

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



Una Institución Adventista

Influencia de la alta temperatura en la resistencia a flexión de un elemento de concreto armado de $f'c$ 210 kg/cm² de 20 cm de peralte por la acción del fuego directo en la base de su sección transversal en el laboratorio de la UPeU Lima en el 2019

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

Por:

Roling Jair Zelaya Gonzalez

Asesor:

Ing. Roberto Roland Yoctun Ríos

Lima, octubre de 2020

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TESIS

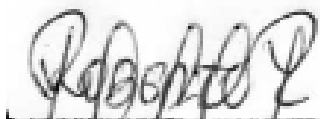
Ing. Roberto Roland Yoctún Rios, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil , de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“Influencia de la alta temperatura en la resistencia a flexión de un elemento de concreto armado de $f'c$ 210 kg/cm² de 20 cm de peralte por la acción del fuego directo en la base de su sección transversal en el laboratorio de la UPeU lima en el 2019”** constituye la memoria que presenta el Bachiller Roling Jair Zelaya González 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 del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 22 días del mes de diciembre del año 2020



Ing. Roberto Roland Yoctún Rios

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los 29 día(s) del mes de octubre del año 2020 siendo las 17:00 horas, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: Mg. Leonel Chahuares Paucar, el secretario: Ing. Ferrer Canaza Rojas... y los demás miembros: Ing. Miguel Angel Galarreta Chávez y el asesor Ing. Roberto Roland Yoctun Ríos, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Influencia de la alta temperatura en la resistencia a flexión de un elemento de concreto armado de f_c 210 Kg/cm² de 20 cm de peralte por la acción del fuego directo en la base de su sección transversal en el laboratorio de la UPEU Lima en el 2019"

.....de el(los)/la(las) bachiller/es: a)..... **ROLING JAIR ZELAYA GONZALES**.....

.....b).....

.....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)/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): **ETSON BRYAM HUAMAN CABRERA**

| CALIFICACIÓN | ESCALAS | | | Mérito |
|--------------|-----------|---------|-------------|-----------|
| | Vigesimal | Literal | Cualitativa | |
| APROBADO | 16 | B | BUENO | MUY BUENO |

Candidato (b):

| CALIFICACIÓN | ESCALAS | | | Mérito |
|--------------|-----------|---------|-------------|--------|
| | Vigesimal | Literal | Cualitativa | |
| | | | | |

(*) 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.


Presidente
Mg. Leonel
Chahuares Paucar

Secretario
Ing. Ferrer Canaza
Rojas

Asesor
Ing. Roberto Roland
Yoctun Ríos

Miembro
Ing. Miguel Angel
Galarreta Chávez

Miembro


Candidato/a (a)
Roling Jair Zelaya
Gonzalez

Candidato/a (b)

Índice General

| | |
|--|-----------|
| Índice de Tablas | 6 |
| Índice de imágenes..... | 7 |
| Índice de Graficas | 10 |
| Resumen..... | 12 |
| 1.) CAPÍTULO I EL PROBLEMA | 13 |
| 1.1.) Identificación del problema..... | 13 |
| 1.2.) Objetivos. | 14 |
| 1.2.1.) Objetivo general. | 14 |
| 1.2.2.) Objetivos específicos..... | 15 |
| 1.3.) Alcances y limitaciones..... | 15 |
| 1.3.1.) Alcances. | 15 |
| 1.3.2.) Limitaciones | 15 |
| 1.4.) Justificación..... | 16 |
| 1.5.) Presuposición filosófica. | 17 |
| 2.) CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO..... | 18 |
| 2.1.) Antecedentes de la investigación. | 18 |
| 2.1.1.) Antecedentes Nacionales..... | 18 |
| 2.1.2.) Antecedentes internacionales. | 18 |
| 2.2.) Teorías relacionadas al tema. | 19 |
| 2.2.1.) Temperatura..... | 19 |

