma.

Las grietas inclinadas pueden desarrollarse en las almas de vigas de concreto reforzado, ya sea como extensión de las grietas de flexión o bien ocasionalmente como grietas independientes. Conforme una grieta se desplaza hacia el eje neutro, habrá una menor cantidad de concreto disponible para resistir la fuerza de corte, esto es, los esfuerzos cortantes aumentarán su valor en el concreto arriba de la grieta. Hay que recordar que, en el eje neutro, los esfuerzos de flexión son nulos y los esfuerzos cortantes alcanzan valores máximos. Por lo que serán los esfuerzos cortantes quienes determinen lo que pasa con las grietas en esa zona. (Exeni, 2011).

2.2.3.2. *Fisuras causadas por cargas concentradas*

Las principales características de este tipo de fisura, es que arranca a 45° con la directriz, a nivel de la armadura de tracción y luego se inclina más dirigiéndose hacia la carga concentrada. Su ancho máximo es variable a nivel de la armadura de tracción, que se va reduciendo hasta anularse al llegar a la cabeza comprimida. Las causas de este tipo de grietas, es la excesiva tracción diagonal mezclada con el efecto local de la transmisión de la carga puntual (concentración de esfuerzos) (Exeni, 2011).

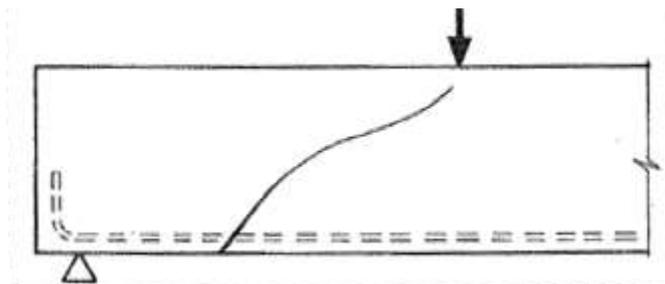


Figura 13. Fisuras producidas por la fuerza de corte en el caso de cargas concentradas

2.2.3.3. *Fisuras por cortante*

Ocurren cuando el elemento no tiene suficiente armadura transversal para absorber las tensiones de tracción producidas por una carga. Aparecen repentinamente, mientras menos armadura transversal posee el elemento más rápido será su ocurrencia. Por lo general forman inclinaciones entre 45° y 75° grados desde el apoyo, curvándose hacia la zona de aplicación de la carga. Son de ancho variable y pueden presentarse varias paralelas entre sí.

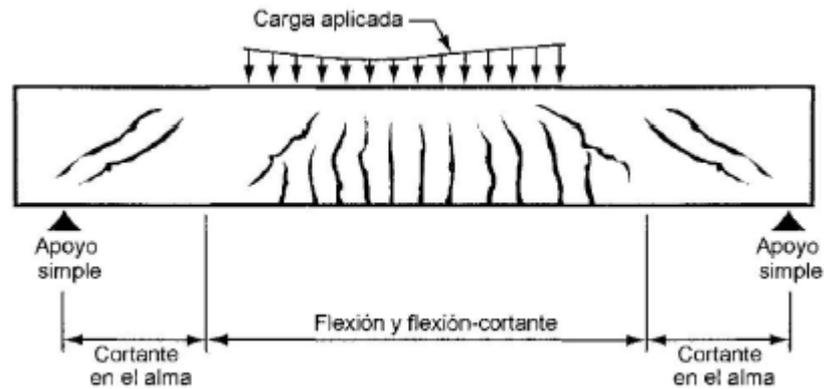


Figura 14. Fisuras de corte.

Para una viga bien dimensionada y reforzada, las grietas de tensión por flexión son las que aparecen primero. Su ancho y longitud están bien controlados, gracias a la presencia del acero de refuerzo longitudinal. Pero cuando el esfuerzo de tensión diagonal en la parte superior de una o más de estas grietas excede la resistencia a la tensión del concreto, la grieta se inclina hacia una dirección diagonal y continúa abriéndose y alargándose (figura 13). Estas grietas se conocen con el nombre de “grietas de corte y flexión” y son más comunes que las grietas de cortante en el alma (Exeni, 2011).



Figura15. Fisuras de corte y flexión en vigas de concreto armado.

2.2.3.4. Fisuras por flexión

Una viga de concreto reforzado, al someterla a una carga uniforme, cuyo valor se incrementa paulatinamente hasta llegar a la rotura, y además se la haya diseñado para que el tipo de falla sea dúctil, presentará fisuras de ancho variable en gran número, cerrándose al llegar a la cabeza comprimida. Al crecer la carga, aumentará el número de fisuras hasta un momento en que ya

no se producen más de ellas, sino que aumenta el ancho de las ya existentes, en ese instante se ha llegado a una fisuración estabilizada. (Exeni, 2011).

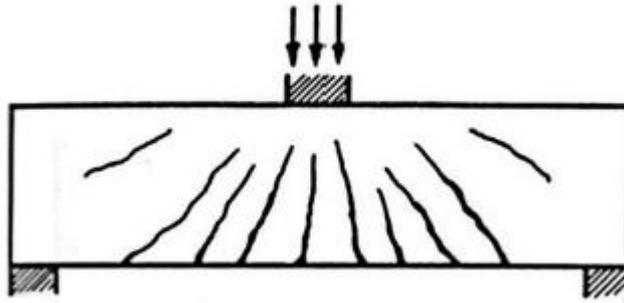


Figura16. Fisuras en una viga sometida a flexión en la rotura

La rotura se produce visualmente en la zona comprimida del concreto (zona sombreada de la figura 15), pero realmente la causa es el agotamiento del acero de refuerzo que ha llegado a la fluencia. Para que se produzca este tipo de rotura, es crucial que la cuantía de refuerzo, garantice que el acero llegue a la fluencia antes que el concreto falle por rotura frágil (Exeni, 2011).

A. Clasificación de las fisuras en hormigón armado

- Micro fisuras: su espesor es inferior a 0,05 mm (no se aprecian a simple vista) y generalmente no suelen tener gran importancia.
- Fisuras: su espesor está entre 0,1 mm y 0,2 mm y las podemos percibir de forma visual. Generalmente a estas fisuras no se las considera peligrosas, pero si debemos tener en cuenta que pueden ser causa de alguna patología que termine afectando en mayor grado al elemento de hormigón. Debemos prestar especial atención a estas fisuras en ambientes agresivos, ya que pueden causar la corrosión de las armaduras.

- Macro fisuras: su espesor es mayor 0,2 mm Cuando nos encontramos un elemento de hormigón armado con macro fisuras habrá que tomar medidas, ya que pueden suponer un riesgo para la estabilidad de las estructuras.

Tabla 1

Clasificación de las fisuras

Ítem	Clasificación	Descripción
1	Micro fisuras: $e < 0.05$ mm	En general carecen de importancia
2	Fisuras: $0,1 < e < 0.2$ mm	En general son pocos peligrosos, salvo en ambientes agresivos, en los que pueden favorecer la corrosión
3	Macro fisuras $0.2 < e > 0.4$ mm	Estas son las fisuraciones que pueden tener repercusiones estructurales de importancia.
4	Grietas: $0.4 < \text{ancho} < 1.0$ mm	Existe reducción en la capacidad sismo resistente. Debe desocuparse el edificio, proceder a una rehabilitación temporal
5	Fractura: $1.0 < \text{ancho} < 5.0$ mm	Existe una reducción importante en la capacidad sismo resistente. Deberá procederse a una evaluación definitiva urgente, para determinar si se procede a la demolición
6	Dislocación: ancho > 5.0 mm	

Nota: Adaptado de Exeni,2011.

2.2.3.5. Diseño de una viga de una sección cuadrada con refuerzo

“El proceso de diseño se inicia con la selección de las dimensiones de la sección y de la calidad del concreto.”

En primer lugar, la selección de la viga se realizó según a la normativa de NTP 339.033.2015, dónde menciona que cómo mínimo las dimensiones de la viga deberán ser de 150 mm por 150mm de sección transversal, y de longitud igual a tres veces la altura.

Se estima el peralte efectivo de la sección en función de su peralte total.

- Para vigas con una capa de refuerzo..... $d=h-6$ cm
- Para vigas con dos capas de refuerzo..... $d=h-6$ cm

- Para losas.....d=h-3 cm

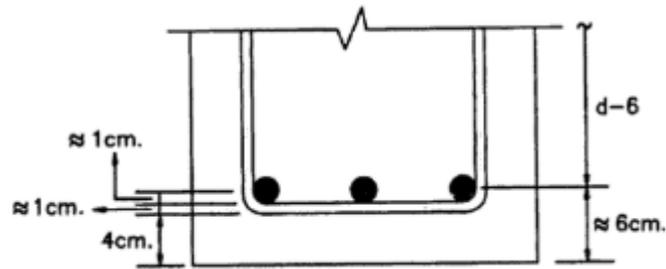


Figura 17. Criterio para estimar el peralte efectivo.

“El peralte efectivo estimado debe ser verificado culminado el diseño. En seguida se evalúa el M_u , con las fuerzas exteriores amplificadas” (Harmsen, 2005, p.91). El momento resistente debe satisfacer la siguiente desigualdad:

- $M_u = \phi * M_n$

La ecuación que expresa el momento resistente en función del índice de refuerzo es la más útil para determinar la cantidad de acero requerida por la sección. Esta expresión permite evaluar directamente el valor de dicho índice conocido b , d , f' y M_n . (Harmsen, 2005, p.91)

La cantidad de acero necesaria, se verifica que el área de acero calculada este dentro del rango de acero sugerido por el código. Se escogen las varillas adecuadas y se ubican siguiendo los criterios de espaciamiento y recubrimientos mínimos. Si la cantidad de acero excede la cuantía máxima, el problema se puede seleccionar de tres maneras: Incrementando el peralte de la sección, mejorando la calidad del concreto o utilizando refuerzo de compresión. (Harmsen, 2005, p.93).

2.2.4. Control de deflexiones

“Los elementos de concreto reforzado sometidos a flexión deben diseñarse para que tengan una rigidez adecuada con el fin de limitar cualquier deflexión que pudiese afectar adversamente la resistencia o el funcionamiento de la estructura” (ACI318, 2005, p.118).

Cuando se calculen las deflexiones, aquéllas que ocurran inmediatamente con la aplicación de la carga deben calcularse mediante los métodos o fórmulas usuales para deflexiones elásticas, tomando en consideración los efectos de la fisuración y del refuerzo en la rigidez del elemento. (ACI318, 2005, p.118)

2.2.5. Propiedades mecánicas en el concreto armado

2.2.5.1. Resistencia a la compresión

a) Resistencia a la compresión con la extracción de testigos con diamantina

La resistencia a la compresión de las vigas en muestra patrón y en muestras que serán sometidas a fuego, se determinará con el ensayo de extracción de testigos de corazones diamantino especificado en la norma NTP 339.059:2011.

La extracción: Se hará con brocas diamantadas y para la longitud se utilizará un vernier. La norma indica que la extracción de los testigos se realizará cuando el concreto haya obtenido una resistencia adecuada no indica a qué edad, pero según investigaciones recomendaron que la extracción debería realizarse como mínimo a la edad de 14 días, esto con el fin de que al momento de la extracción o corte no se pierda la adherencia entre el agregado y la pasta, para cada resultado se debe tomar 3 especímenes.

Para la extracción de los corazones diamantinos, la norma indica que la perforación será perpendicularmente a la superficie horizontal de vaciado y no de las juntas de vaciados. El

espesor de los corazones diamantinos según la norma tendrá un diámetro de por lo menos 95mm y la longitud será medido según la norma NTP 339.211. Ahora la longitud según la norma indica que será entre 1.9 y 2.1 veces el diámetro.

Preparación: El ACI recomienda “que, si el concreto de la estructura va a estar seco durante sus condiciones de servicio, los corazones deberán secarse al aire (temperatura de 15 y 30°C), este secado debe realizarse durante 7 días antes de la prueba”. Pero si el concreto va estar húmedo en sus condiciones de servicio, los especímenes deberán sumergirse en agua por menos 48 horas.

Por otro lado, la normativa ASTM menciona “que las probetas serán curadas en estado húmedo, por lo menos 40 horas antes de la rotura”.

Antes de ensayar las muestras obtenidas, los especímenes deberán ser refrenadas o pulidos en ambas caras, con el fin de obtener superficies adecuadas para el ensayo, para este caso se aplicará la normativa NTP 339.037.

Ensayo: Según la Norma NTP 339.034 indica que los especímenes extraídos serán ensayados dentro de los 7 días después de la extracción.

Al realizar el ensayo se tomarán en cuenta:

- La longitud de prueba.
- Condiciones de humedad antes de la rotura.
- Tamaño máximo del agregado en el concreto.

Resultados: Para la determinación de los resultados se realizará correcciones si los testigos extraídos tienen una relación L/D menor a 2, para este caso, se procederá a ajustar los resultados del ensayo de compresión según la tabla:

Tabla 2

Valores de corrección para la relación longitud/diámetro

Relación Long./Diám.	Fact. Correc. NTP	Fact. Correc. ASTM
2.00	1.00	1.00
1.75	0.99	0.98
1.50	0.97	0.96
1.25	0.94	0.94
1.00	0.91	0.92

Nota: Elaboración propia

2.2.5.2. Resistencia a la flexión

La resistencia a la flexión se determinará según la normativa ASTM C 293, donde establece que los ensayos se realizarán en una viga simplemente apoyada.

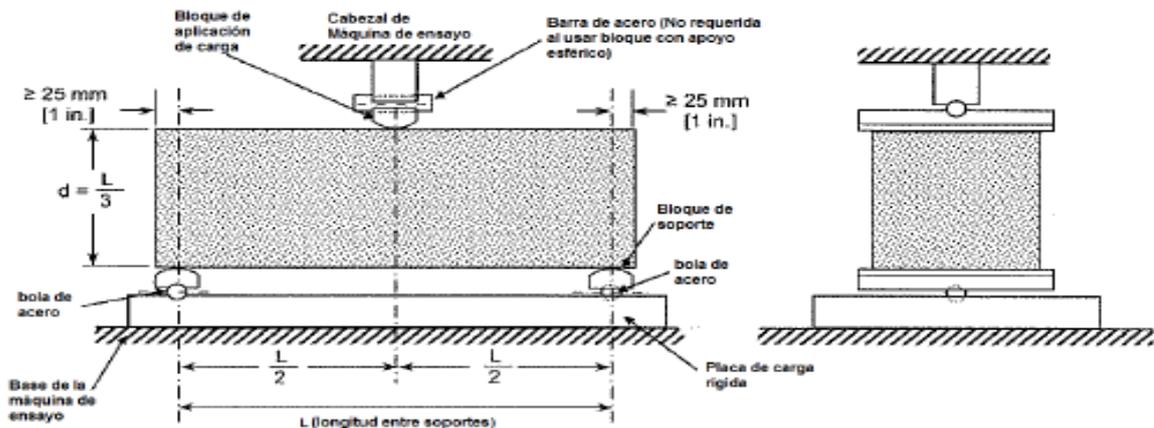


Figura 18. Especificaciones del ensayo a flexión según la Norma ASTM C 293-02.

La máquina debe cumplir con las siguientes especificaciones:

- Aplicación de la carga a una velocidad uniforme, esta aplicación se dará de manera perpendicular.
- Los bloques de aplicación de carga y de soporte del espécimen no deben tener más de 65mm (2.5 pulg) de altura.
- Cada superficie endurecida en contacto con el espécimen no debe de variar de su plano por más de 0.05 mm (0.002 pulg).
- Los bloques de aplicaciones de carga y de soporte deben ser mantenidos en una posición vertical y en contacto con la barra o esfera de pivote, por medio de tornillos cargados por resortes, que los mantengan en contacto con la barra o esfera de pivote.

a) Medición de los especímenes después del ensayo

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

Si la fractura ocurre en una sección cabeceada, se incluye el espesor del cabeceo en la medición efectuada.

$$R = \frac{3PL}{2bd^2}$$

Donde:

R= Módulo de ruptura, MPa (lb/pulg²).

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

L= Luz (longitud) entre soportes, mm (pulg).

b = Ancho promedio del espécimen, en la fractura, mm (pulg).

d = Espesor promedio del espécimen, en la fractura, mm (pulg).

2.2.5.3. Factores que afectan a la resistencia del concreto

La resistencia del concreto depende principalmente de la cantidad de cemento que posee el concreto, y se expresa en la relación agua cemento en peso, la influencia de los agregados, el tamaño máximo del agregado grueso ya que reduce el área y los vacíos. Así mismo, no es el único material que afecta a la resistencia, tal es el caso, de la temperatura.

Por otra parte, el curado es una característica importante que se debe tomar en cuenta luego de vaciar el concreto ya que cuanto más agua tenga mejor será su curado.

2.2.6. Incendio

Un incendio es la manifestación de una combustión incontrolada. En ella intervienen materiales combustibles que forman parte de los edificios en que vivimos, trabajamos y jugamos o una amplia gama de gases, líquidos y sólidos que se utilizan en la industria y el comercio. (Grant, 2005,p.1)

Un incendio básicamente está compuesto de un combustible, oxígeno, calor y reacción en cadena. A continuación, se muestra en una figura:



Figura 19. Tetraedro del Fuego.

Los incendios suelen tener diferentes escenarios, se pueden producir en lugares abiertos como también cerrados, el crecimiento de esta tiene una posee características distintas debido

a que materiales se encuentran dentro de las edificaciones. Así mismo, un incendio comienza con un proceso de ascenso hacia la parte superior. Dando a entender que los elementos estructurales no son afectados en su totalidad, más solo la parte inferior de éstas

2.2.6.1. Causas del incendio

- Incendios eléctricos 19%
- Roces y fricciones 14%
- Chispas mecánicas 12%
- Fumar y fósforos 8%
- Ignición espontánea 7%
- Superficies calientes 7%
- Chispas de combustión 6%
- Llamas abiertas 5%
- Soldadura y corte 4%
- Materiales recalentados 3%
- Electricidad estática 2%

2.2.6.2. Clasificación del fuego

- a) **Fuego de tipo A:** Los incendios provocados por materiales como madera, papel, tejidos, etc.

- b) **Fuego de tipo B:** Los incendios provocados por combustibles líquidos como la gasolina o el alcohol y sólidos como las parafinas.
- c) **Fuego de tipo C:** Los incendios provocados por sustancias gaseosas como el propano, metano y el butano (sustancias químicas).
- d) **Fuego de tipo D:** Los incendios provocados por generadores metales como el aluminio en polvo, etc.