| | |
|--|-----------|
| 2.2.2.) Calor. | 20 |
| 2.2.3.) Concreto. | 21 |
| 2.2.4.) Acero. | 23 |
| 2.2.5.) Concreto armado. | 23 |
| 2.2.6.) Diseño por flexión de vigas de concreto armado. | 23 |
| 2.2.7.) Comportamiento del concreto simple expuesto al fuego. | 26 |
| 2.2.8.) Comportamiento de los agregados expuestos al fuego..... | 27 |
| 2.2.9.) Comportamiento del acero expuesto al fuego. | 27 |
| 2.2.10.) Comportamiento al fuego de vigas de concreto Armado. | 28 |
| 2.2.11.) ISO 834..... | 29 |
| 2.3.) Definición de términos. | 30 |
| 3.) CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS | 31 |
| 3.1.) Enfoque. | 31 |
| 3.2.) Tipo. | 31 |
| 3.3.) Nivel..... | 31 |
| 3.4.) Hipótesis y variables. | 31 |
| 3.5.) Operación de variables..... | 32 |
| 3.6.) Diseño De Investigación. | 32 |
| 3.7.) Muestreo..... | 32 |
| 3.7.1.) Cálculo de momento último. | 33 |
| 3.8.) Materiales y equipos. | 36 |

| | |
|--|----|
| 3.8.1.) Materiales. | 36 |
| 3.8.2.) Equipos. | 36 |
| 3.9.) Procedimiento de ejecución. | 38 |
| 3.9.1.) Diagrama de flujo de la ejecución. | 38 |
| 3.9.2.) Acopio de materiales. | 39 |
| 3.9.3.) Elaboración de encofrado para vigas. | 39 |
| 3.9.4.) Habilitación de Acero. | 40 |
| 3.9.5.) Preparación de mezcla de concreto. | 41 |
| 3.9.6.) Colocado del concreto. | 45 |
| 3.9.7.) Desencofrado de vigas de concreto armado. | 46 |
| 3.9.8.) Curado de vigas de concreto armado. | 46 |
| 3.9.9.) Ensayo a compresión probetas. | 47 |
| 3.9.10.) Ensayo a flexión de Vigas. | 48 |
| 3.9.11.) Quemado de vigas. | 50 |
| 3.9.12.) Extracción de vástagos de concreto. | 55 |
| 3.9.13.) Ensayo a compresión de vástagos de concreto. | 60 |
| 3.9.14.) Extracción de barras de acero corrugado. | 62 |
| 4.) CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIONES | 64 |
| 4.1.) Resultados del ensayo de flexión. | 64 |
| 4.1.1.) Grupo de control. | 64 |
| 4.1.2.) Grupo experimental. | 66 |

| | |
|---|-----|
| 4.2.) Resultado de compresión de vástagos de concreto extraído de las vigas. | 72 |
| 4.3.) Resultado de ensayos de tracción de acero. | 73 |
| 4.4.) Discusión de resultados en relación al objetivo general. | 76 |
| 4.4.1.) Influencia de la alta temperatura en la resistencia a flexión..... | 76 |
| 4.4.2.) Resultados relacionados de investigaciones similares. | 85 |
| 4.4.3.) Resultados no relacionados en investigaciones similares. | 89 |
| 4.5.) Discusión de resultados en relación a objetivos específicos. | 89 |
| 4.5.1.) Efecto de la alta temperatura en la resistencia a tracción del acero. | 89 |
| 4.5.2.) Efecto de la alta temperatura en el tipo de falla de un elemento de concreto armado sometido a flexión. | 93 |
| 5.) CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 104 |
| 5.1.) Conclusiones. | 104 |
| 5.2.) Recomendaciones..... | 107 |
| 6.) Referencias. | 108 |

Índice de Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Cuadro de operación de variables. | 32 |
| Tabla 2 Cuadro de datos de materiales y de la sección de viga. | 34 |
| Tabla 3 Cuadro de proporciones del primer diseño de mezcla. | 41 |
| Tabla 4 Cuadro de proporciones del primer diseño de mezcla. | 42 |
| Tabla 5 Resultados del ensayo a compresión del primer diseño de mezcla..... | 42 |
| Tabla 6 Proporciones del diseño de muestra empírico..... | 43 |
| Tabla 7 Resultados del ensayo a compresión del diseño de mezcla empírico. | 43 |

| | | |
|----------|--|----|
| Tabla 8 | Proporciones del diseño de mezcla empírico..... | 44 |
| Tabla 9 | Resultados del ensayo a compresión del diseño de muestra empírico..... | 47 |
| Tabla 10 | Resultados del ensayo a flexión de vigas ASTM C-293 del grupo control. | 64 |
| Tabla 11 | Resultados del ensayo a flexión de vigas ASTM C-293 del grupo experimental. | 66 |
| Tabla 12 | Resultados de los ensayos de compresión de vástagos de concreto. | 72 |
| Tabla 13 | Resultados del ensayo de tracción de acero emitido por el laboratorio de ensayo de materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería..... | 76 |
| Tabla 14 | Fuerza de falla de vigas y porcentaje de excedencia a la fuerza teórica de falla. | 77 |
| Tabla 15 | Se muestra temperatura, tiempo de exposición y fuerza de falla de vigas experimentales. | 79 |
| Tabla 16 | Temperatura alcanzada en un incendio en función del tiempo y el recubrimiento. | 87 |
| Tabla 17 | Perdida de Resistencia en Función de la Temperatura. | 88 |
| Tabla 18 | Tipos de falla de vigas. | 98 |