2.2.6.3. *Propagación de los incendios*

- a) **Conducción:** El calor se transmite directamente en contacto directo con el otro cuerpo, en este caso se intercambia energía sin la necesidad de poder de un intercambio de materia.
- b) **Convección:** La transmisión de calor para este caso se da en los líquidos y gases, debido a que hay una transferencia o intercambio de materia, esto se da por la poca conductividad térmica y hace necesaria la transferencia de calor.
- c) **Radicación:** Para la transferencia de calor no es necesario que los cuerpos o masas estén en contacto directo.

2.2.7. **Concreto expuesto a altas temperaturas por la incidencia del fuego**

Hay dos componentes clave para explicar el comportamiento satisfactorio del hormigón frente al fuego: en primer lugar, sus propiedades básicas como material de construcción y, en segundo, su funcionalidad en una estructura. El hormigón es incombustible (no arde) y tiene una baja velocidad de transmisión del calor (protege frente al fuego). (HORMIGÓN, 2008, p.32)

Sin embargo, al incremento de la temperatura el concreto tiende a sufrir un cambio en sus propiedades, provocando así fisuración superficial, disgregación del material, adicionalmente, el comportamiento mecánico de la estructura se ve afectado de manera negativa, y se relaciona directamente con el tiempo de exposición y la temperatura a la cual han sido expuestas.

Las estructuras serán afectadas en torno a la temperatura a la cual hayan sido sometidas, para esto se mostrará lo siguiente:

A temperaturas de 200 °C a 300 °C: “Se produce una pérdida de agua capilar, no aparecen modificaciones estructurales ni disminuye la resistencia”.

A temperaturas de 300 °C a 400 °C: “Se produce pérdida de agua en el cemento. Aparecen fisuras y el hormigón armado tiende a una coloración rosácea debido a los cambios que sufren los componentes del hierro”.

A temperaturas de 400 °C a 600 °C: “Se produce desprendimiento de cal viva a partir del hidróxido cálcico de hidratación de silicatos. Cuando se enfría el hormigón sus propiedades mecánicas pueden disminuir en función del método de extinción del incendio y de las tensiones estructurales a las que esté sometido. Color rojizo”.

A temperaturas de 600 °C a 950 °C: “Se produce los áridos se expanden y debido a sus diferentes coeficientes de dilatación, aparece la disgregación. El hormigón adquiere tonalidades grisáceas, pierde agua intersticial y se vuelve poroso. En estas situaciones se produce una pérdida de resistencia que puede oscilar entre el 60% y el 90%, siendo necesaria su total sustitución para garantizar la estabilidad estructural del edificio”.

Las pérdidas de resistencia que se generan en el concreto, es a causa de las temperaturas a las cuales hayan sido expuestas los elementos estructurales y anteriormente, se mencionó sobre

las que a medida que aumenta la temperatura la resistencia tiende a disminuir. (Faller, 2004, p.2)

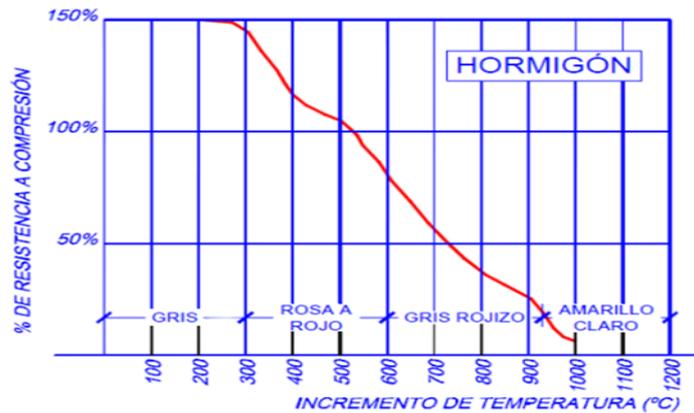


Figura 20. Incremento de la temperatura y causas sobre la resistencia a compresión.

2.2.7.1. Tipos de coloración

El concreto como material indispensable para la elaboración de los elementos estructurales, al someterlo al fuego sufre cambios mecánicos y físicos debido a las altas temperaturas, ocasionando así, fisuramiento, descarbonatación. La coloración que está en función de la temperatura puede determinar el grado de daño que sufrió la edificación.

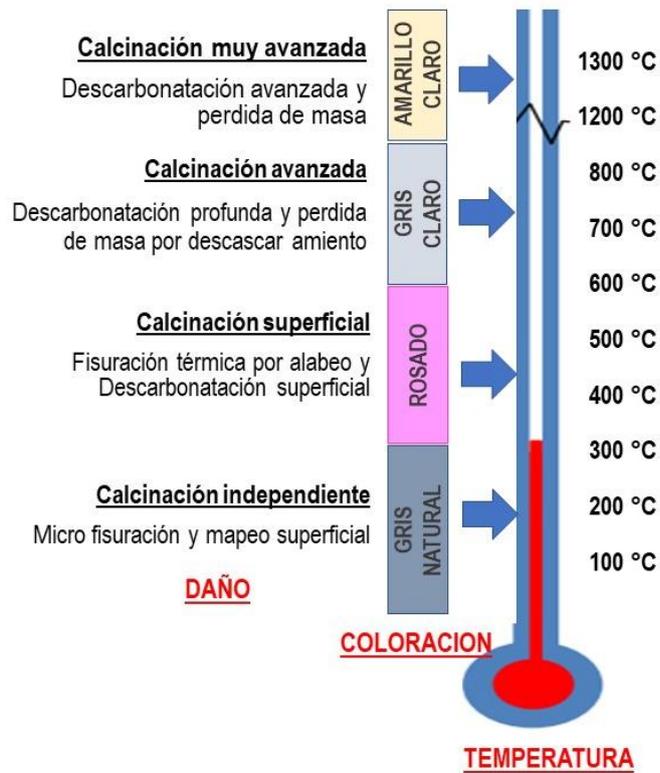


Figura 21. Color y daño del concreto estructural.

2.2.7.2. Spalling

El efecto spalling es el desprendimiento del concreto en las zonas donde el fuego tuvo alcance, y se da las siguientes maneras cómo son: desprendimiento del agregado, desprendimiento por explosión, desprendimiento de la superficie y desprendimiento de las esquinas. Estos efectos se producen de acuerdo a la temperatura a las cuales hayan sido expuestos, los tres primeros desprendimientos es en el momento del incendio que ocurre en lapso de tiempo de 20 a 30 minutos, y la última ocurre cuando alcanza su máxima temperatura. Los spalling por explosión violento son los más peligrosos debido a que este efecto hace que el acero de refuerzo quede expuesto al fuego y se sabe que el acero, los alambres que se encuentran expuestos a las altas temperaturas pierden ductilidad.

Este efecto se produce con mayor frecuencia en las esquinas de los elementos estructurales.

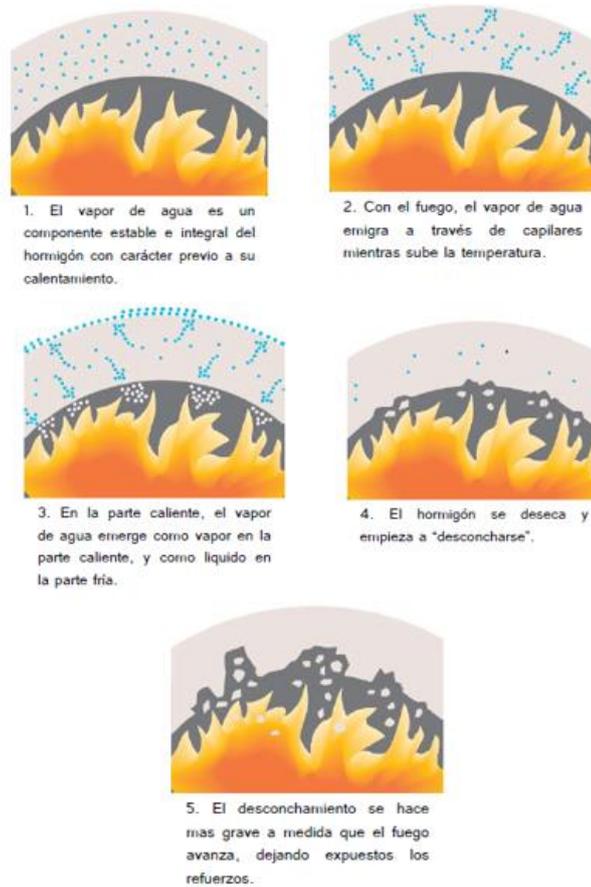


Figura 22. Etapas de los efectos de spalling o desprendimiento del concreto

2.2.7.3. Adherencia del refuerzo

El concreto armado al ser un material compuesto por concreto y acero tiende a trabajar como un material homogéneo, por tal motivo la adherencia entre estos dos tiene que darse de la mejor forma.

Sin embargo, al presentarse un debilitamiento en el hormigón por ser expuesta al iniciarse el incendio, da lugar a que pueda atravesar las altas temperaturas hasta llegar al acero provocando así que reaccione de forma rápida por su alta conductividad térmica ocasionando que se dilate y el hormigón no, al pasar por este proceso, se produce fisuras en

Exponerse a altas temperaturas el concreto y el acero de refuerzo no tiene la misma adherencia, debido a que cada material se comporta de diferente manera a las elevadas temperaturas, llegando así perder la adherencia.



Figura 23. Pérdida de la adherencia.



Figura 24. Daños a la adherencia.

2.2.7.4. Fisuración

Las fisuras son uno de los síntomas patológicos más importantes del comportamiento en servicio de las estructuras de concreto. No son más que roturas que aparecen en el concreto como consecuencia de la aparición de esfuerzos que superan la capacidad resistente del material. (Vidaud,2013, p.20)

La Fisuración en el concreto se deben principalmente por la edad, pero existen otras variables que también intervienen, como la posición, trayectoria, movimiento y las condiciones del cambio de temperatura del ambiente. Por otro lado, se sabe que las fisuras del concreto no solo

pueden llegar a disminuir la resistencia, sino también puede afectar en el sentido que mediante estas fisuras puedan penetrar agentes agresivos.

2.2.8. Acero de refuerzo expuesto a altas temperaturas por incidencia del fuego

El acero es un material incombustible, pero tiene una alta conductividad térmica, ya que a los 250°C empieza a bajar la resistencia y al suceder esto hace que su capacidad portante disminuya provocando la deformación del material. Si la deformación es considerable puede llegar al colapso.

2.2.9. Tiempo estimado de duración de un incendio

La duración de un incendio depende directamente de la cantidad de material combustible con que cuente el fuego para desarrollarse. La Figura 5 nos indica el tiempo probable de duración de un incendio desarrollado en distintos ambientes, dependiendo de la cantidad de material combustible que usualmente guardan éstos. Si la estructura o los recubrimientos del edificio, como el techo falso, tabiques, pisos, enlucidos, etc., son a su vez combustibles, deberán sumarse el aporte de los mismos, incrementando el tiempo de duración del incendio. (Busto, 1989, p.30)

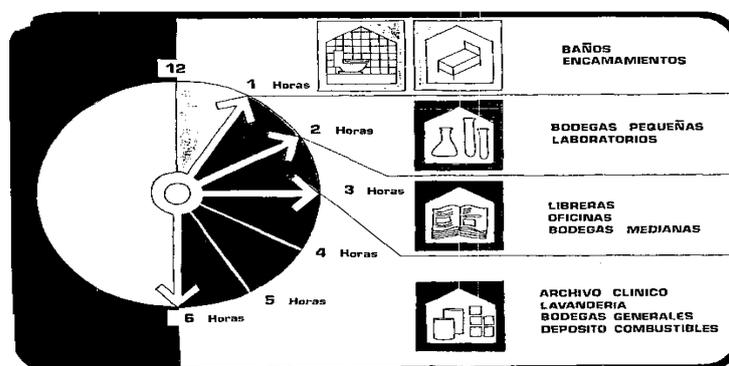


Figura 25. Tiempo estimado de duración de un incendio.

Un pronto y eficaz combate del incendio limitará el tiempo de duración del mismo y la magnitud de los daños. Podrá también reducirse considerablemente el tiempo de duración de

un incendio, almacenando los materiales combustibles dentro de muebles protectores, como armarios y archivos metálicos. (Busto, 1989, p.30).

2.2.10. Propagación horizontal y vertical del fuego

El fuego tiende a propagarse en espacios cerrados, en forma horizontal al ras del techo, y en forma vertical por medio de ductos de gradas, de basura, ropa sucia, instalaciones, elevadores y ventanas exteriores sin protección. Al propagarse, sobrecalienta el ambiente y propicia el inicio de focos de fuego distantes, incrementando su magnitud y destrucción. (busto, 1989, p.31)

Los humos y gases calientes producidos por la combustión, se propagarán en el nivel del fuego y a los pisos superiores antes que las llamas, e inundarán todos los ambientes a su alcance, obstruyendo las escaleras, pasillos y espacios que no ofrezcan ninguna barrera a su avance. (Busto, 1989, p.31)

Estas condiciones podrán imposibilitar el escape y la evacuación de los ocupantes del edificio, ya que, por los efectos de los humos calientes y los gases tóxicos e inflamables, no será posible el uso de las escaleras, único medio seguro de evacuación. (Busto, 1989, p.31)

Los elevadores no deben utilizarse en un incendio, ya que el fuego puede inutilizar o en su trayecto abrir automáticamente las puertas en niveles incendiados. La evacuación por medio de auto escalas del cuerpo de bomberos o helicópteros, es sumamente peligrosa, lenta, necesita entrenamiento y lugares adecuados para realizarse, y no puede ser utilizada por pacientes incapacitados, por lo que deberá evitarse, utilizándose únicamente como última alternativa. (Busto, 1989, p.31)

En un incendio, un edificio que no opone ninguna barrera contra el fuego, permite el avance de llamas y humos y no protege a sus ocupantes, los atraparán en su interior, convirtiéndose en

una trampa mortal para los mismos, ya que no les permitirá escapar hacia un lugar seguro. (Busto, 1989, p.31)

2.2.11. Combustión de excrementos de animales

Los excrementos de los animales como uso para combustible tienen una importancia al momento de que el fuego ya haya iniciado, porque mantiene la temperatura a medida que aumenta el tiempo.

2.2.11.1. *Heces de vaca*

Cabe destacar que se consume de forma lenta, lo que permite su control. Pueden llegar a provocar llama, la cual sería discontinua. La aparición de esta depende de si tiene una ayuda exterior, como el viento, aunque cuando alcanza los puntos más altos de temperatura no la necesita y es capaz de provocar llama por sí misma. Si no tiene llama arde en forma de brasas y el calor desprendido no se expande mucho más allá de estas, por lo que las cifras de temperatura alcanzada pueden parecer un poco engañosas. (Díaz, 2015, p.18)

Durante las experiencias se ha logrado alcanzar picos de temperatura de 621°C y 613°C, aunque entre los minutos 20 y 30 y hasta el minuto 120 las temperaturas se han mantenido constantes con oscilaciones entre los 400°C y los 550°C. En otras experiencias se han llegado a documentar temperaturas de hasta 640°C. (Díaz, 2015, p.18)

Tabla 3

Resultados de las experiencias con excrementos de vacas

N° de experiencia	Cantidad inicial	Temperaturas alcanzadas en °C (Por minutos)													Residuos sólidos (g)
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	
Vaca 1	1376	377	370	400	365	393	517	528	482	560	613	528	486	433	302
Vaca 2	760	353	485	448	494	480	474	384	432	402	514	465	490	304	102
Vaca 3	1586	276	370	284	432	483	481	512	570	528	557	425	430	377	366

Nota: Combustión de excrementos. Una aproximación experimental, 2015.

2.2.12. Protección pasiva contra incendios

“El riesgo de un incendio depende del uso del edificio, ubicación, tamaño, número de ocupantes, diseño y tipo de construcción. En general, mientras más grande sea el edificio, mayor será el riesgo de las vidas de sus ocupantes y de la propiedad. Un factor vital de reducir este riesgo es crear barreras físicas ante la propagación del fuego en el edificio, sectorizándolo mediante compartimentos como muros, tabiques y losas resistentes al fuego” (Promart, 1999, p.3).

La protección de los elementos estructurales, el sellado y protección de aberturas verticales y horizontales, la protección efectiva de penetraciones de instalaciones de servicio, el uso de materiales incombustibles en revestimientos y alhajamiento son aspectos importantes a tener en cuenta. Todas estas consideraciones se refieren a la protección pasiva contra el fuego, sistema que no requiere de energía o agua para operar en la eventualidad de un incendio. (Promart, 1999, p.3)

Dar las facilidades necesarias a los servicios contra incendios, un adecuado mantenimiento, una buena administración, tener debidamente señalizadas y expeditas las vías de escape y contar con elementos de protección activa, como alarmas de humo y rociadores, completa un conveniente paquete de protección.

2.2.13. Pinturas intumescentes

2.2.13.1. Definición

La pintura intumescente es un sistema de protección pasiva contra fuego que son productos que, en contacto con el calor, sufren una transformación expandiéndose cincuenta veces su volumen debido a reacciones químicas formando así, una capa espumosa termo-aislante que evita la transmisión del calor al elemento a proteger. Si bien es cierto que no contribuye a

extinguir el fuego, sí retarda el calentamiento de las estructuras proporcionando estabilidad en ellas antes de sufrir deformaciones y así dar tiempo a las personas para evacuar los edificios ante un siniestro. De esta manera, se lograría reducir daños materiales y salvar vidas humanas. (Inquifesac, 2019, p.1)

La capa de Pintura Intumescente aplicada sobre la estructura reacciona frente a la mayor temperatura ambiental producto del incendio. Lo esperable es que a temperaturas del orden de 200°C comiencen las reacciones químicas en la pintura, las cuales hacen que la capa de ésta se expanda y forme una espuma carbonosa que es un aislante térmico. Esta aislación tiene la función de evitar o retrasar que la estructura se caliente. Para las estructuras de acero, temperaturas del orden de 500°C, hacen que exista una importante pérdida de resistencia que puede causar el colapso. (Gonzales, 2012)

El principal uso que tiene la Pintura Intumescente es en la protección contra incendios de estructuras de acero, columnas, vigas y estructuras de techumbre son usualmente su mayor campo de aplicación.

Como la Pintura Intumescente es una formulación química, son los distintos componentes los que le confieren sus propiedades, por lo mismo hay una constante innovación en el desarrollo de nuevos componentes o mezclas de ellos que permiten mejorar el desempeño de la pintura, esto es, obtener mayores tiempos de resistencia al fuego, disminuir espesores o mejorar aspectos de aplicabilidad. (Gonzales, 2012)

2.2.13.2. Componentes del producto

Tabla 4

Características de la pintura intumescente

COMPONENTES DEL PRODUCTO		
Funcion	Quimico	Fisico
Aspecto		Pintura Mate
Composición		Base Agua
Compuesto formador de residuo carbonoso	Hidratos de carbono, pentaeritrita	
Agente espumogeno	Compuesto nitrogenados: Melamina compuesto halogenados: Parafina clorada	
Deshidratante acido	Polifosfato amonico	
Catalizador de la estearificacion	Oxidos e hidroxidos de metales alcalinos, alcalinoterreos, bioxido de titanio	
Agente vitrificante	Boratos	
Agente reforzador	Fibras minerales	
Otros componentes, según el sistema	Mastic, pintura, etc.	

Nota: Adaptado de Inquifesac,2019.

La pintura intumescente tiene la propiedad de expandirse gracias a reacciones químicas según la **Tabla 3**, las cuales se activan cuando aumenta la temperatura. Cuando esto ocurre, la pintura intumescente se vuelve un aislante térmico, de textura espumosa y permanece adherido a la estructura metálica donde se aplicó. (Según Synixtor)

El revestimiento, cuando exista la presencia de fuego directo o calor extremo, se infla y carboniza, de modo que se crea una capa muy gruesa de escoria esponja y actúa como aislante, lo que ocasiona que se retarde el tiempo en el que una estructura alcanza su temperatura de colapso (538 °C). (Según Synixtor)



Figura 26. Reacción de la pintura intumescente frente al fuego.

2.2.13.3. Descripción del producto

Es una pintura convencional base agua que cuenta con propiedades intumescentes y que resiste altas temperaturas hasta por 120 minutos. El recubrimiento aplicado en el material, en presencia de fuego, emite ciertas sustancias que reaccionan a estímulos térmicos y que a su vez reaccionan entre si formando una capa esponjosa que actúa como una barrera ante el fuego. (Inquifesac, 2019, p.1)

2.2.13.4. Usos recomendados

- El producto se aplica en cualquier material como metal, acero, madera, MDF, concreto, mortero, fibra de vidrio y entre otros materiales. (Inquifesac, 2019, p.1)
- Recomendado especialmente para la protección contra el fuego de centro públicos con gran afluencia como colegios, hospitales, depósitos, mineras, petroleras, cines, supermercados, etc. (De acuerdo con normas nacionales de construcción). (Inquifesac, 2019, p.1)

2.2.13.5. Procedimiento de aplicación

- Homogenizar el contenido del envase, revolviendo hasta eliminar totalmente los grumos e incorporar todos sus elementos.

- Aplicar de forma pareja y uniforme protegiendo especialmente bordes y cordones de soldadura.
- Antes de aplicar la siguiente capa, el producto deberá haber secado durante 6 horas como mínimo, a una temperatura de 20°C y en ambiente seco.
- Igual de tiempo se debe esperar antes de manipular la superficie o piezas aplicadas.
- Se recomienda para una semi exposición o exposición completa una pintura poliuretano de dos componentes de al menos 50 micras de espesor en seco
- Siga las recomendaciones de seguridad del fabricante cuando use alcohol.

2.2.13.6. *Recomendaciones de rendimiento*

Para evitar bloqueo del equipo como rociador, airless, pistola convencional, lavar el equipo luego de usarlo o después de una pausa prolongada usando agua limpia.

Los rangos de rendimiento varían por irregularidades de la superficie, habilidad y técnica del aplicador, método de aplicación, pérdida del material durante agitación, derrames, condiciones climáticas, excesivas repasadas.

El secado de estos productos se produce por evaporación de agua y coalescencia. Variaciones de temperatura pueden alterar el tiempo de secado.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. METODOLOGÍA Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Metodología de investigación

La investigación desarrollada pertenece a la investigación **Cuantitativo**.

Borja (2012) menciona que: “la investigación cuantitativa es una forma confiable para conocer la realidad a través de la recolección y análisis de datos, con lo que se podría contestar las preguntas de la investigación y probar la hipótesis” (p.11). Este tipo de investigación confía en la medición numérica, el conteo y frecuentemente en el uso de la estadística para establecer con exactitud patrones de comportamiento en una población.

3.1.2. Tipo de investigación

El tipo de la presente investigación es **Explicativa**.

Borja (2012) mencionan que los estudios explicativos van más allá de la descripción de concepto, fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas como de los efectos mediante la hipótesis. Sus resultados y conclusiones constituyen el nivel más profundo de conocimiento.

3.1.3. Diseño de la investigación

El diseño de la presente investigación es **Experimental**.

Hernández, Fernández, y Baptista (2012) mencionan que el diseño experimental consiste en realizar actividades con la finalidad de comprobar, demostrar ciertos fenómenos hechos o principios en forma natural o artificial de tal forma que permita establecer experiencias para

formular hipótesis que permita a través del proceso científico conducir a generalizaciones científicas, que puedan verificarse en hechos concretos de la vida diaria.

3.2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

3.2.1. Hipótesis general

La pintura intumescente garantiza un mejor comportamiento frente a efectos del fuego haciendo que la resistencia del concreto armado no reduce en más de un 10%

3.2.2. Hipótesis específicas

La resistencia a la compresión en vigas de concreto armado no reduce en más de un 10% al ser tratadas superficialmente con pintura intumescente en un tiempo de exposición al fuego de 30, 60 y 90 minutos.

La resistencia a la flexión de la viga de concreto armado no reduce en más de un 10% al ser tratada con pintura intumescente en un tiempo de exposición al fuego de 30, 60 y 90 minutos

Se presentará fisuras y cambios de color en las vigas de concreto armado tratado superficialmente con pintura intumescente al ser sometido a fuego en tiempos de 30, 60 y 90 minutos.

3.3. IDENTIFICACIÓN DE LA POBLACIÓN Y TAMAÑO DE MUESTRA

3.3.1. Población

La población propuesta para la presente investigación serán los elementos estructurales de concreto armado, las cuales vendrían a ser vigas, ensayadas según la normativa **ASTM C 293**.

3.3.2. Muestra

Borja (2012) sostiene que para una investigación cuantitativa, “la muestra de estudio es un subconjunto representativo de la población, sobre la cual se habrán de recolectar datos”(p.31). La presente investigación tendrá un **muestreo arbitrario**, por lo tanto nos basaremos a la normativa **ASTM C 31**. Esta normativa no hace mención para la determinación de cantidad de muestras en unidades de viga, solamente por volumen de concreto (1muestra/120m³). Considerando que en la investigación no se hará uso de volúmenes de concreto en gran dimensión, sino unidades de vigas de concreto armado. Por tanto, se tomará muestras arbitrarias de 3 unidades tanto para el tipo de ensayo (flexión y compresión), muestras patrón y tiempo de exposición respectivamente como detalla en la tabla.

Tabla 5

Elaboración de vigas

Muestra	ensayos	tiempo de exposición	Nº vigas	Total de muestras
vigas de concreto	Resistencia a la compresión mediante la extracción de testigos con diamantina	Sin exposición al fuego	3 vigas	12 vigas
		30 minutos	3 vigas	
		60 minutos	3 vigas	
	Resistencia a la flexión, aplicando una carga puntual al centro de la viga	90 minutos	3 vigas	12 vigas
		Sin exposición al fuego	3 vigas	
		30 minutos	3 vigas	
		60 minutos	3 vigas	
		90 minutos	3 vigas	

Nota: Fuente, elaboración propia.

3.4. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

3.4.1. Variables independientes

- Tiempo de exposición al fuego
- Pintura intumescente

3.4.2. Variables dependientes

- Propiedades mecánicas (resistencia a la compresión y deflexión en vigas)

3.5. DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA Y TEMPORAL

3.5.1. Lugar de ejecución

La ejecución se llevará en las instalaciones del laboratorio de tecnología de concreto de la Universidad Peruana Unión.

La ubicación geográfica de la zona de estudio es la siguiente:

Departamento : Puno

Provincia : San Román

Distrito : Juliaca



Figura 27. Universidad Peruana Unión.

3.6. METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO

Para la presente investigación se elaborarán vigas de sección de 0.25 x 0.25 con una longitud de 1m, con el objetivo de poder determinar las propiedades mecánicas como resistencia a la compresión mediante la extracción de testigos con diamantina, y resistencia a la flexión de las vigas.

Sección de la viga:

La norma NTP 339.059:2011 indica que, para la extracción de los corazones diamantinos, la perforación será perpendicularmente a la superficie horizontal de vaciado y no de las juntas de vaciados. El espesor de los corazones diamantinos tendrá un diámetro de por lo menos 95mm y la longitud será medido según la norma NTP 339.211 que será entre 1.9 y 2.1 veces el diámetro.

Habiendo un rango mínimo y máximo para hallar la altura, tomaremos el promedio de estos dos valores $(1.9+2.1) / 2 = 2.0$

$$H_{Briqueta} = 2 * D_{Briqueta}$$

$$H_{Briqueta} = 2 * 9.5cm$$

$$H_{Briqueta} = 19.0cm \cong 20cm$$

Donde:

D: Diámetro de la briqueta (9.5 cm)

H: altura de la briqueta (20 cm)

Por esta razón la sección mínima de la viga tendría que ser 20 cm, pero por temas de trabajabilidad y criterio se opta la sección de 25 x 25 cm, dando así un margen de error de 5 cm. Por otro lado, para tomar en cuenta las medidas de la sección de la viga, se tomó en cuenta el ensayo de flexión, motivo por el cual la sección de la viga es cuadrada y que al momento de ensayarlo se puede mostrar una mejor visibilidad en cuanto a la deflexión que presente la viga

Longitud de la viga:

La elección de la longitud se hizo de acuerdo a la normativa NTP 339.079 de tracción por flexión, donde indica que la longitud de la viga deberá ser tres veces más 5 centímetros de

espesor de la viga, estos valores son los mínimos que la normativa nos pide, por lo tanto, para una mejor trabajabilidad, se tomó en cuenta un metro de longitud.

Dentro de los elementos estructurales que constituye una edificación, se tomó en cuenta las vigas las cuales proporcionan estabilidad a una edificación, este elemento estructural es la que soporta las cargas transmitidas. La función principal de las vigas, son soportar las losas de una edificación y estas cargas son transmitidas a las columnas, así mismo, las vigas soportan cargas a compresión, por otro lado, este elemento estructural tiende a deflectarse. Para definir la sección de la viga se realizó según la Norma E.060 del Reglamento Nacional de Edificaciones, así mismo se tomó en cuenta las dimensiones de la diamantina.

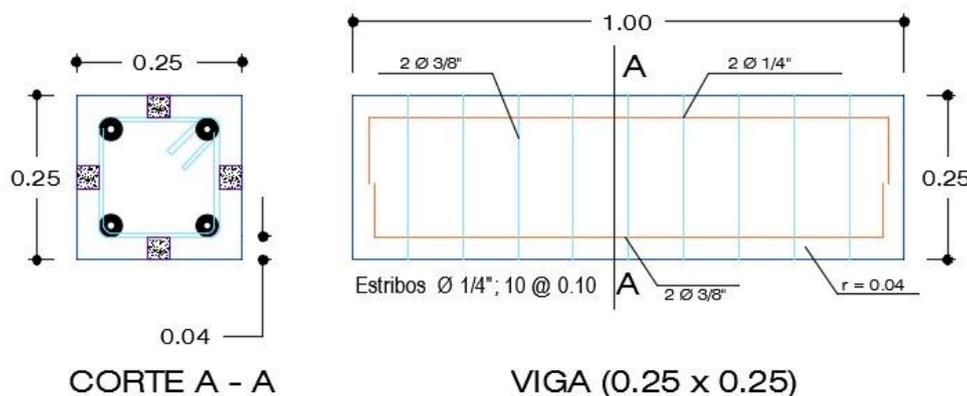


Figura 28. Detalles de la viga de concreto armado.

3.7. PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

3.7.1. Agregado para concreto

Los agregados utilizados para la ejecución de la presente tesis fueron extraídos de distintas canteras como: Agregado grueso (Cantera Surupana) se trajo distintos diámetros de 3/4", 1/2" y 3/8", agregado fino (Cantera hilo hilo).

3.7.2. Ensayos para agregados:

Para hallar las propiedades físicas de los materiales y poder realizar el diseño, la elaboración de las vigas se hizo uso del laboratorio de concreto de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Peruana Unión con la supervisión de personal técnico del laboratorio

3.7.2.1. *Análisis granulométrico*

Según la NTP 400.012, Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. Del material extraído se tomó una porción para los análisis granulométricos, según la norma ASTM C-33. El agregado grueso y el agregado fino se trabajaron de manera separada y en estas las curvas granulométricas se puede observar que se encuentran dentro del rango establecido por la norma NTP 400.012; los resultados se muestran en los anexos.

3.7.2.2. *Módulo de Fineza:*

Al realizar el ensayo de granulometría se obtuvo el módulo de fineza de los agregados: grueso y fino.

Módulo de fineza del agregado grueso: 6.98, Módulo de fineza del agregado grueso: 2.93. El módulo de fineza que se observa en el agregado fino es de 2.93 lo cual está dentro de los límites permitidos que es de 3.35 según la norma ASTM C 125.

3.7.2.3. *Peso Específico y Absorción de los agregados*

NTP 400.021: Peso específico y porcentaje de absorción del agregado grueso. El ensayo específico se realizó con una cantidad de 3 muestras, en donde los resultados se mostrarán en los anexos.

3.7.2.4. *Peso Unitario*

(NTP 400.017); Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado. El ensayo de peso unitario se realizó con una cantidad de 3 muestras, en donde los resultados se mostrarán en los anexos.

3.7.2.5. *Ensayo de contenido de humedad*

Para determinar el contenido de humedad se tomaron tres muestras tanto para el agregado grueso como para el agregado fino, los resultados se mostrarán en los anexos.

3.7.2.6. *Instrumentos*

- Pala, sacos, cuaderno de campo, tamices, balanza, recipientes.
- Horno, combustible
- Termómetro infrarrojo laser
- Equipo de diamantina para la extracción de testigos de concreto.
- Equipo para el ensayo de flexión y flexión.
- Laptop para el procesamiento de resultados.

3.7.2.7. *Materiales*

A. Cemento

El cemento utilizado para la investigación es el Rumi tipo IP, el uso de este cemento se hizo porque en la ciudad de Juliaca es el más comercial.

B. Agua

El agua que se utilizó para la investigación proviene de la Universidad Peruana Unión.

C. Diseño de mezcla

El diseño de mezclas se realizó por el método ACI – 93 para lo cual se obtuvo la siguiente dosificación en peso:

Cemento: Agregado fino: Agregado grueso: Agua
1: 2.06: 2.11: 0.49

3.7.3. Proceso de quemado de las vigas

3.7.3.1. *El Horno*

Para realizar el quemado de las muestras, se utilizó un horno diseñado especialmente para esta investigación. El horno es de forma rectangular de (1.2 m x 3.5 m). La pared del horno está básicamente formada por una mezcla de tierra, paja y agua, comúnmente conocido adobe, para controlar la dilatación y contracción.

El horno interiormente posee un soporte de ladrillo mecanizado que sirve principalmente para soportar las muestras de concreto para ser quemado, sobre estas se colocaron las vigas; así mismo el horno posee dos puertas de tal forma para poder suministrar el combustible, permitir el ingreso del aire y hacer la limpieza respectiva del mismo.

3.7.3.2. *El combustible*

Se ha utilizado como combustible los excrementos de los animales debido a que estas mantienen la temperatura a medida que aumenta el tiempo. Según Díaz, 2015 “Durante las experiencias se ha logrado alcanzar picos de temperatura de 621°C y 613°C, aunque entre los minutos 20 y 30 y hasta el minuto 120 las temperaturas se han mantenido constantes con oscilaciones entre los 400°C y los 550°C. En otras experiencias se han llegado a documentar temperaturas de hasta 640°C”. Por tanto, en cierta forma se ha aprovechado los excrementos de los animales tratando de minimizar el impacto ambiental durante la presente investigación

debido a que en un inicio se pensaba usar otro tipo de combustible como el petróleo o carbón mineral.

3.7.3.3. *El Termómetro Laser-Infrarrojo digital*

El termómetro utilizado fue el pirómetro modelo TP7, en donde esta mide la temperatura de superficies sin contacto por medio de un sensor infrarrojo. El aparato tiene integrado un puntero laser para determinar las temperaturas. Tiene un rango de medición que va desde los $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ a los $550\text{ }^{\circ}\text{C}$. Utiliza una pila como fuente de alimentación.

3.7.4. PROCESO CONSTRUCTIVO DE VIGAS

3.7.4.1. Vigas

Se realizaron 12 vigas de 1.00 m de largo por 0.25 m de ancho por 0.25 m de altura según diseño, con un recubrimiento de 4cm.

Para efectos de ensayos de la tesis la viga estaba simplemente apoyada.

3.7.4.2. *Diseño y proceso constructivo de la viga*

Se diseñó una viga simplemente apoyada a flexión con refuerzo en tensión con $F'c = 210\text{ kg/cm}^2$. El diseño se realizó con las cuantías mínimas

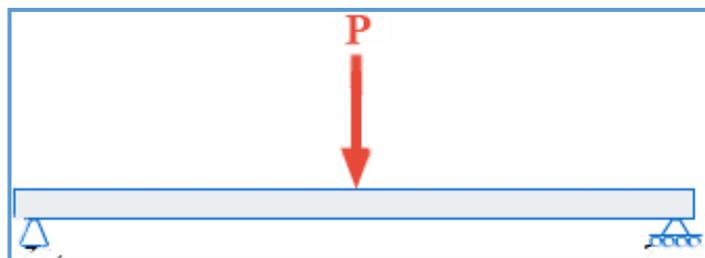


Figura 29. Viga simplemente apoyada.

Obteniendo los siguientes valores de diseño:

Base (b) = 0.25 m

Altura (h) = 0.25 m

Longitud (L) = 1.00 m

$$F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

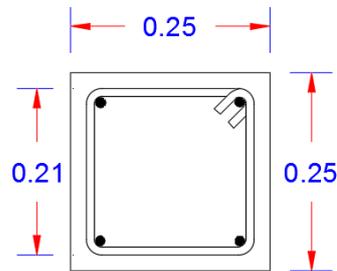
$$A_s = 3/8'' \text{ (acero longitudinal) y } 1/4'' \text{ (estribos)}$$

a. Doblado y montaje de armadura

Para el cortado de los estribos, las medidas se calcularon según Reglamento Nacional de Edificaciones (E 0.60 capítulo 7); en donde detalla los diámetros mínimos de doblado para el estribo y barras longitudinales. Para los estribos se hicieron uso de fierros de 6mm.



Figura 30. Dobles del estribo



Seguidamente cortamos los aceros longitudinales, en este caso se hizo uso de fierro 3/8'' que se puso como fierros longitudinales. El doble se hizo según Reglamento Nacional de Edificaciones.