Índice de imágenes

| | | |
|----------|--|----|
| Imagen 1 | Estado de deformación de una viga ante cargas altas y cargas moderadas (Nilson, 2001). | 24 |
| Imagen 2 | Esfuerzos internos en una sección de concreto armado (Nilson, 2001)..... | 25 |
| Imagen 3 | Curva ISO 834..... | 30 |
| Imagen 4 | Vigueta de muestra..... | 33 |
| Imagen 5 | Sección de viga de muestra. | 34 |
| Imagen 6 | Idealización de la Viga (McCormac & Brown, 2015). | 35 |
| Imagen 7 | Diagrama de flujo de la investigación..... | 38 |
| Imagen 8 | Acopio de agregados grueso y fino. | 39 |

| | | |
|-----------|--|----|
| Imagen 9 | Módulo de encofrado de vigas. | 40 |
| Imagen 10 | Habilitación de acero de refuerzo en encofrado. | 40 |
| Imagen 11 | Materiales y equipos para el vaciado del concreto. | 45 |
| Imagen 12 | Encofrado y vibradora de concreto Boch. | 45 |
| Imagen 13 | Vigas de concreto armado de sección de 0.20x0.10 m y 1.20 m de largo. | 46 |
| Imagen 14 | Curador de concreto Membranil y equipo de pulverización manual. | 47 |
| Imagen 15 | Ensayo de flexión de vigas de 3 puntos de contacto ASTM C- 293. | 48 |
| Imagen 16 | Prensa de concreto suspendida de viga de concreto armado. | 49 |
| Imagen 17 | Ensayo de flexión de viga #13 adaptado a norma ASTM C – 293. | 49 |
| Imagen 18 | Quemado a 300 °C de viga #12. | 51 |
| Imagen 19 | soplete del GLP y termocupla tipo J. | 51 |
| Imagen 20 | Quemado a 500 °C de la viga #8. | 52 |
| Imagen 21 | Quemado a 700 °C de viga #5. | 53 |
| Imagen 22 | Quemado a 900 °C de viga #2. | 54 |
| Imagen 23 | Incandescencia del concreto a 900 °C. | 55 |
| Imagen 24 | Perforación y anclaje de la perforadora de diamantina. | 56 |
| Imagen 25 | Equipo de perforación de diamantina anclado y bomba de agua para refrigeración. | 57 |
| Imagen 26 | Punto de extracción de vástago de concreto. | 58 |
| Imagen 27 | Equipo de perforación de diamantina sobre punto de extracción de vástago de concreto. | 58 |
| Imagen 28 | Perforación y extracción de vástago de concreto. | 59 |
| Imagen 29 | Vástago de concreto extraído de la viga #7. | 59 |
| Imagen 30 | Vástagos de concreto. | 60 |
| Imagen 31 | Toma de medidas de vástago de concreto. | 61 |