Figura 31. Aceros longitudinales.

b. Encofrado

Los encofrados se elaboraron con las dimensiones del diseño de la viga; en el fondo y los laterales 0.25 m y de una longitud de 1m. Una vez ya encofrado se colocaron los dados de concreto de 0.4m por 0.4 m, luego de ello se colocó el armazón de la viga



Figura 32. Encofrado y montaje.

c. Colocado del concreto

La preparación del concreto se hizo de acuerdo al diseño de mezclas que se elaboró. Así mismo, para realizar una mezcla homogénea del concreto se hizo uso de un trompo o mezcladora, para luego colocarlo en los respectivos encofrados. El Slump que se obtuvo para la investigación es de 4" teniendo así una consistencia plástica y trabajable.



Figura 33. Colocado del concreto.

d. Desencofrado

El desencofrado se realizó en dos etapas, la primera fue el desencofrado lateral a los 4 días de vaciado y el desencofrado de fondos se realizó después de dos semanas del vaciado

e. Curado

El curado se realizó los 28 días a partir del día siguiente del vaciado. Este curado se realizó tres veces al día.



Figura 34. Curado de las vigas.

f. Pintado de las vigas

Para la protección de las vigas contra el fuego se tuvo que tratar superficialmente con pintura intumescente, a continuación, se mostrará el proceso de pintado:

- Pulido con lija N°200
- Limpiado de vigas de partículas finas como el polvo.
- Pintado de vigas con imprimante.
- Después del colocado del imprimante se procedió a pasar con la pintura intumescente, el pintado de vigas se le hizo dos veces.

g. Aplicación de la Pintura Intumescente

La aplicación de la pintura intumescente se realizó después de dos días de la aplicación del imprimante; ya que la ficha técnica de la pintura recomienda un secado de 6 horas como mínimo, a una temperatura de 20 °C y en ambiente seco. Una vez aplicado la pintura intumescente dejamos a que seque 24 horas



Figura 35. Aplicación de la pintura intumescente.

3.7.5. VIGAS SOMETIDAS A INCENDIO SIMULADO

3.7.5.1. Vigas para el ensayo a compresión

Se elaboraron 12 vigas de concreto armado de las cuales, 3 son vigas patrón expuestas al fuego, 3 son vigas expuestas al fuego con protección superficial de la pintura intumescente en un tiempo de exposición de 30 minutos, 3 son vigas expuestas al fuego con protección superficial de la pintura intumescente en un tiempo de exposición de 60 minutos, 3 son vigas expuestas al fuego con protección superficial de la pintura en un tiempo de exposición de 90 minutos.



Figura 36. Viga simplemente apoyada.

3.7.6. Vigas para compresión expuestas al fuego

Para someter las vigas al fuego se tuvo que construir un horno de una dimensión de 3 de longitud con un ancho de 1.30 y una altura de 1.20 metros, la temperatura fue controlada con un termómetro infrarrojo, para el tiempo de 30 minutos, 60 minutos y 90 minutos. La temperatura para el primer tiempo fue de 300°C a 380°C, para el segundo tiempo de 380°C a 450°C y para el tercer tiempo se controló desde una temperatura de 450°C y llegó hasta una temperatura de 550°C.

Para simular el incendio se hizo uso de distintos materiales como el estiércol de alpaca, ovino, vacuno, madera y materiales hechos de plástico. Estos materiales ayudaron a mantener una temperatura constante y tuvieron una conducción horizontal a lo largo de las vigas.



Figura 37. Viga simplemente apoyada.

Para saber la resistencia a la compresión de las 12 vigas, se extrajo testigos de concreto con diamantina, tales testigos fueron extraídos posterior a los 28 días, así mismo, esta extracción se hizo para las vigas patrón y para las vigas con la protección de la pintura intumescente. Una vez extraída los testigos se sumergió al agua por tres días posterior a ello se realizó el ensayo a compresión de todas las muestras.



Figura 38. Viga simplemente apoyad.

3.7.7. ENSAYO A FLEXION DE LAS VIGAS

Se elaborarán 12 vigas de concreto armado de las cuales, 3 son vigas patrón, 3 son vigas expuestas al fuego con protección superficial de la pintura intumescente en un tiempo de exposición de 30 minutos, 3 son vigas expuestas al fuego con protección superficial de la pintura intumescente en un tiempo de exposición de 60 minutos, 3 son vigas expuestas al fuego con protección superficial de la pintura en un tiempo de exposición de 90 minutos.

Para calcular la deflexión de las 12 vigas, se sometió una carga puntual al medio de la longitud de la viga con apoyos uno fijo y el otro móvil, este ensayo se realizó posterior a los 28 días, así mismo, la aplicación de la carga puntual se hará para las vigas patrón y para vigas que estén protegidas superficialmente con pintura intumescente.



Figura 39. Viga simplemente apoyada.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Evaluación de resultados

Para la evaluación de las propiedades mecánicas de las vigas de concreto armado, se elaboraron 24 vigas; 12 fueron destinadas al ensayo de compresión y 12 destinados al ensayo de resistencia a flexión. Por lo tanto, en la **Tabla 6**, se observa la codificación de las tres muestras a diferentes tiempos de exposición al fuego de 30, 60 y 90 minutos.

Tabla 6

Codificación de las muestras

TIEMPO	CÓDIGO	INTERPRETACIÓN
	MSQ	Muestra sin exposición al fuego y sin pintura
30	MPQSP30'	Muestra Patrón quemado sin pintura a 30 minutos de exposición al fuego
	MQCP30'	Muestra quemada con pintura a los 30 minutos de exposición al fuego
60	MPQSP60'	Muestra Patrón quemado sin pintura a 60 minutos de exposición al fuego
	MQCP60'	Muestra quemada con pintura a los 60 minutos de exposición al fuego
90	MPQSP90'	Muestra Patrón quemado sin pintura a 90 minutos de exposición al fuego
	MQCP90'	Muestra quemada con pintura a los 90 minutos de exposición al fuego

Nota: Fuente, elaboración propia.

4.1.1.1. *Evaluación de resultados a la compresión*

Los ensayos de compresión fueron realizados según la NTP 339.034, para lo cual se extrajeron testigos cilíndricos de las vigas con un diámetro de 10 cm y una altura de 20 cm, se ensayaron a una edad de 40 días. Los resultados de los ensayos a compresión se muestran en la **Tabla 7**, en esta tabla se encuentra una muestra de diseño sin exposición al fuego y sin pintura; así mismo, se encuentra las muestras patrón (expuesta al fuego sin pintura). A continuación, se observa los resultados obtenidos del ensayo a compresión simple en la *figura 40*.

Tabla 7

Resultados del ensayo a compresión simple

TIEMPO	CODIGO	f'c (kg/cm ²)	Perdida de f'c (%)
0 min	MSQ	240.52	-
30 min	MPQSP30'	196.33	18.37%
60 min	MPQSP60'	174.54	27.43%
90 min	MQCP90'	119.71	50.23%

Nota: Elaboración propia.

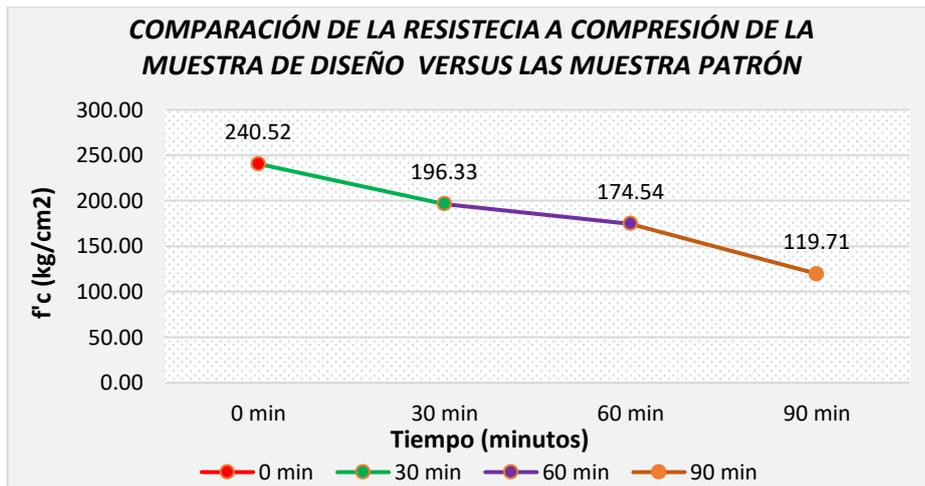


Figura 40. Gráfico de resultados del ensayo a compresión de la muestra de diseño versus la muestra patrón.

En la **Figura 41** se muestra un resumen de la pérdida de resistencia a la compresión de las muestras patrón MPQSP (Muestras patrón quemados sin pintura) en los tres tiempos de 30, 60 y 90 minutos, tales resultados expresados en porcentaje (%).

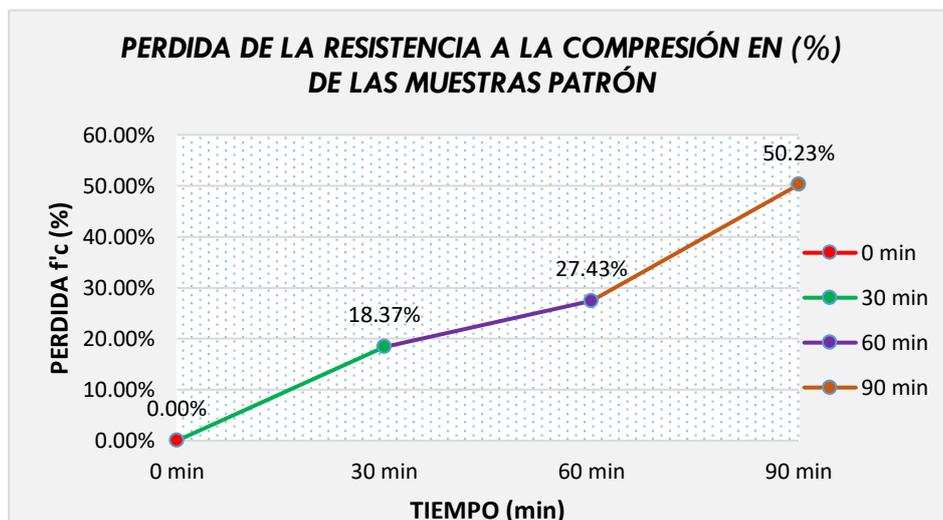


Figura 41. Comparación de las muestras patrón en porcentaje.

En la **Tabla 8** y **Figura 42** se muestran los resultados de la protección que tuvo la propiedad mecánica (resistencia a la compresión) al aplicar superficialmente la pintura intumescente en las vigas respecto a las muestras patrón. Por lo tanto, en esta tabla se muestran las muestras patrón MPQSP (Muestras patrón quemados sin pintura) y las muestras tratadas superficialmente con pintura MQCP (Muestras quemadas con pintura) en los tres tiempos de 30, 60 y 90 minutos.

Tabla 8

Cuadro de resumen de las muestras patrón y las muestras con pintura

TIEMPO	CODIGO	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
30 min	MPQSP30'	196.33
	MQCP30'	217.39
60 min	MPQSP60'	174.54
	MQCP60'	194.77
90 min	MPQSP90'	119.71
	MQCP90'	156.69

Fuente: Elaboración propia.

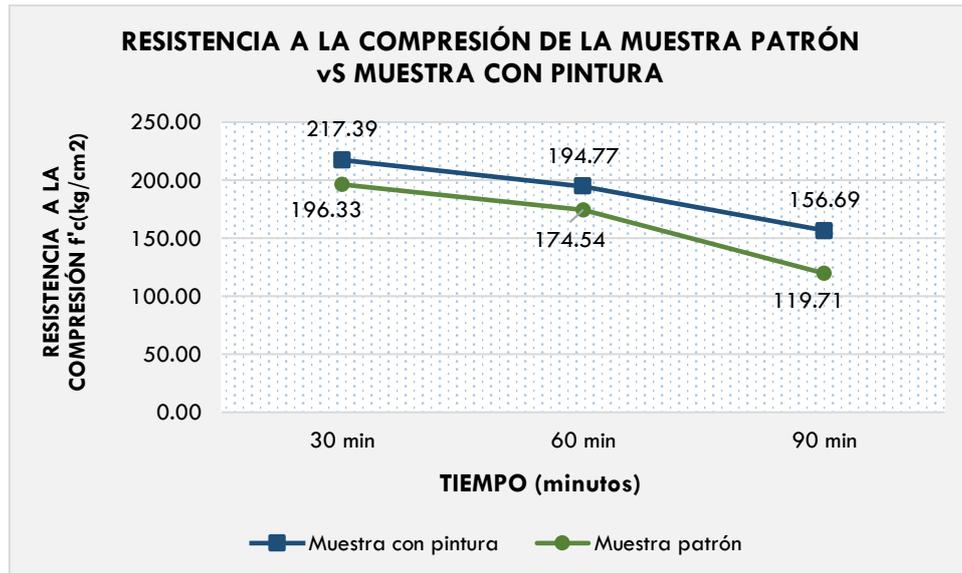


Figura 42. Resumen de muestras patrón y muestras con pintura.

En la **Tabla 9** y la **figura 43** se muestra el porcentaje de protección que tuvo las vigas al ser tratadas superficialmente con pintura intumescente antes de ser expuestas al fuego. Estos

resultados han sido comparados respecto a la muestra patrón (muestras expuestas al fuego y sin pintura).

Tabla 9

Cuadro de las muestras patrón y las muestras con pintura

TIEMPO	CODIGO	Resistencia a la compresión f'c (kg/cm2)	Protección del f'c (%)
30 min	MPQSP30'	196.33	10.73%
	MQCP30'	217.39	
60 min	MPQSP60'	174.54	11.59%
	MQCP60'	194.77	
90 min	MPQSP90'	119.71	15.76%
	MQCP90'	156.69	

Fuente: Elaboración propia.

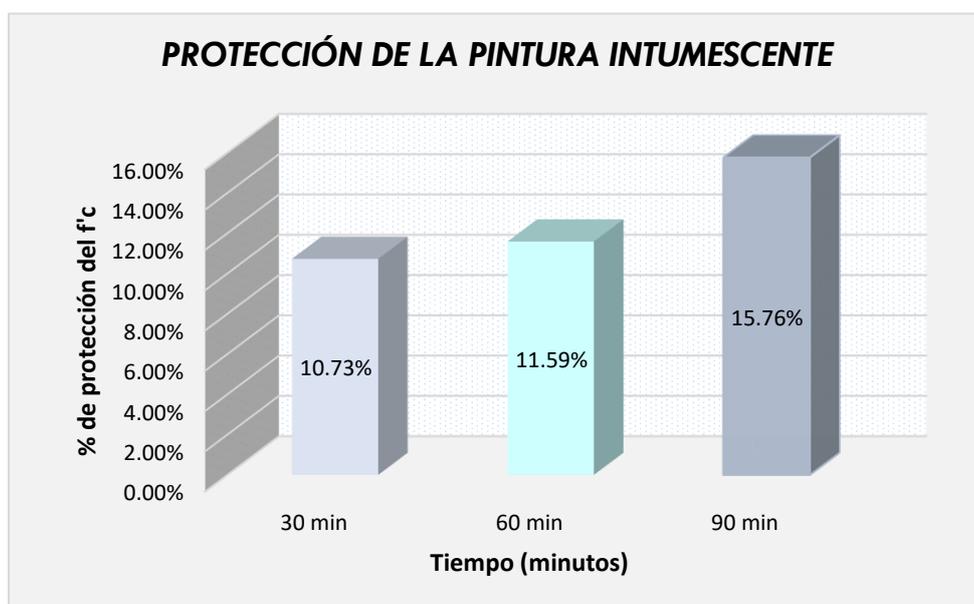


Figura 43. Porcentaje de disminución de la resistencia a la compresión.

Tabla 10

Cuadro de pérdida de resistencia de la muestra patrón, muestra con pintura

TIEMPO	CODIGO	Perdida f'c (kg/cm2)	Protección f'c (%)
0 min	0' MSQ	240.52	-
30 min	MQCP30'	217.39	10%
	MPQSP30	196.33	18%
60 min	MQCP60'	194.77	19%
	MPQSP60	174.54	27%
90 min	MQCP90'	156.69	35%
	MPQSP90	119.71	50%

Nota: Fuente, elaboración propia.

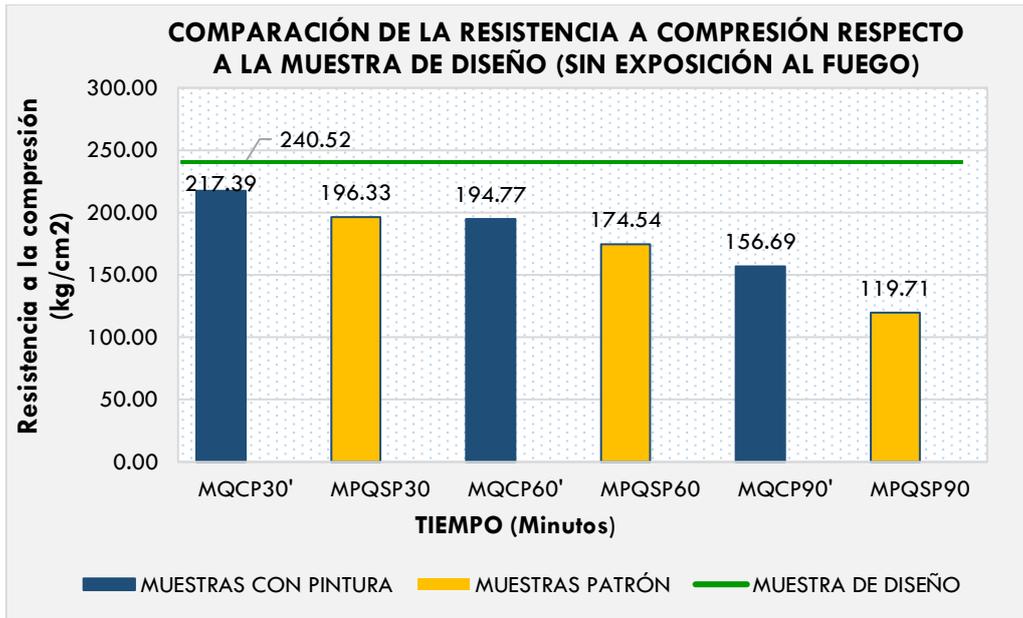


Figura 44. Comparación de la muestra de diseño sin exposición al fuego versus las muestras con pintura y muestras. Patrón

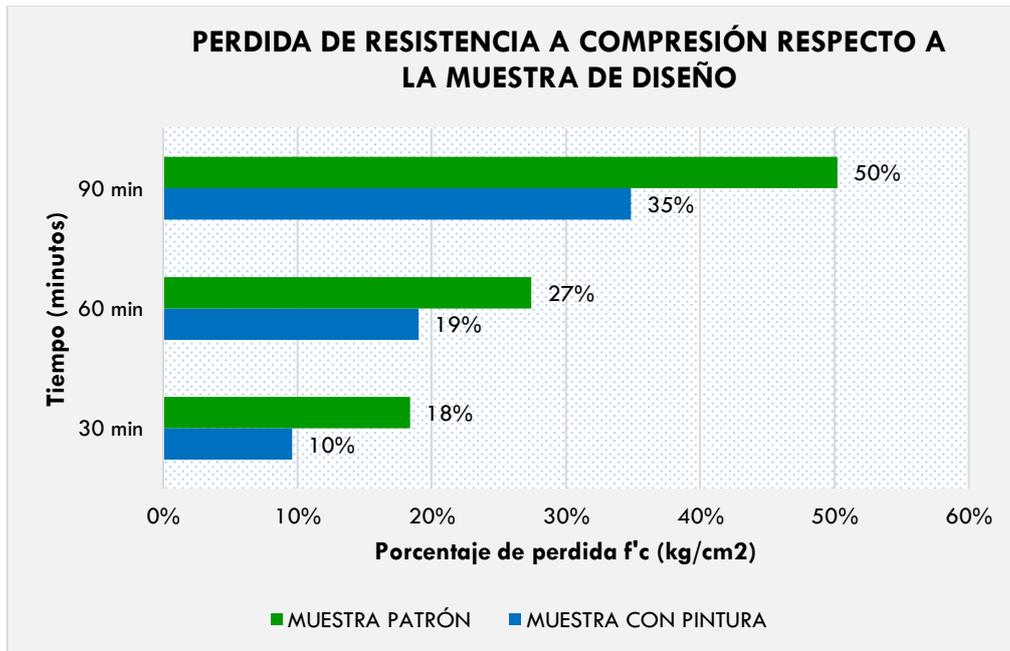


Figura 45. Porcentaje de pérdida de las muestras con pintura y muestras patrón respecto a la muestra de diseño.

4.1.2. EVALUACIÓN DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Los ensayos realizados fueron según la normativa ASTM C293 para la determinación de los resultados. Se tuvo un total de 12 muestras, 3 de ellas muestras patrón y los 9 restantes fueron muestras tratadas superficialmente con pintura intumescente, de estos 9 se agruparon de 3 un grupo de muestras para 30 minutos, otros 3 para 60 minutos y finalmente los 3 restantes para 90 minutos.

4.1.2.1. Evaluación de resultados de la resistencia a la flexión

En la **tabla 11**, **figura 46** y **figura 47** se observa los resultados de la resistencia a flexión y la deflexión de las vigas patrón MPQSP (Muestra patrón quemado sin pintura) estas muestras están a los tres tiempos de 30, 60 y 90 minutos.

Tabla 11

Variación de la resistencia a la flexión de las muestras patrón a 30,60 y 90 minutos

MUESTRA	TIEMPO DE EXPOSICIÓN	TEMPERATURA DE EXPOSICIÓN	CARGA (KN)	MOMENTO ÚLTIMO(KN.M)	DEFORMACIÓN FINAL (MM)
MPQSP30'	30 min	300°C - 500°C	95.98	24.00	25
MPQSP60'	60 min		92.10	23.03	22
MPQSP90'	90 min		87.10	21.78	18

Nota: Fuente, elaboración propia.

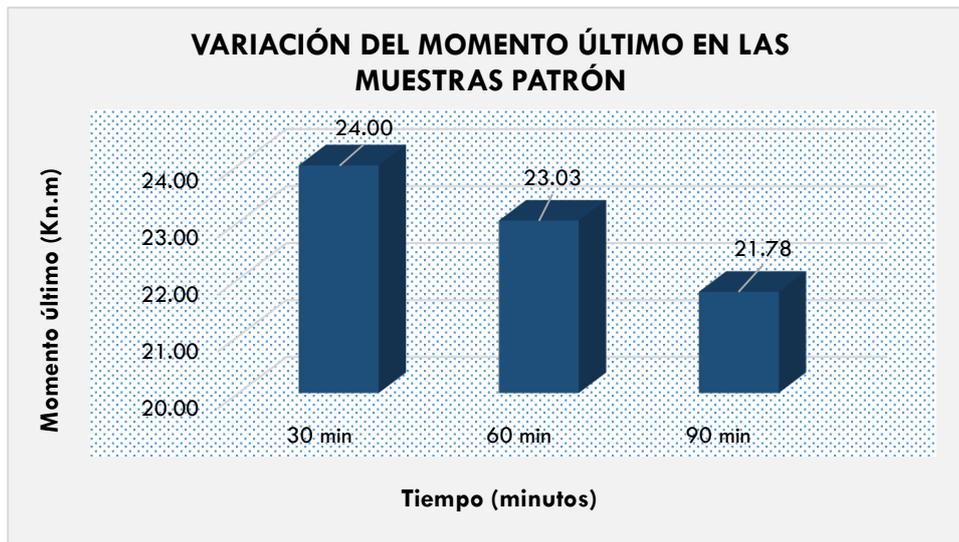


Figura 46. Variación del momento último de las muestras patrón.

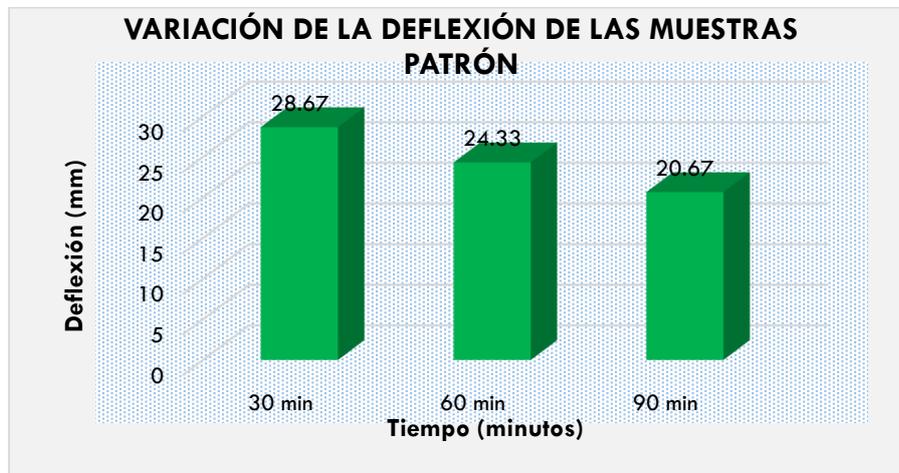


Figura 47. Variación del momento último de las muestras tratadas superficialmente con pintura intumescente.

En la **tabla 12**, **figura 48** y **figura 49** se observa los resultados de la resistencia a flexión de las vigas patrón MPQSP (Muestra patrón quemado sin pintura) y las vigas tratadas superficialmente con pintura MQCP (Muestra quemada con pintura), para evaluar el efecto que tuvo la pintura, estas muestras están a los tres tiempos de 30, 60 y 90 minutos

Tabla 12

Porcentaje de protección de la pintura ante efectos de fuego

MUESTRA	TIEMPO EXPOSICIÓN	TEMPERATURA DE EXPOSICIÓN	CARGA (KN)	MOMENTO ÚLTIMO (KN.M)	(%) DE PROTECCIÓN
MPQSP30´	30 min	300°C - 500°C	95.98	24.00	-
MQCP30´			98.72	24.68	2.86%
MPQSP60´	60 min	300°C - 500°C	92.10	23.03	-
MQCP60´			102.62	25.66	11.42%
MPQSP90´	90 min	300°C - 500°C	87.10	21.78	-
MQCP90´			90.27	22.57	3.64%

Nota: Fuente elaboración propia.

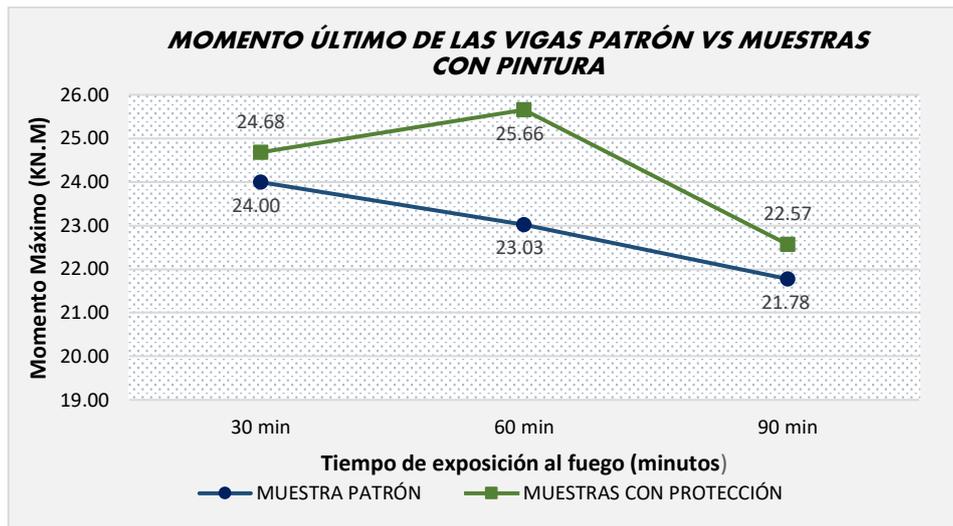


Figura 48. Comparación de los resultados de la muestra patrón y la muestra con pintura.

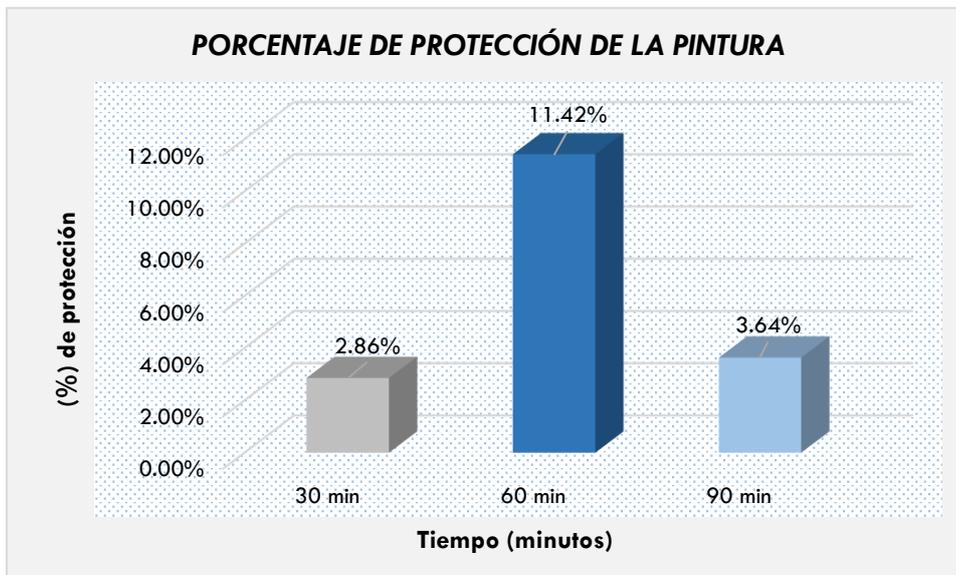


Figura 49. Porcentaje de protección de la pintura intumescente frente al fuego.

En la **figura 50** se observa los resultados de la deflexión de las vigas patrón MPQSP (Muestra patrón quemado sin pintura) y las vigas tratadas superficialmente con pintura MQCP (Muestra quemada con pintura), para evaluar el efecto que tuvo la pintura, éstas muestras están a los tres tiempos de 30, 60 y 90 minutos.

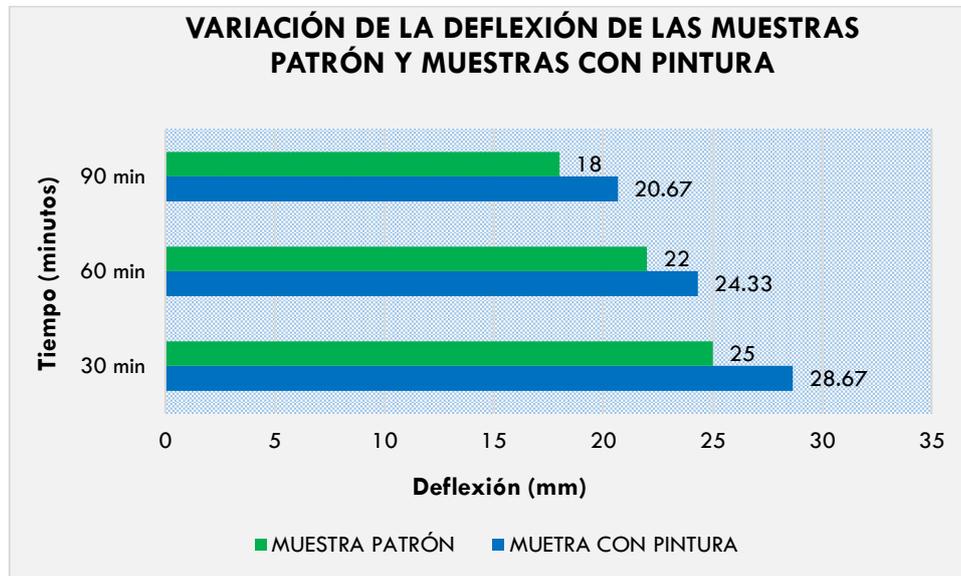


Figura 50. Porcentaje de protección de la pintura intumescente frente al fuego.

4.1.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1.3.1. Resistencia a la compresión

La resistencia a compresión de la muestra de diseño para este ensayo fue de 240.52 kg/cm². Con respecto a las muestras patrón MPQSP (Muestras patrón quemadas sin pintura), la mínima resistencia fue de 119.71 kg/cm² para el tiempo de 90 minutos, estos resultados se pueden observar en la tabla 7 y la figura 40. Las resistencias de las muestras patrón para el tiempo de 30 y 60 minutos, fueron de 196.33 kg/cm² y 174.54 kg/cm². Así mismo, evaluando la resistencia a compresión de la muestra de diseño respecto a la muestra patrón expuesto al mayor tiempo crítico de 90 minutos, en la Tabla 7 se puede observar un descenso de esta propiedad mecánica del 50.23%. Este descenso de su resistencia es debido a que el concreto armado fue expuesto a una temperatura de 450°C a 500°C. Sin embargo, en tiempos de exposición de 30 y

60 minutos la pérdida de resistencia solo fue de un promedio de 20%, este descenso de resistencia corresponde a una temperatura expuesta de 300°C a 450°C. La resistencia del concreto es una propiedad mecánica que depende de las características físico – químicas de los materiales que componen el concreto (cemento, agregados en su mayor cantidad y agua), por otro lado, desde el punto de vista químico en la pasta del cemento, según (MC Alonzo, 2008) indica que los encargados de aportarle resistencia al concreto son los silicatos tricálcicos y los dicálcicos, sin embargo, cuando estos compuestos son expuestos al fuego se descomponen en función a la temperatura alcanzada con lo que se afecta las propiedades mecánicas (resistencia a la compresión) y la adherencia entre la pasta de cemento y los áridos. Así mismo, la disminución de esta propiedad mecánica es por las fisuras que presenta por efecto de haber sido expuesto a las altas temperaturas.

Por otro lado, se puede observar en la Tabla 8 y la Figura 42, la protección que proporcionó la pintura intumescente en la resistencia a la compresión. A los 90 minutos de exposición al fuego la resistencia a la compresión de la muestra patrón MQSP (Muestra quemada sin pintura) fue de 119.71 kg/cm² y la muestra que fue tratada superficialmente con pintura intumescente fue de 156.69 kg/cm², en la Tabla 9 se puede observar que en este tiempo la protección que proporcionó la pintura es de un 15.76% respecto a la muestra patrón. Y en los tiempos de 30 y 60 minutos la protección que proporcionó la pintura intumescente fue 10.73 % y 11.59% respecto a la muestra patrón para este tiempo, con lo cual se pudo demostrar que está pintura intumescente protege hasta en un 10% mayor a los resultados de la muestra patrón. Las características que tiene está pintura que ayudan a la protección frente al fuego es que en su composición química existe un compuesto nitrogenado llamado melamina, que actúa como aislador térmico entre el fuego y una estructura, formando una capa gruesa de escoria esponjosa lo que ocasiona que se retarde el tiempo en que una estructura alcance su temperatura al cual está siendo expuesta.

En la tabla 10 y figura N° 44, se muestra los resultados de la muestra de diseño y las muestras patrón sometidas al fuego. Al evaluar los resultados respecto a la muestra de diseño se observa que las muestras tratadas con pintura MQCP (Muestras quemadas con pintura) reduce en solo 10% en cambio las muestras patrón MPQSP (Muestras patrón quemadas sin pintura) reduce en un 18%, en el tiempo de 60 minutos las muestras tratadas con pintura MQCP (Muestras quemadas con pintura) reduce en solo 19% en cambio las muestras patrón MPQSP (Muestras patrón quemadas sin pintura) reduce en un 27% y en el tiempo de 90 minutos las muestras tratadas con pintura MQCP (Muestras quemadas con pintura) reduce en solo 35% en cambio las muestras patrón MPQSP (Muestras patrón quemadas sin pintura) reduce en un 50%, todas estas reducciones son respecto a la muestra de diseño. Con estos resultados se llega a la conclusión de que las muestras que han sido tratadas superficialmente con pintura intumescente perdieron en menor grado la resistencia a la compresión.

Para aceptar la resistencia mínima de diseño que nos pide la E-060 para cualquier elemento estructural, se observa los resultados de la tabla 8 donde se corrobora que solo cumple una muestra que tiene una resistencia mayor a 210 kg/cm², está muestra es el que fue sometido a los 30 minutos de fuego, su resistencia a la compresión fue de 217.39 kg/cm². En los tiempos de 60 y 90 minutos sus resistencias a la compresión fueron de 194.77 kg/cm² y 156.69 kg/cm², lo cual no es aceptable porque no se encuentra dentro de la resistencia mínima que nos pide la E-060, así mismo, debido a pérdida de la resistencia a la compresión el comportamiento estructural de la viga es afectada de forma negativa, produciéndose mayores deflexiones y pérdida de rigidez.

4.1.3.1. Resistencia a la Flexión

Para realizar este ensayo se trabajó con la normativa ASTM C293, la viga fue sometida a una carga puntual al medio y los apoyos colocados a 5 cm del borde.

En la Tabla 11 se muestra los resultados de las muestras patrón MPQSP (Muestra patrón quemado sin pintura), donde se puede observar que a medida que aumenta el tiempo de exposición al fuego el momento resistente máximo disminuye, para el tiempo de 90 minutos el momento resistente máximo ($M_{m\acute{a}x}$) y la deformación (flecha) fue de 21.78 kN.m y 18mm, que con respecto a las muestras de 30 y 60 minutos fue la más baja.