| | |
|---|----|
| Imagen 32 Prensa de concreto Forney y vástago de concreto. | 61 |
| Imagen 33 Falla por compresión de vástago de concreto. | 62 |
| Imagen 34 Extracción de barra de refuerzo con roto martillo Boch. | 62 |
| Imagen 35 Barra de refuerzo extraídas de viga control y vigas expuestas a 300 °C, 500 °C, 700 °C y 900 °C. | 63 |
| Imagen 36 Varilla #8 de acero de 1/2" de 50 cm largo. | 63 |
| Imagen 37 Vástagos de concreto. | 73 |
| Imagen 38 Vástago de concreto sometido a ensayo de compresión ASTM C-39. | 73 |
| Imagen 39 Varilla # 2 diámetro nominal 1/2" de 50 cm de largo. | 74 |
| Imagen 40 Varilla # 6 de 1/2" diámetro nominal, 50 cm de largo y 700 °C de exposición de recubrimiento. | 74 |
| Imagen 41 Varilla # 8 de 1/2" diámetro nominal, 50 cm de largo y 500 °C de exposición de recubrimiento. | 74 |
| Imagen 42 Varilla # 12 de 1/2" diámetro nominal, 50 cm de largo y 300 °C de exposición de recubrimiento. | 75 |
| Imagen 43 Varilla # 15 de 1/2" diámetro nominal, 50 cm de largo y pertenece al grupo control. | 75 |
| Imagen 44 Líneas isotérmicas en una sección de concreto. | 88 |
| Imagen 45 Falla de la muestra #13. | 93 |
| Imagen 46 Falla de la muestra #14. | 94 |
| Imagen 47 Falla de la muestra # 15. | 94 |
| Imagen 48 Falla de la muestra # 11. | 94 |
| Imagen 49 Falla de la muestra # 10. | 95 |
| Imagen 50 Falla de la muestra # 09. | 95 |
| Imagen 51 Falla de la muestra # 8. | 95 |

| | |
|---|----|
| Imagen 52 Falla de la muestra # 7. | 96 |
| Imagen 53 Falla de la muestra # 6. | 96 |
| Imagen 54 Falla de la muestra # 5. | 96 |
| Imagen 55 Falla de la muestra # 4. | 97 |
| Imagen 56 Falla de la muestra # 3. | 97 |
| Imagen 57 Falla de la muestra # 2. | 97 |
| Imagen 58 Falla de la muestra # 1. | 98 |

Índice de Graficas

| | |
|---|----|
| Gráfica 1 Grafica fuerza/tiempo del ensayo a flexión de la viga # 13. | 64 |
| Gráfica 2 Grafica fuerza/tiempo del ensayo a flexión de la viga # 14. | 65 |
| Gráfica 3 Gráfica fuerza/tiempo del ensayo a flexión de la viga # 15. | 65 |
| Gráfica 4 Gráfica fuerza/tiempo del Ensayo a flexión de la viga # 11. | 67 |
| Gráfica 5 Grafica fuerza/tiempo del ensayo a flexión de la viga # 10. | 67 |
| Gráfica 6 Grafica fuerza/tiempo del ensayo a flexión de la viga # 9. | 68 |
| Gráfica 7 Gráfica fuerza/tiempo del ensayo a flexión de la viga # 8. | 68 |
| Gráfica 8 Grafica fuerza/tiempo del ensayo a flexión de la viga # 7. | 69 |
| Gráfica 9 Grafica fuerza/tiempo del ensayo a flexión de la viga # 6. | 69 |
| Gráfica 10 Grafica fuerza/tiempo del ensayo a flexión de la viga # 5. | 70 |
| Gráfica 11 Grafica fuerza/tiempo del ensayo a flexión de la viga # 4. | 70 |
| Gráfica 12 Grafica fuerza/tiempo del ensayo a flexión de la viga # 3. | 71 |
| Gráfica 13 Grafica fuerza/tiempo del ensayo a flexión de la viga # 2. | 71 |
| Gráfica 14 Gráfica fuerza/tiempo del ensayo a flexión de la viga # 1. | 72 |
| Gráfica 15 Fuerza de falla de Vigas en el Ensayo de Flexión ASTM C- 293. | 78 |
| Gráfica 16 Fuerza de falla de vigas en el ensayo de flexión ASTM C-293 expuestas a 900 °C. | 80 |

| | |
|--|-----|
| Gráfica 17 Fuerza de falla de vigas en el ensayo de flexión ASTM C-293 expuestas a 700 °C..... | 80 |
| Gráfica 18 Fuerza de falla de vigas en el ensayo de flexión ASTM C-293 expuestas a 500 °C..... | 81 |
| Gráfica 19 Fuerza de falla de vigas en el ensayo de flexión ASTM C-293 expuestas a 300 °C..... | 81 |
| Gráfica 20 Esfuerzo de falla de vástagos de concreto..... | 83 |
| Gráfica 21 Porcentaje de resistencia obtenida de acuerdo a la resistencia de 420.075 Kg/cm2..... | 84 |
| Gráfica 22 Porcentaje de resistencia pérdida de acuerdo a la resistencia de 420.075 Kg/cm2. | 84 |
| Gráfica 23 Resistencia inicial y final del concreto..... | 85 |
| Gráfica 24 Esfuerzo límite de la fluencia de varillas. | 90 |
| Gráfica 25 Esfuerzo máximo de varillas..... | 91 |
| Gráfica 26 Esfuerzo de fluencia inicial y final..... | 91 |
| Gráfica 27 Esfuerzo máximo inicial y final del acero de refuerzo..... | 92 |
| Gráfica 28 Cantidad de tipos de falla obtenidos por los ensayos de flexión ASTM C 293. | 99 |
| Gráfica 29 Número de fallas dúctiles obtenidas por el ensayo a flexión ASTM C 293. . | 100 |
| Gráfica 30 Número de fallas balanceadas obtenidas por el ensayo a flexión ASTM C 293. | 101 |
| Gráfica 31 Número de fallas frágiles obtenidas por el ensayo a flexión ASTM C 293... | 101 |