Los resultados en la Tabla 12, nos muestra el porcentaje de protección que tuvo la pintura intumescente con respecto a las muestras patrón MPQSP (Muestra patrón quemada sin pintura) para cada tiempo, para el mayor tiempo de exposición al fuego de 90 minutos la protección que le proporcionó fue en un 3.64% con respecto a la muestra patrón para ese tiempo. Por lo tanto, la pintura no tuvo un buen desempeño para este tiempo debido a que el compuesto químico llamado melamina que sirve como un aislador, fue descascarándose y dejando espacios sin protección por donde ingreso de manera directa el fuego, debilitando así al momento resistente de la viga. Así mismo, similar comportamiento tuvo para el tiempo de 30 minutos debido a que tuvo una protección del 2.86% respecto a la muestra patrón para ese tiempo, la explicación que se le da es porque en ese corto tiempo la pintura intumescente no fue afectada y sirvió como un excelente aislador frente al fuego. Sin embargo, para los 60 minutos de exposición al fuego el desempeño de la pintura tuvo un mayor resalto debido a que protegió en un 11.42% respecto a la muestra patrón. Llegando a una conclusión que para el tiempo de 60 minutos la pintura intumescente protege de manera adecuada a un elemento estructural, a este tiempo el aislador tiene un mejor comportamiento porque la melamina forma como burbujas y está hace que el fuego no afecte directamente. Con respecto a las deflexiones en la Tabla 11 se observa que hay una relación directa con el momento resistente máximo y el tiempo de exposición al fuego, a menor momento resistente máximo la deflexión será menor.

En la presente investigación se ha mostrado la importancia de la pintura intumescente para disipar el efecto del fuego de una edificación, reduciendo de forma notable los daños producidos por el fuego, así poder salvaguardar la vida de las personas y mantener la estabilidad de la estructura, así mismo, dando a conocer que la pintura intumescente es económicamente viable.

4.1.3.2. *Identificar la influencia de la pintura intumescente en la fisuración y en el cambio de color en vigas de concreto armado.*

Al realizar el ensayo de resistencia a flexión de la viga, se observó que a medida que aumenta la carga se presentó fisuras en la parte central de la viga en la zona inferior, las que se denominan fisuras por flexión, éstas a medida del incremento de carga empiezan a propagarse hacia arriba. La propagación de estas fisuras se controla por el acero longitudinal de flexión en la zona más crítica (fibras interiores) lo que además de limitar el ancho de las fisuras, evita que el eje neutro se desplace excesivamente hacia arriba, de modo que una vez que las fisuras alcanzan el eje neutro, detiene su crecimiento. Al someter una carga a las vigas el tipo de falla que se produjo fue de falla dúctil en donde dicha falla indica un buen diseño.

Luego de la acción del fuego en los diferentes periodos de tiempo se reportan y evidencian en la *figura 51 (vigas sin pintura intumescente)* y *figura 52. (vigas tratadas superficialmente con pintura intumescente)*

Durante el ensayo de resistencia a flexión en la *figura 51 a)*, se observan microfisuras con un ancho no mayor a 1mm, asimismo perdidas de material y coloración gris claro en el elemento, *en la figura 51 b)*, se notó un incremento y propagación rápida de las fisuras propias generadas por flexión, en las vigas con mayor tiempo de exposición a fuego a temperaturas elevadas se expanden los agregados, a la vez se producen cambios en la matriz cementicia. En la rotura de las vigas ensayadas sin pintura intumescente se conservan sin cambios considerables hasta una temperatura superficial de 350 °C, mayores a esta decrecen notablemente, generando descascaramiento ocasionado por el choque térmico del concreto

sometido a una temperatura de 470°C, calcinación superficial un cambio en su tonalidad acompañado de un fisuramiento térmico.

En la figura 51 c), presenta descascaramiento ocasionado por el choque térmico del concreto sometido a temperaturas de 550°C y en la figura 49 d), se parecía calcinación avanzada y gran cantidad de fisuras y coloración gris claro en el elemento, en cuanto el acero de refuerzo No presentó ningún tipo de cambio o alteración ya que el acero pierde sus propiedades a partir de 750°C.

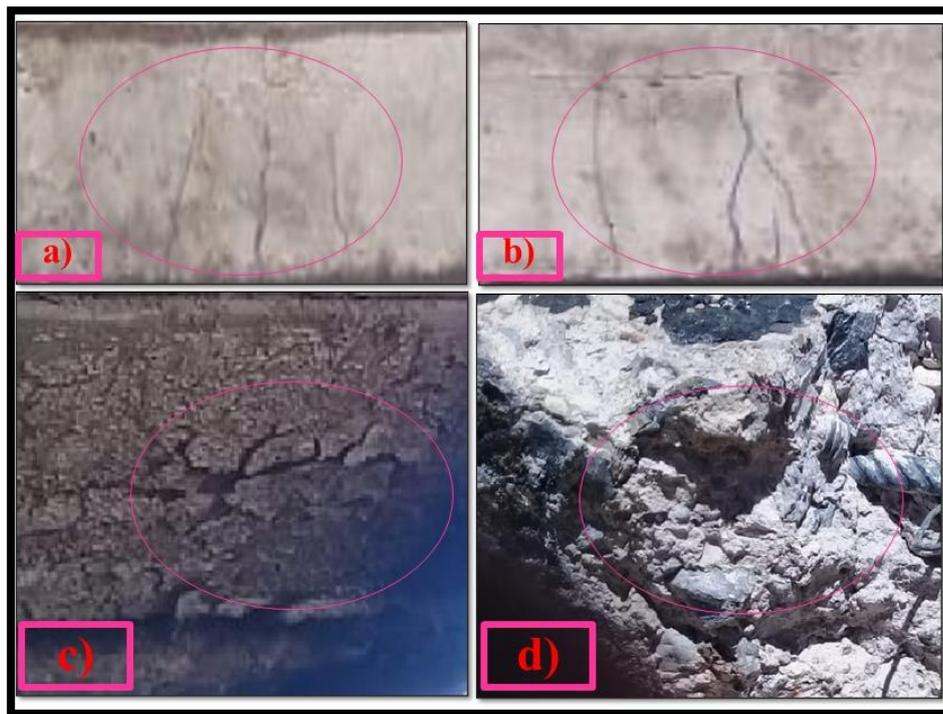


Figura 51. Daños producidos en las vigas de concreto armado sin pintura intumescente después de los diferentes tiempos de exposición al fuego: a) 30 min, b)60 min, c)90 min.

Durante el ensayo de resistencia a flexión en la figura 52 a), se observan microfisuras con un ancho no mayor a 1mm, pérdidas de material no muy avanzada y coloración gris natural en el elemento. En la figura 52 b), la rotura de las vigas ensayadas con pintura intumescente se conserva sin cambios considerables hasta una temperatura superficial de 450 °C, mayores a esta decrecen notablemente, generando descascaramiento ocasionado por el choque térmico del

concreto sometido a una temperatura de 500°C, calcinación superficial un cambio en su tonalidad acompañado de un fisuramiento térmico.

En la figura 52 c), presenta descascaramiento leve ocasionado por el choque térmico del concreto sometido a temperaturas de 450°C y en la figura 50 d), en cuanto el acero de refuerzo no presentó ningún tipo de cambio o alteración ya que el acero pierde sus propiedades a partir de 750°C.

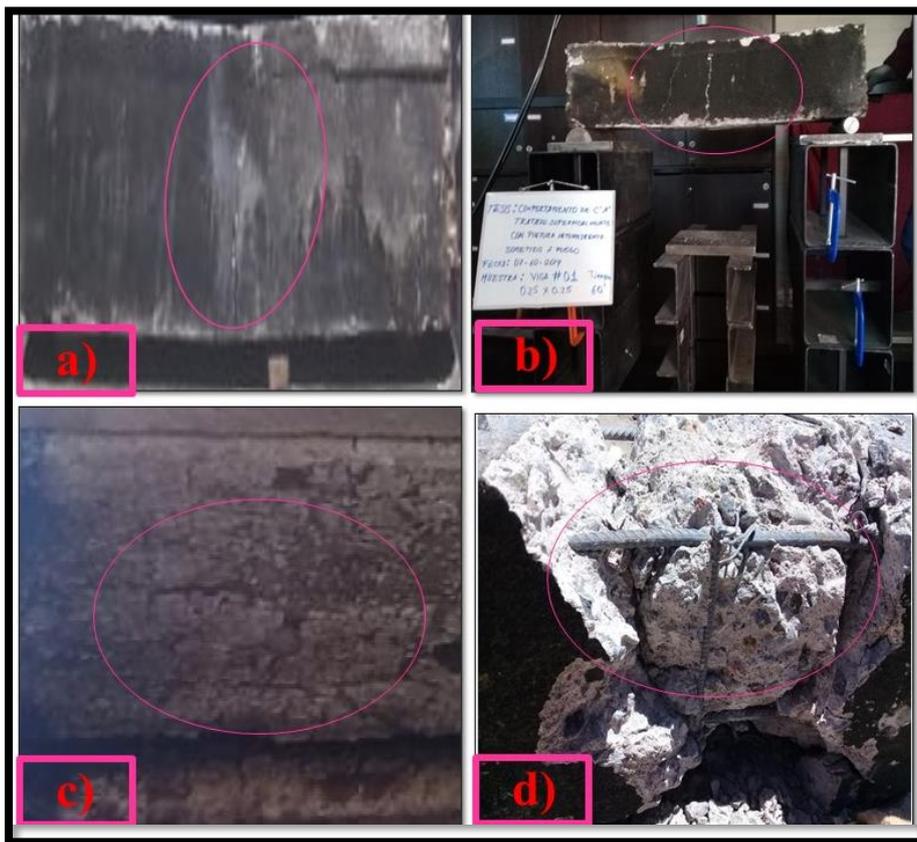


Figura 52. Daños producidos en las vigas de concreto armado con pintura intumescente después de los diferentes tiempos de exposición al fuego: a) 30 min, b)60 min, c)90 min.

4.1.4. VALIDACION DE HIPOTESIS

Hipótesis N°01:

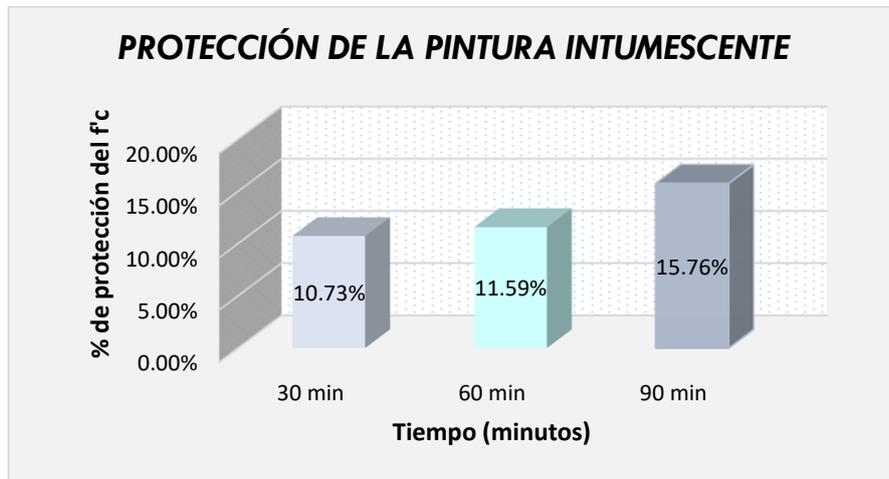


Figura 53. Porcentaje de disminución de la resistencia a la compresión.

A partir de los resultados presentados en la *figura 53*, se aprecia el porcentaje de protección de la pintura intumescente expuesta a fuego en las vigas respecto a las muestras patrón, por tanto:

Se afirma la hipótesis N°01, la resistencia a la compresión en vigas de concreto armado no reduce en más de un 10% al ser tratadas superficialmente con pintura intumescente en un tiempo de exposición al fuego de 30, 60 y 90 minutos.

Hipótesis N° 02:

Los resultados en la Tabla 12, nos muestra el porcentaje de protección que tuvo la pintura intumescente con respecto a las muestras patrón (Muestra patrón quemada sin pintura) para cada tiempo, para el mayor tiempo de exposición al fuego de 90 minutos la protección que le proporcionó fue en un 3.64% con respecto a la muestra patrón para ese tiempo. Por lo tanto, la pintura no tuvo un buen desempeño para este tiempo debido a que el compuesto químico llamado melamina que sirve como un aislador, fue descascarándose y dejando espacios sin

protección por donde ingreso de manera directa el fuego, debilitando así al momento resistente de la viga. Sin embargo, para los 60 minutos de exposición al fuego el desempeño de la pintura tuvo un mayor resalto debido a que protegió en un 11.42% respecto a la muestra patrón. Llegando a una conclusión que para el tiempo de 60 minutos la pintura intumescente protege de manera adecuada a un elemento estructural, a este tiempo el aislador tiene un mejor comportamiento porque la melamina forma como burbujas y está hace que el fuego no afecte directamente.

Tabla 12

Porcentaje de protección de la pintura ante efectos de fuego

MUESTRA	TIEMPO EXPOSICIÓN	TEMPERATURA DE EXPOSICIÓN	CARGA (KN)	MOMENTO ÚLTIMO (KN.M)	(%) DE PROTECCIÓN
MPQSP30´	30 min	300°C - 500°C	95.98	24.00	-
MQCP30´			98.72	24.68	2.86%
MPQSP60´	60 min	300°C - 500°C	92.10	23.03	-
MQCP60´			102.62	25.66	11.42%
MPQSP90´	90 min	300°C - 500°C	87.10	21.78	-
MQCP90´			90.27	22.57	3.64%

Nota: Elaboración propia.

Hipótesis N° 03:

Al ser sometido a una carga, la viga presento fallas por flexión, como se muestra en la figura 51 a), b): y se observan fisuras con un ancho no mayor a 1mm, por tanto, en la rotura de las vigas ensayadas con pintura intumescente se conserva sin cambios considerables hasta una temperatura superficial de 450 °C, mayores a esta el ancho de las fisuras crecen notablemente, generando descascaramiento ocasionado por el choque térmico del concreto sometido a una temperatura de 500°C, calcinación superficial un cambio en su tonalidad acompañado de un fisuramiento térmico. Asimismo, presenta descascaramiento leve ocasionado por el choque térmico del concreto sometido a temperaturas de 500°C

Se afirma la hipótesis específica N°03, Se presentará fisuras y cambios de color en las vigas de concreto armado tratado superficialmente con pintura intumescente al ser sometido a fuego en tiempos de 30, 60 y 90 minutos.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Al culminar la presente investigación se ha llegado a las siguientes conclusiones:

Se determinó la variación de la resistencia a compresión de las vigas de concreto armado que han sido sometidos a fuego, mediante la extracción de testigos, los resultados de la resistencia a compresión de la muestra patrón para el tiempo de 30 minutos fue de 196.33 kg/cm², para 60 minutos fue de 174.54 kg/cm² y para los 90 minutos fue de 119.71 kg/cm² y para los que fueron protegidos superficialmente con pintura intumescente para 30, 60 y 90 minutos fue de 217.39 kg/cm², 194.77 kg/cm² y 156.69 kg/cm², lo cual demuestra que la pintura intumescente protege en más de un 10% respecto a su muestra patrón.

Los resultados de la resistencia a flexión de las muestras patrón para el tiempo de 30, 60 y 90 minutos fue de 24.00 kN.M, 23.03 kN.M y 21.78 kN.M y para las muestras que fueron protegidas superficialmente con pintura intumescente para 30, 60 y 90 minutos fue de 24.68 kN.M, 25.66 kN.M y 22.57 kN.M, lo que demuestra que si hay protección por parte de la pintura, pero resalta que para el tiempo de 60 minutos la protección es un 11.42% respecto a la muestra patrón. Y se concluye que la pintura protege mejor para el tiempo de 60 minutos, debido a que el compuesto químico llamado melamina al ser un aislador, forma una capa en forma de burbujas, esto hace que el fuego no llegue directamente al concreto.

En las muestras patrón se observaron más fisuras que en las muestras que están tratadas superficialmente con pintura intumescente, ya que las muestras tratadas superficialmente con pintura no tuvieron un contacto directo con el fuego.

Finalmente, como investigadores concluimos que la pintura intumescente reduce los daños de la estructura a comparación de una estructura sin protección. Así mismo, se da a conocer

según los resultados obtenidos que la pintura intumescente es una alternativa de protección ante el fuego para la sociedad, siendo económicamente viable y recomendado para todo tipo uso como, oficinas, fábricas, almacenes, bibliotecas.

5.2. RECOMENDACIONES

En edificaciones que hayan sido expuestas a más de 30 minutos a incendios, se recomienda que antes de su reutilización sea evaluado de manera visual determinando el estado físico actual de la estructura y en una segunda etapa usando uno de los siguientes métodos de evaluación: prueba de carga, esclerómetro, ultrasonido, análisis de grietas y extracción de núcleos, para determinar su grado de daño y así precisar que elementos estructurales se han de reparar.

Debido al proceso de la calcinación del concreto y la fisuración del mismo es que se recomienda que el recubrimiento de un elemento estructural sea mayor, ya que en elementos estructurales de concreto armado se alcanza una temperatura mayor en la parte expuesta al incendio y esta se disminuyendo gradualmente al centro del elemento, pudiendo afectar seriamente al refuerzo de acero.

REFERENCIAS

- 318, C. A. (2005). Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318S-05) Y COMENTARIO. USA: american concrete institute.
- Abrams, M. S. (1977). Desempeño de estructuras de concreto expuestas a fuego. *PCA*.
- ACI318, C. (2005). *Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318S-05) y comentario*. USA: American concrete institute.
- Aguirre, M. E., & Aguirre, G. J. (2018). EFECTO DEL TIEMPO DE EXPOSICIÓN AL FUEGO EN LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO. *Revista Gaceta Técnica*.
- Astray, F. N., Martínez, G. C., Ronnualdo, J. A., & Septién, M. S. (1987). INCENDIOS EN EDIFICIOS DE GRAN ALTURA.
- Ávila, J. R., Herazo, Á. R., Mercado, D. J., & Montoya, J. R. (2017). Relación entre resistencia a compresión en cilindros de concreto.
- busto, H. (1989). Análisis de riesgo en el diseño del hospitales en zonas sísmicas.
- C., A. M., & V, F. L. (2013). Determinación de la profundidad de daño en estructuras de hormigón post-incendio. *ALCONPAT*.
- Cachay, S. C. (2003). *CONCRETO ARMADO*. Tarapoto: Universidad Nacional de San Matín.
- Casali, R. A., Caravaca, M. A., Acevedo, C., Miño, J. C., Bizzoto, M., & Torra, R. (2007). Predicción de la resistencia a la compresión y determinación de propiedades estructurales a partir de ensayos no destructivos. *AAENDE*.
- Díaz, P. P. (2015). Combustión de excrementos. Una aproximación experimental. *Revista histórica autónoma* , 13.
- Faller, G. (2004). La identificación de riesgos y el diseño contra incendios. *IETcc*.
- Grant, C. C. (2005). Incendios. *ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO*.
- Harmsen, T. (2005). *Diseño de estructuras de concreto armado*. Lima: PUCP.
- Hernández, N. (2010). Efectos del fuego sobre la resistencia a compresión de un elemento de concreto de resistencia de diseño de 210 kg/cm². *Ingeniería UC*.
- HORMIGÓN, P. T. (2008). SEGURIDAD FRENTE AL FUEGO UTILIZANDO. *HC*.
- Jáquez, E. C. (2016). Efectos del fuego en estructuras de hormigón.
- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de*. EE.UU: PCA.
- López, E. L. (2014). Diseño de Mezclas. *ICG*.