Resumen

Las altas temperaturas tienen un efecto destructivo en la mayoría de las estructuras, estos efectos a través de la historia han provocado graves consecuencias. En la presente investigación se fabricó un grupo de 14 muestras que luego fueron divididas dos grupo experimental y grupo control. El grupo experimental, con un total de 11 muestras, se sometió a efecto de altas temperaturas, luego de ello, fueron sometidas al ensayo de flexión ASTM C-293 con el objetivo de analizar los efectos de la alta temperatura en la resistencia a flexión comparando tales resultados con los obtenidos del grupo control de 03 muestras de concreto armado idénticas sin ser expuestas a altas temperaturas. Del grupo experimental se extrajo muestras del concreto y del acero, después de realizados los ensayos de flexión ASTM C-293 para analizar sus propiedades residuales. Finalmente se puede observar que el grupo experimental resistió una mayor fuerza de falla en el ensayo ASTM C-293 que las muestras del grupo control no sometidas a altas temperaturas, además, los resultados de los ensayos del acero determinaron que el acero del grupo experimental incrementó sus propiedades estructurales mientras el acero del grupo control no sufrió incrementos, sin embargo, los ensayos de compresión de concreto mostraron que el concreto del grupo experimental sufrió pérdidas de resistencia mientras el concreto del grupo de control se mantuvo.

PALABRAS CLAVE: Resistencia a flexión del concreto, efectos de altas temperatura, ASTM C-293,

1.) CAPÍTULO I EL PROBLEMA

1.1.) Identificación del problema.

Los efectos de la alta temperatura son los más destructivos que puede sufrir una estructura. Provocadas por incendios, las altas temperaturas pueden producir la pérdida de propiedades estructurales importantes, que pueden ser, reversibles e irreversibles de acuerdo al material estructural. (Figueroa Orjuela & Bello López, 2018).

La resistencia a la flexión es una propiedad importante que poseen las vigas y viguetas de concreto armado, no obstante, esta propiedad puede verse afectada tanto si el concreto o el acero sufren pérdidas de resistencia al ser expuestos a temperaturas elevadas por lo que podría ocasionar un colapso estructural. (Guangzhong, Ba; Jijun, Miao; Weiping, Zhang; Jialiang, Liu, 2019).

La resistencia a flexión de un elemento de concreto armado depende de la resistencia a compresión del concreto y de la resistencia a tracción del acero. La resistencia del concreto puede verse afectada al elevarse la temperatura por encima de los 300 °C. (Huincho Salvatierra, 2017). El acero, al igual que el concreto pierde resistencia si es sometido a altas temperaturas por encima de los 500 °C (Sánchez A.M. y Plumier L. (, 2008).

En un incendio, los elementos estructurales más perjudicados son las vigas y las losas, esto se debe a que reciben de manera directa la mayor cantidad de flamas durante el tiempo que dure el incendio, lo cual puede provocar, la pérdida de la resistencia a flexión. Por tales razones es importante analizar el efecto de la alta temperatura para poder determinar si la estructura afectada se encuentra en condiciones de servicio o requiere ser reparada o reemplazada.

Los efectos de las altas temperaturas son provocados por incendios, los pueden desatarse en cualquier momento y lugar, por ejemplo, en el Perú han ocurrido varios incendios que sometieron a efectos de alta temperatura a diversas estructuras, provocado grandes pérdidas económicas y de vidas humanas, tales como el incendio de la sede central del Banco de la

Nación el 28 de julio del año 2000, Mesa redonda el 29 de diciembre del 2001, que se cobró la vida de más de 200 personas y una pérdida económica de aproximadamente 10 millones de dólares de acuerdo al diario “El Comercio”. Otro caso fue el incendio de Las Malvinas, el 22 de junio del 2017, que cobró víctimas humanas y dejó la estructura del edificio Nicolini en estado inhabitable. En otros países, el efecto de las altas temperaturas también ha provocado pérdidas, por ejemplo: en España, el edificio Windsor de Madrid se incendió el 12 de febrero del 2005, sometiendo a su estructura a efectos de las altas temperaturas, provocando el colapso de la estructura metálica y un colapso parcial de la estructura de concreto armado.

Estas eventualidades, han llevado a realizar investigaciones para analizar los efectos de la alta temperatura en la resistencia a compresión del concreto, sin embargo, se requiere realizar investigaciones que también determinen de manera precisa la pérdida de resistencia a flexión de un elemento de concreto armado al ser sometido a altas temperaturas. (De Sousa & Moreno Jr, 2010).

Conocer los efectos de las altas temperaturas en la resistencia a flexión de un elemento de concreto armado, será de provecho para usuarios de este tipo de estructuras. De manera secundaria también será provechoso para las compañías de bomberos, la comunidad científica y universitaria, además, comprobará si lo establecido en cuanto a recubrimientos en la norma E060 satisface la protección requerida ante el fuego.

1.2.) Objetivos.

1.2.1.) Objetivo general.

Analizar la influencia de la alta temperatura en la resistencia a flexión de un elemento de concreto armado de $f'c$ 210 Kg/cm² de 20 cm de peralte por la acción del fuego directo en la base de su sección transversal en el laboratorio de la UPEU Lima en el 2019.

1.2.2.) Objetivos específicos.

- Analizar el efecto de la alta temperatura en la resistencia del acero longitudinal de un elemento de C°A° simplemente apoyado de 20 cm de peralte por la acción del fuego directo en la base de su sección en el laboratorio de la Upeu Lima En El 2019.
- Analizar el efecto de la alta temperatura en el tipo de falla de un elemento de C°A° simplemente apoyado de 20 cm de peralte por la acción del fuego directo en la base de su sección transversal en el laboratorio de la UPeU Lima en el 2019.

1.3.) Alcances y limitaciones.

1.3.1.) Alcances.

La presente investigación determinará la influencia de la alta temperatura en la resistencia a flexión de viguetas típicas de una losa de 20 cm de espesor por acción de fuego directo a mitad de su luz y en la base del peralte en un tramo de 20 cm.

Se realizarán comparaciones de las resistencias obtenidas y el tipo de falla del grupo de viguetas de control y grupo experimental.

Se evaluará los efectos del fuego directo y la acción del recubrimiento en el acero positivo y en la resistencia del concreto de las viguetas, comparando su resultado inicial y final con probetas de control.

Las muestras serán sometidas a alta temperatura soportando únicamente su peso propio.

1.3.2.) Limitaciones

La investigación abarcara únicamente la resistencia a flexión del elemento de concreto armado y la resistencia a tracción del acero y compresión del concreto.

Los elementos de concreto armado que se evaluarán serán de dimensiones de 10x20 cm de sesión y 1.20 m de largo.

1.4.) Justificación.

El mejor modo de determinar los efectos de la alta temperatura en la resistencia flexión del concreto armado es sometiendo a un elemento de concreto armado a tales efectos. Está comprobado que tanto el concreto como el acero pierden sus propiedades estructurales al ser sometidos a los efectos de las altas temperaturas, sin embargo, existen interacciones entre el concreto y el acero que podrían reducir la pérdida de resistencia frente a los efectos de la alta temperatura, no obstante, persiste la incertidumbre que generan los efectos de la alta temperatura en la resistencia a flexión de un elemento de concreto armado. Dicha incertidumbre plantea un problema, el cual es resuelto al someter un grupo elementos de concreto armado en forma de vigas a los efectos de la alta temperatura, mientras preserva un grupo idéntico como control sin ser sometidos a dichos efectos. Finalmente, se ensayan a flexión ambos grupos y se comparan los resultados. En el presente proyecto se realizará el proceso mencionado con la finalidad de analizar los efectos de las altas temperaturas en la resistencia a flexión de los elementos de concreto armado, lo cual permitirá analizar los efectos de la alta temperatura en la resistencia a flexión de un elemento de concreto armado.