- López, E. R. (2000). *Materiales del Concreto* . Lima: ACI Perú.
- Orjuela, D. F., & López, J. B. (2018). Evaluación y diagnóstico de la resistencia a compresión y a flexión del concreto simple después de expuesto a 450°C. *Creative Commons*.
- Pereira, R., Pires, T., Duarte, D., & Silva, J. (2018). Evaluación de la resistencia mecánica de vigas en hormigón armado después del incendio. *ALCONPAT*.
- Promart. (1999). Soluciones Constructivas para la protección contra el fuego. *Promart*, 20.
- Rodrigues, Y. C., & Pérez, F. C. (2012). Estudios de caso sobre la degradación del hormigón armado sometido a altas temperaturas durante un incendio. *CENIC*.
- Rudeli, N., & Santilli, A. (2017). Medición de resistencia a tempranas edades del hormigón . *Obras y proyectos* .
- Sarmiento, R. O. (2016). *Diseño sismoresistente de concreto armado*. Lima-Perú.
- Vidaud, E. (2013). Fisuras en el concreto. *Construcción y Tecnología en concreto*.

ANEXO A

PANEL FOTOGRAFICO



Imagen N°01: Medición para el cuarteo



Imagen N°02: Realizando el cuarteo



Imagen N°03: Cuarteo de agregado fina



Imagen N°04: Cuarteo de agregado grueso



Imagen N°05: Peso para granulometría (Agregado Grueso)



Imagen N°06: Peso para granulometría (Agregado fino)



Imagen N°07: Tamizado de agregado grueso



Imagen N°08: Tamizado de agregado fino



Imagen N°09: EDnsayo de granulometría (fino)



Imagen N°10: Ensayo de granulometria (grueso)



Imagen N°11: Ensayo de absorción



Imagen N°12: Ensayo de peso específico



Imagen N°13: Comprobación arena superficialmente seca



Imagen N°14: Peso de muestra saturada



Imagen N°15: Materiales para el ensayo de peso unitario suelto y compacto



Imagen N°16: Ensayo de absorción



Imagen N°17: Ensayo de peso unitario compacto



Imagen N°18: Ensayo de la muestra compactada mas molde



Imagen N°19: *Ensayo de peso unitario*



Imagen N°20: *Peso de la muestra suelta más molde*



Imagen N°21: *Medición del molde (agregado grueso)*



Imagen N°22: *Medición del molde (agregado fino)*



Imagen N°23: *Peso de la muestra suelta y compacta*



Imagen N°24: *Ensayo de contenido de humedad*



Imagen N°25: Doblado de estribos para las vigas de concreto armado



Imagen N°26: Doblado de aceros longitudinales



Imagen N°27: Estribos y aceros longitudinales



Imagen N°28: Colocado de los estribos





Imagen N°31: Preparación de concreto para los dados



Imagen N°32: Dados de concreto



Imagen N°33: Nivelación de encofrado



Imagen N°34: Medición del encofrado





Imagen N°37: Preparación del concreto f'c 210 kg/cm2 para el vaciado de las vigas



Imagen N°38: Medición de slump que es de 4''



Imagen N°39: Vaciado de las vigas



Imagen N°40: Curado de las vigas



Imagen N°41: Imprimante



Imagen N°42: superficialmente con imprimante



Imagen N°43: Pintura intumescente



Imagen N°44: superficialmente con pintura intumescente



Imagen N°45: Horno a base de adobe con las dimensiones de las vigas



Imagen N°46: Control de temperatura con termómetro laser



Imagen N°47: Vigas expuestas a fuego



Imagen N°48: Vigas expuestas a fuego con un tiempo de exposición de 90 min.



Imagen N°49: Vigas sometidas a fuego



Imagen N°50: Ensayo de flexion



Imagen N°51: Medición de las fisuras



Imagen N°52: Carga máxima de la viga



Imagen N°53: Medición de la deflexión



Imagen N°54: Viga deflectada



Imagen N°55: Extracción de espécimen con diamantina



Imagen N°56: Vigas extraídas con diamantina



Imagen N°57: Peso del espécimen



Imagen N°58: especímenes extraídos



Imagen N°59: Medición de los especímenes



Imagen N°60: Ensayo a compresión

ANEXO B

ENSAYOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS



CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO Y GRUESO

NTP 400.185 - ASTM C566

PROYECTO : 0

SOLICITANTE : Bach. Madeleyne Nedin Quispe Mamani

Bach. Liz Alicia Quispe Sullca

CANTERA : ILO ILO Y SURUPANA

LUGAR : Ciudad Universitaria UpeU

FECHA : 21/11/2019

AGREGADO FINO				
DATOS DEL ENSAYO				
Item	Descripción	M1	M2	M3
1	Peso de la muestra húmeda + bandeja (gr)	74.00	77.00	76.00
2	Peso de la muestra seca + bandeja (gr)	71.00	74.00	73.00
3	Peso de la bandeja (gr)	16.00	16.00	16.00
4	Peso de la muestra seca húmeda [W=1-3] (gr)	58.00	61.00	60.00
5	Peso de la muestra seca [D=2-3] (gr)	55.00	58.00	57.00
6	Contenido de Humedad [%H=(W-D)/D*100]	5.45%	5.17%	5.26%
RESULTADO PROMEDIO DEL ENSAYO				
CONTENIDO DE HUMEDAD (Arena)		:	5.22%	

AGREGADO GRUESO				
DATOS DEL ENSAYO				
Item	Descripción	M1	M2	M3
1	Peso de la muestra húmeda + bandeja (gr)	156.00	159.00	167.00
2	Peso de la muestra seca + bandeja (gr)	156.00	158.00	166.00
3	Peso de la bandeja (gr)	29.00	29.00	29.00
4	Peso de la muestra seca húmeda [W=1-3] (gr)	127.00	130.00	138.00
5	Peso de la muestra seca [D=2-3] (gr)	127.00	129.00	137.00
6	Contenido de Humedad [%H=(W-D)/D*100]	0.00%	0.78%	0.73%
RESULTADO PROMEDIO DEL ENSAYO				
CONTENIDO DE HUMEDAD (Piedra)		:	0.75%	

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO

NTP 400.012 - ASTM C 136

PROYECTO : 0

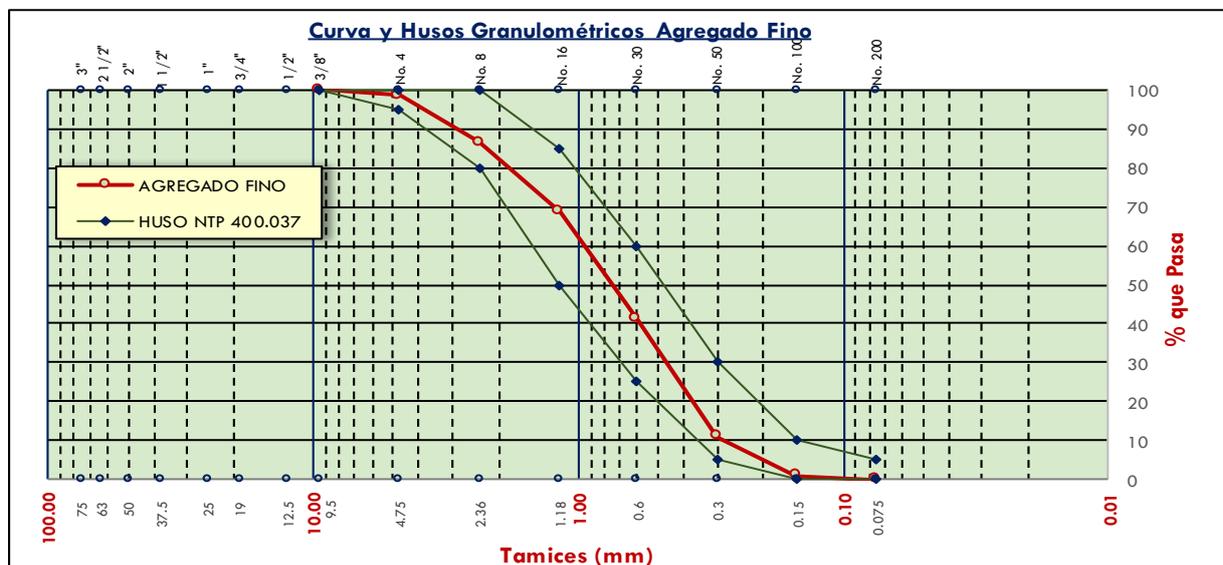
SOLICITANTE : Bach. Madeyleme Nedin Quispe Mamani
 CANTERA : ILO ILO
 LUGAR : Ciudad Universitaria UpeU
 FECHA : 21/11/2019

Bach. Liz Alicia Quispe Sullca

AGREGADO FINO

Tamiz	Abertura mm	Peso Retenido	% Retenido	% Acum. Retenido	% Que Pasa	Especificación	Descripción de la muestra
3"	75.00						
2 1/2"	63.00						
2"	60.00						Peso Inicial : 1000.0 gr
1 1/2"	37.50						Tamaño Máx. : 1 1/2"
1"	25.00						T. M. Nominal : 1"
3/4"	19.00						MF : 2.93
1/2"	12.50						% que pasa N° 200 : 4.51%
3/8"	9.50	0.00	0.0	0.0	100.0	100%	
N° 4	4.75	14.00	1.4	1.4	98.6	95 a 100%	
N° 8	2.36	120.00	12.0	13.4	86.6	80 a 100%	
N° 16	1.18	180.00	18.0	31.4	68.6	50 a 85%	
N° 30	0.60	275.00	27.5	58.9	41.1	25 a 60%	
N° 50	0.30	302.00	30.2	89.1	10.9	5 a 30%	
N° 100	0.15	98.00	9.8	98.9	1.1	0 a 10%	
N° 200	0.075	10.00	1.0	99.9	0.1		
Fondo		1.00	0.1	100.0			
TOTAL		1000.00	100.0		MF =	2.93	
% de Pérdida		0.00					

Nota: El Módulo de Finura se mantendrá dentro del límite de más o menos 0.2 del valor asumido para la selección de las proporciones del concreto; siendo recomendable que el valor asumido esté entre 2.35 y 3.15. Como máximo valor será de 3.35.



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO

NTP 400.012 - ASTM C 136

PROYECTO : 0

SOLICITANTE : Bach. Madeyleme Nedin Quispe Mamani

Bach. Liz Alicia Quispe Sullca

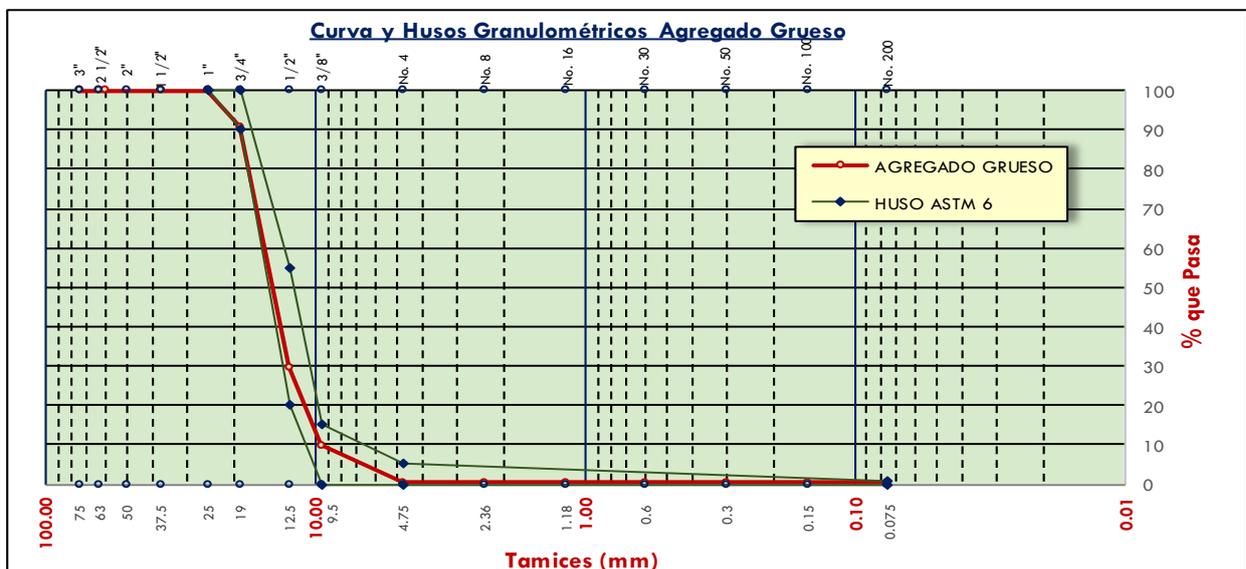
CANTERA : SURUPANA

LUGAR : Ciudad Universitaria UpeU

FECHA : 21/11/2019

AGREGADO GRUESO

Tamiz	Abertura mm	Peso Retenido	% Retenido	% Acum. Retenido	% Que Pasa	Huso	Descripción de la muestra
3"	75.00	0.00	0.0	0.0	100.0		
2 1/2"	63.00	0.00	0.0	0.0	100.0		
2"	60.00	0.00	0.0	0.0	100.0		
1 1/2"	37.50	0.00	0.0	0.0	100.0		
1"	25.00	0.00	0.0	0.0	100.0	1	Peso Inicial : 5000.0 gr Tamaño Máx. : 1 "
3/4"	19.00	464.00	9.3	9.3	90.7	90 a 100%	T. M. Nominal : 3/4" MF : 6.98
1/2"	12.50	3050.00	61.0	70.3	29.7	20 a 55%	% que pasa N° 200 : 1.46%
3/8"	9.50	994.00	19.9	90.2	9.8	0 a 15%	
N° 4	4.75	477.00	9.5	99.7	0.3	0 a 5%	
N° 8	2.36	0.00	0.0	99.7	0.3		
N° 16	1.18	0.00	0.0	99.7	0.3		
N° 30	0.60	0.00	0.0	99.7	0.3		
N° 50	0.30	0.00	0.0	99.7	0.3		
N° 100	0.15	0.00	0.0	99.7	0.3		
N° 200	0.075	0.00	0.0	99.7	0.3		
Fondo		15.00	0.3	100.0			
TOTAL		5000.00	29.7			MF =	6.98
% de Pérdida		0.00					





PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DEL AGREGADO FINO

NTP 400.017 - ASTM C29

PROYECTO : 0

SOLICITANTE : Bach. Madeleyne Nedin Quispe Mamani

Bach. Liz Alicia Quispe Sullca

CANTERA : ILO ILO

LUGAR : Ciudad Universitaria UpeU

FECHA : 21/11/2019

I. PESO UNITARIO SUELTO SECO - PUSS

DATOS DEL ENSAYO

Item	Descripción	I	II	III
1	Peso de la muestra suelta + molde (kg)	4.708	4.714	4.707
2	Peso del molde (kg)	1.850	1.850	1.850
3	Peso de la muestra suelta [1-2] (kg)	2.858	2.864	2.857
4	Constante [1/Vol.molde] (1/m ³)	517.5	517.5	517.5
5	Contenido de humedad (H %)	0.013%	0.013%	0.013%
6	Peso Unitario Suelto Húmedo [P.U.S.H.=3*4] (kg/m ³)	1479.0	1482.1	1478.5
7	Peso Unitario Suelto Seco [P.U.S.S.=P.U.S.H/(1+H%)] (kg/m ³)	1478.8	1481.9	1478.3

RESULTADO PROMEDIO DEL ENSAYO

PESO UNITARIO SUELTO SECO (PUSS) : 1479.7 kg/m³

II. PESO UNITARIO COMPACTADO SECO - PUCS

DATOS DEL ENSAYO

Item	Descripción	I	II	III
1	Peso de la muestra compactada + molde (kg)	4.916	4.910	4.919
2	Peso del molde (kg)	1.850	1.850	1.850
3	Peso de la muestra compactada [1-2] (kg)	3.066	3.060	3.069
4	Constante [1/Vol.molde] (1/m ³)	517.5	517.5	517.5
5	Contenido de humedad (H %)	0.013%	0.013%	0.013%
6	Peso Unitario Compactado Húmedo [P.U.C.H.=3*4] (kg/m ³)	1586.7	1583.6	1588.2
7	Peso Unitario Compactado Seco [P.U.S.S.=P.U.C.H/(1+H%)] (kg/m ³)	1586.5	1583.4	1588.0

RESULTADO PROMEDIO DEL ENSAYO

PESO UNITARIO COMPACTADO SECO (PUCS) : 1587.2 kg/m³



PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO

NTP 400.017 - ASTM C29

PROYECTO : 0

SOLICITANTE : Bach. Madeleyne Nedin Quispe Mamani

Bach. Liz Alicia Quispe Sullca

CANTERA : SURUPANA

LUGAR : Ciudad Universitaria UpeU

FECHA : 21/11/2019

I. PESO UNITARIO SUELTO SECO - PUSS

DATOS DEL ENSAYO

Item	Descripción	I	II	III
1	Peso de la muestra suelta + molde (kg)	10.905	11.934	11.871
2	Peso del molde (kg)	4.729	4.729	4.729
3	Peso de la muestra suelta [1-2] (kg)	6.176	7.205	7.142
4	Constante [1/Vol.molde] (1/m ³)	189.0	189.0	189.0
5	Contenido de humedad (H %)	0.01%	0.01%	0.01%
6	Peso Unitario Suelto Húmedo [P.U.S.H.=3*4] (kg/m ³)	1167.6	1362.1	1350.2
7	Peso Unitario Suelto Seco [P.U.S.S.=P.U.S.H/(1+H%)] (kg/m ³)	1167.5	1362.0	1350.1