Existen otras investigaciones que han estudiado el efecto de las altas temperaturas en la resistencia característica de alguno de los componentes del concreto armado de manera individual. (Figuroa Orjuela & Bello López, 2018) observó una disminución de la resistencia a compresión y aparición de fisuras al promediar los 450 °C. De manera similar la investigación de (Escorihuela & Fernandez Peña, 1976) observaron la formación de fisuras en el concreto por efecto de las altas temperaturas. La presente investigación permitirá ampliar el panorama de las investigaciones citadas afirmando o no sus conclusiones y al mismo tiempo, se darán conclusiones como respuesta al problema.

Esta investigación se realizará utilizando procedimientos que serán sometidos a prueba mediante la ejecución. Al finalizar estos procedimientos, se podrá ofrecer recomendaciones con el objetivo de facilitar las futuras investigaciones similares.

1.5.) Presuposición filosófica.

El presente proyecto tiene la intención de advertir sobre los posibles daños que pueda haber sufrido una estructura por efectos de las altas temperaturas, ya que, de no prestarle atención, no significara que el problema haya desaparecido. Tal concepto es basado, personalmente, en el siguiente proverbio bíblico: “El que encubre sus pecados no prosperará, mas el que los confiesa y se aparta, alcanzara misericordia” (Proverbios 28:13). En ocasiones, los problemas pueden verse encubiertos por la incertidumbre o el desconocimiento, sin embargo, para prosperar hace falta descubrir el origen del problema y resolver la manera de apartarlo para alcanzar misericordia.

2.) CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1.) Antecedentes de la investigación.

2.1.1.) Antecedentes Nacionales.

(Delgado Poma, 1996) Llevó a cabo un estudio en el concreto simple, donde pudo observar el cambio en la apariencia física de las probetas de concreto sometidas a temperaturas de 100 °C, 200°C, 300 °C Y 400 °C, y como resultado de ser sometidos a estas temperaturas, las probetas expuestas a más de 300 °C perdieron resistencia a la compresión.

(Chauca Rodríguez & Cruz Córdova, 2014) Llevaron a cabo una investigación similar en la Universidad Nacional del Santa, afirmando que los concretos de mayor resistencia a la compresión poseen menor resistencia a las altas temperaturas, sin embargo, los concretos con menor resistencia a la compresión tiene mayor resistencia.

(Huincho Salvatierra, 2017) Realizó una investigación en la Universidad Nacional de Ingeniería del Perú, en la que evaluaba la resistencia mecánica del concreto expuesto a fuego directo en probetas. Logró determinar que a mayor relación de agua/cemento, mayor es la pérdida de resistencia a compresión y pérdida de masa. Todo esto da lugar al desarrollo de nuevas investigaciones.

2.1.2.) Antecedentes internacionales.

(Welch, Torero, & Usmani, 2007) Publicaron un artículo científico titulado “Behaviour of concrete Structures in fire” en el que analizaron el efecto de la alta temperatura en el concreto estructural, logrando determinar que las propiedades del concreto cambian dramáticamente cuando es expuesto a altas temperaturas mayores a 500 °C, el principal efecto que descubrieron es la pérdida de resistencia a la compresión, el desprendimiento y agrietamiento de su superficie.

(De Sousa & Moreno Jr, 2010) Realizaron un estudio similar para la Revista Ibracon de estructuras y Materias, en el que observaron que el concreto expuesto a altas temperaturas

perdía su resistencia a la compresión, pero curiosamente al ser rehidratado recuperaba parte de su resistencia, pero al llegar a temperaturas cercanas a los 900 grados su resistencia es casi reducido a cero.

(Figuroa Orjuela & Bello López, 2018) Llevaron a cabo la evaluación y diagnóstico de la resistencia a compresión y flexión del concreto simple después de ser expuesto a 450 °C en la Universidad Católica de Colombia. Con los resultados obtenidos, pudieron determinar que el Concreto simple al alcanzar una temperatura aproximada de 450 °C grados empieza a presentar fisuras, micro fisuras y además comienza a perder resistencia a compresión y flexión.

2.2.) Teorías relacionadas al tema.

2.2.1.) Temperatura.