RESULTADO PROMEDIO DEL ENSAYO

PESO UNITARIO SUELTO SECO (PUSS) : 1356.0 kg/m³

II. PESO UNITARIO COMPACTADO SECO - PUCS

DATOS DEL ENSAYO

Item	Descripción	I	II	III
1	Peso de la muestra compactada + molde (kg)	12.199	12.144	12.227
2	Peso del molde (kg)	4.729	4.729	4.729
3	Peso de la muestra compactada [1-2] (kg)	7.470	7.415	7.498
4	Constante [1/Vol.molde] (1/m ³)	189.0	189.0	189.0
5	Contenido de humedad (H %)	0.01%	0.01%	0.01%
6	Peso Unitario Compactado Húmedo [P.U.C.H.=3*4] (kg/m ³)	1412.2	1401.8	1417.5
7	Peso Unitario Compactado Seco [P.U.S.S.=P.U.C.H/(1+H%)] (kg/m ³)	1412.1	1401.7	1417.4

RESULTADO PROMEDIO DEL ENSAYO

PESO UNITARIO COMPACTADO SECO (PUCS) : 1414.7 kg/m³



PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL FINO

NTP 400.022 - ASTM C128

PROYECTO : 0

SOLICITANTE : Bach. Madeleyne Nedin Quispe Mamani

Bach. Liz Alicia Quispe Sullca

CANTERA : ILO ILO

LUGAR : Ciudad Universitaria UpeU

FECHA : 21/11/2019

AGREGADO FINO

DATOS DEL ENSAYO

Item	Descripción	M1	M2
1	Peso de la arena superficialmente seca + peso del balon (gr)	362.59	351.42
2	Peso de la arena superficialmente seca + peso del balon + peso del agua (gr)	512.21	500.39
3	Peso del agua [W=2-1] (gr)	149.62	148.97
4	Peso del balon (gr)	113.04	101.77
5	Peso de la arena secada al horno [A] (gr)	239.24	239.32
6	Volumen del balon [V] (ml)	250	250

RESULTADOS DEL ENSAYO

Item	Descripción	M1	M2
1	Peso específico de masa [P.E.M=A/(V-W)]	2.38	2.37
2	Peso específico de masa saturado superficialmente seco [P.E.M.S.S.S=V/(V-W)]	2.49	2.47
3	Peso específico aparente [P.E.A.=A/(V-W)-(V-A)]	2.67	2.65
4	Porcentaje de absorción [(V-A)/A*100]	4.50%	4.46%

RESUMEN:

PESO ESPECÍFICO DE LA MASA	=	2.61 gr/cm ³
PESO ESPECÍFICO DE LA MASA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA	=	2.48 gr/cm ³
PESO ESPECÍFICO APARENTE	=	2.66 gr/cm ³
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	=	3.09%



PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

NTP 400.021 - ASTM C127

PROYECTO : 0

SOLICITANTE : Bach. Madeleyne Nedin Quispe Mamani

Bach. Liz Alicia Quispe Sullca

CANTERA : SURUPANA

LUGAR : Ciudad Universitaria UpeU

FECHA : 21/11/2019

AGREGADO GRUESO

DATOS DEL ENSAYO

Item	Descripción	M1
1	Peso de la muestra seca [A] (gr)	965.13
2	Peso de la muestra saturada superficialmente seca [B] (gr)	990.89
3	Peso en el agua de la muestra SSS + peso en el agua de la canastilla (gr)	1035.4
4	Peso en el agua de la canastilla (gr)	439.5
5	Peso en el agua de la muestra SSS [C= 3-4](gr)	595.9

RESULTADO DEL ENSAYO

Item	Descripción	M1
1	Peso específico de la masa [P.E.M.=A/(B-C)]	2.44
2	Peso específico de la masa SSS [P.E.M.S.S.S=B/(B-C)]	2.51
3	Peso específico aparente [P.E.A. = A/(A-C)]	2.61
4	Porcentaje de Absorción [(B-A)/A*100]	2.67%

RESUMEN:

PESO ESPECÍFICO DE LA MASA	=	2.67 gr/cm ³
PESO ESPECÍFICO DE LA MASA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA	=	2.51 gr/cm ³
PESO ESPECÍFICO APARENTE	=	2.61 gr/cm ³
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	=	2.46%

ANEXO C

DISEÑO DE MEZCLAS PARA LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO



DISEÑO DE MEZCLA PATRÓN

Método de Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados

PROYECTO : 0

SOLICITANTE : Bach. Madeleyne Nedin Quispe Mamani

Bach. Liz Alicia Quispe Sullca

CANTERA : ILO ILO Y SURUPANA

LUGAR : Ciudad Universitaria UpeU

FECHA : 00/01/1900

1.- ESPECIFICACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA

Con la finalidad de calcular las proporciones de los materiales integrantes de una mezcla de concreto a ser empleada en las columnas, vigas y losas de una estructura de concreto armado; construido en la ciudad de Puno, se fijaron las siguientes especificaciones:

- La resistencia a la compresión estará en función de la relación a/c
- Las condiciones de colocación requerirán que la mezcla tenga consistencia plástica, para lo cual se fijó un slump de 4"
- El tamaño máximo nominal (TMN) del agregado deberá ser menor o igual a:
 - a. $1/5$ de la menor dimensión entre caras de los encofrados ($25/5 = 5\text{cm}$)
 - b. $1/3$ del peralte de las viga ($25/3 = 8.3\text{ cm}$)
 - c. $3/4$ del espacio libre mínimo entre barras o alambres individuales de refuerzo ($3 \cdot 17/4 = 12.8\text{ cm}$)
- Por lo tanto el TMN será de $3/4\text{ in}$ (1.91cm).

2.- INFORMACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

DESCRIPCIÓN	CEMENTO	Agregado FINO	Agregado GRUESO	AGUA
Peso específico de la Masa (gr/cm ³)	2.81	2.61	2.67	1.00
Peso Unitario Suelto (kg/m ³)		1479.70	1356.03	1000.0
Peso Unitario Compactado (kg/m ³)		1587.2	1414.7	
Contenido de Humedad (%)		5.22%	0.75%	
Absorción (%)		3.09%	2.46%	
Tamaño Máximo			1"	
Tamaño Máximo Nominal			3/4"	
Módulo de Finura		2.93	6.98	

3.- SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO

Por lo general, el tamaño máximo nominal del agregado debe ser compatible con las dimensiones de la estructura.

Tamaño Máximo Nominal del agregado (TMN)	:	3/4"
---	---	-------------

4.- SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

De acuerdo a las especificaciones técnicas de la obra, las condiciones de colocación requieren que la mezcla tenga una consistencia plástica, correspondiente a un asentamiento de 4".

Asentamiento especificado (Slump)	:	4"
--	---	-----------

13.- CORRECCIÓN POR HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

Las proporciones de los materiales que integran la unidad cúbica de concreto debe ser corregida en función de las condiciones de los agregados fino y grueso, con el objeto de obtener los valores a ser utilizados en obra.

.- Agregado Fino

$$\begin{aligned}\text{Peso Húmedo Agregado Fino} &= \text{Peso Seco (AF)}(1+\%C.H.AF) \\ &= 802.63(1+5.22/100) = 844.51 \text{ kg}\end{aligned}$$

.- Agregado Grueso

$$\begin{aligned}\text{Peso Húmedo Agregado Grueso} &= \text{Peso Seco (AG)}(1+\%C.H.AG) \\ &= 858.60(1+0.75/100) = 865.06 \text{ kg}\end{aligned}$$

Peso Húmedo del Agregado Fino	:	844.51 kg
Peso Húmedo del Agregado Grueso	:	865.06 kg

14.- CÁLCULO DE APORTE DE AGUA DE LOS AGREGADOS

.- Agregado Fino

$$\begin{aligned}\text{Aporte Agua Agregado Fino} &= \text{Peso Seco (AF)}(\%C.H.N - \%ABS)/100 \\ &= 802.63(5.22 - 3.09)/100 = 17.08 \text{ L}\end{aligned}$$

.- Agregado Grueso

$$\begin{aligned}\text{Aporte Agua Agregado Grueso} &= \text{Peso Seco (AG)}(\%C.H.N - \%ABS)/100 \\ &= 858.60(0.75 - 2.46)/100 = -14.66 \text{ L}\end{aligned}$$

Aporte de Agua Agregado Fino	:	17.08 L
Aporte de Agua Agregado Grueso	:	-14.66 L

$$\begin{aligned}\text{Aporte de Agua de los agregados} &= \text{Aporte de Agua (AF)}+\text{Aporte de Agua (AG)} \\ &= 2.42 \text{ L}\end{aligned}$$

Aporte de Agua de los Agregados	:	2.42 L
--	----------	---------------

15.- CÁLCULO DEL AGUA EFECTIVA

El agua efectiva estará determinada por el ajuste del agua de diseño, debido al aporte de la humedad superficial de los agregados.

$$\begin{aligned}\text{Agua Efectiva} &= \text{Agua de diseño} - \text{Aporte de Agua de agregados} \\ &= 202.58 \text{ L}\end{aligned}$$

Agua Efectiva	:	203 L
----------------------	----------	--------------

Los pesos de los materiales integrantes de la unidad cúbica de concreto, ya corregidos por humedad del agregado, a ser empleados en las mezclas de prueba se muestra en el siguiente cuadro resumen.

RESUMEN:	
Cemento	= 410.000 kg
Agua Efectiva	= 203 L
Agregado Fino Húmedo	= 844.506 kg
Agregado Grueso Húmedo	= 865.061 kg
Aire	= 2.00%
Total	= 2322.15 kg/m³

16.- TANDA DE DISEÑO

Para la realización de los ensayos de las vigas que se elaborarán, ya sea en estado fresco y endurecido, se fija en función de la producción máxima de vigas y considerando un desperdicio del 10%.

Cantidad máxima de vigas	:	24 Unidades
Volumen de cada viga	:	0.0625 m3
Porcentaje de desperdicio del concreto	:	10.00%

Tanda de diseño	:	1.650 m3
-----------------	---	----------

17.- PROPORCIONES EN PESO DE OBRA

PROPORCIONES EN PESO				
Material	Peso Húmedo kg/m3	Diseño Unitario kg	Tanda por Bolsa kg	Tanda en kg para 1.650m3
Cemento	410.00	1.00	42.50	676.50
Agregado Fino	844.51	2.06	87.54	1393.44
Agregado Grueso	865.06	2.11	89.67	1427.35
Agua	202.58	0.49 L	21.00 L	334.26 L
Total	2119.57		240.71	3831.55

1 : 2.06 : 2.11 / 0.49

18.- CÁLCULO DE LAS PROPORCIONES EN VOLUMEN DE OBRA

DOSIFICACIÓN EN VOLUMEN						
Material	Peso Seco kg/m3	Tanda por Bolsa (kg)	P.U.S. kg/m3	Vol. Aparente (pie3)	Tanda por Bolsa (pie3)	Tanda por M3 de concreto
Cemento	410.00	42.50	1500.87	9.65	1.00	9.65 Bls
Agregado Fino	802.63	87.54	1556.91	18.21	1.89	0.52 m3
Agrgado Grueso	858.60	89.67	1366.24	22.19	2.30	0.63 m3
Agua	202.58	21.00	1000.00	202.58	21.00 L	202.6 L
Total	2273.81	240.71				

1 : 1.89 : 2.30 / 21 L/bolsa

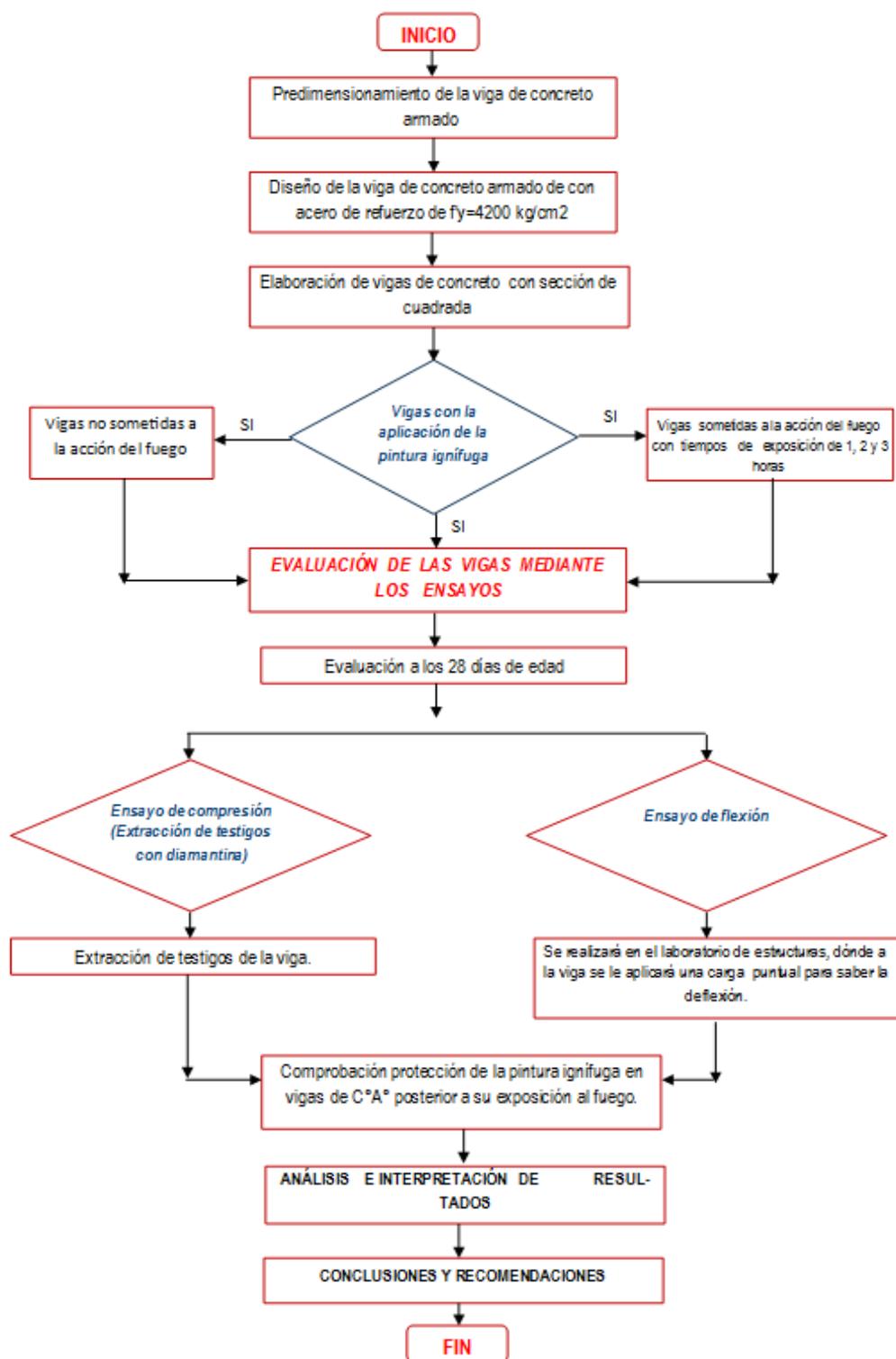


Figura : Diagrama de flujo de la investigación

ANEXO D

PROCESAMIENTO DE DATOS DEL ENSAYO A COMPRESIÓN Y FLEXIÓN

1. DATOS DEL ENSAYO A COMPRESIÓN

Elemento	Dimensiones			Area (cm ²)	Peso (gr)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)	Relación de Esbeltes H/D	Corrección por esbeltes factor "F"	Resistencia Máxima corr. Qu=qu*F (Kg/cm ²)
	Volumen (cm ³)	Diámetro "D" (cm)	Altura "H" (cm)							
MPSQ	1322.80	9.44	18.9	69.99	2933	17024.2	243.24	2.00	1	243.24
MPSQ	1268.10	9.45	18.08	70.14	2832	16847.1	240.20	1.91	0.99	237.80
MPQ30'	1171.43	9.40	16.88	69.40	2603	13902.8	200.33	1.80	0.98	196.33
MQ30'	1324.20	9.44	18.92	69.99	2952	16142.2	230.64	2.00	1	230.64
MQ30'	1156.54	9.41	16.63	69.55	2592	14487.3	208.31	1.77	0.98	204.15
MPQ60'	1107.24	9.44	15.82	69.99	2472	12594.05	179.94	1.68	0.97	174.54
MQ60'	1334.75	9.47	18.95	70.44	2931	14107.2	200.29	2.00	1	200.29
MQ60'	1362.41	9.53	19.10	71.33	2948	13499.7	189.26	2.00	1	189.26
MPQ90'	1306.75	9.42	18.75	69.69	2896	8342.7	119.71	1.99	1.00	119.71
MQ90'	1263.89	9.45	18.02	70.14	2819	11506.3	164.05	1.91	0.99	162.41
MQ90'	1243.18	9.43	17.8	69.84	2805	10650	152.49	1.89	0.99	150.96



ENSAYO A FLEXIÓN

ASTM C 293

PROYECTO : "Comportamiento del concreto armado tratado superficialmente con pintura intumescente sometido a fuego en la ciudad de Juliaca"

SOLICITANTE : Bach. Madeyleme Nedin Quispe Mamani Bach. Liz Alicia Quispe Sullca

DIMENSIONES : VIGA (0.25 x 0.25 X 1.00)

MUESTR A	TIEMPO EXPOSICIÓN	TEMPERATURA DE EXPOSICIÓN	CARGA (KN)	CARGA (N)	MOMENTO MÁXIMO (KN/M)	DEFORMACIÓN FINAL (MM)
MPQ30'	30 min	300°C - 500°C	95.98	95980.00	24.00	25
MQ30'			104.08	104080.00	26.02	19
MQ30'			95.45	95450.00	23.86	30
MQ30'			96.64	96640.00	24.16	19

MUESTR A	TIEMPO EXPOSICIÓN	TEMPERATURA DE EXPOSICIÓN	CARGA (KN)	CARGA (N)	MOMENTO MÁXIMO (KN/M)	DEFORMACIÓN FINAL (MM)
MPQ60'	60 min	300°C - 500°C	92.1	92100.00	23.03	22
MQ60'			99.61	99610.00	24.90	24
MQ60'			92.65	92650.00	23.16	24
MQ60'			115.6	115600.00	28.90	25

MUESTR A	TIEMPO EXPOSICIÓN	TEMPERATURA DE EXPOSICIÓN	CARGA (KN)	CARGA (N)	MOMENTO MÁXIMO (KN/M)	DEFORMACIÓN FINAL (MM)
MPQ60'	90 min	300°C - 500°C	87.1	87100.00	21.78	18
MQ60'			86.45	86450.00	21.61	16
MQ60'			89.12	89120.00	22.28	24
MQ60'			95.24	95240.00	23.81	22