Se puede decir que la temperatura es una propiedad variable que poseen los cuerpos, mediante la temperatura se puede determinar si los cuerpos están en equilibrio térmico con otros cuerpos. Resulta difícil ofrecer una definición exacta del concepto de temperatura, ya que la temperatura está basada en la noción medible del calor. El ser humano común utiliza sus sentidos para medir la temperatura de manera cualitativa utilizando simplemente las palabras frío y caliente para evaluar la temperatura, sin embargo, necesita valerse de escalas e instrumentos de medición como termómetros para medirla y obtener un valor exacto, ya que, utilizando únicamente los sentidos resulta imposible asignar valores numéricos y confiables a la temperatura, esto se debe a que nuestros sentidos resultan engañosos e imprecisos para medir la temperatura. Para resolver este problema el ser humano se ha guiado de varias propiedades de la materia, las cuales cambian muy repetible y predeciblemente sus propiedades a determinadas temperaturas, como por ejemplo la el agua y su punto de congelación a los 0 grados centígrados. Existen escalas para medir la temperatura, estas permiten usar una base numérica común para las mediciones, las cuales toman de referencia el punto de vapor y el

punto de congelación. Las escalas en que se mide la temperatura son: Celsius, Fahrenheit, Kelvin, Rankine. (Çengel & Boles, 2015).

Existen diversos equipos para medir la temperatura, uno de los más conocidos es el termómetro de mercurio, sin embargo, este equipo presenta muchas desventajas al momento de medir temperaturas elevadas. Para medir la temperatura sin estar al contacto con el elemento a medir, existen los termómetros laser infrarrojos, pirómetros, termocuplas, y una gran variedad de equipos.

2.2.2.) Calor.

El calor es una forma de energía, se transfiere de un sistema a otro y da como resultado una temperatura promedio entre ambos sistemas, en pocas palabras se puede decir que el calor es la cantidad de energía transferida durante el ya mencionado proceso y que finalmente en ambos sistemas se obtiene la misma temperatura. (Zemanzky & Dittman, 1985).

Existen diversas formas de transmitir el calor de un cuerpo a otro, por ejemplo, cuando en un cuerpo existe un gradiente de energía alta la teoría y la práctica indican que hay transferencia desde la región de alta energía (Temperatura) hacia la de baja energía (Temperatura). Estas formas son las siguientes:

2.2.2.1.) Transferencia de calor por conducción:

Este tipo de transferencia de calor requiere de un material conductor del calor, dependerá del material la óptima conducción del calor ya que existen materiales que suelen comportarse como aislantes del calor. (Çengel & Boles, 2015).

2.2.2.2.) Transferencia del calor por convección:

En esta forma de transferencia de calor intervienen fluidos compresibles e incompresibles. Esta transferencia de calor resulta posible debido al flujo provocado por el calor, haciendo que se traslade de un lugar a otro transfiriéndolo. (Çengel & Boles, 2015).

2.2.2.3.) Transferencia de calor por radiación:

Esta transferencia de calor se lleva a cabo cuando el calor emitido por un cuerpo es tan elevado que, sin la necesidad de existir contacto entre ellos, ni fluidos que transporten el calor se logra llevar a cabo la transferencia de calor, como por ejemplo, un cortador Laser transfiere calor por medio de radiación que corta los materiales. (Çengel & Boles, 2015).

2.2.3.) Concreto.

El concreto es un material compuesto, una piedra artificial formada por tres componentes básicos como: Agregado grueso, agregado fino, cemento y agua, siendo su ingrediente principal el cemento, que actúa como material ligante o aglomerante. Sus características principales son, la durabilidad y su alta resistencia a compresión. El concreto se presenta en dos estados conocidos como estado fresco (antes de fraguar) y el estado sólido o endurecido. En estos distintos estados, el concreto presenta una serie de propiedades diferentes, por ejemplo, el concreto en estado fresco presenta las siguientes propiedades como: trabajabilidad, consistencia, compacidad, segregación, exudación, contracción, peso unitario y contenido de aire. Estas propiedades son variables y algunas de ellas desaparecen después de una vez el concreto ya fraguado. El concreto fraguado obtiene las siguientes propiedades: resistencia mecánica, durabilidad, impermeabilidad, estabilidad volumétrica, elasticidad, etc. Sin embargo, la durabilidad del concreto puede verse afectada a consecuencia de ataques físicos y químicos. (Zabaleta G., 1992).

2.2.3.1.) Resistencia mecánica de concreto.

La resistencia a compresión del concreto es la característica más importante que posee como material de construcción. Esta resistencia depende de las propiedades, calidad y proporción de los materiales utilizados en su elaboración, tales como el cemento, la resistencia y tamaño de los agregados, del agua y por ultimo las condiciones en la cual se encuentre expuesto. Existen también varios agentes que atacan químicamente al concreto, provocándole patologías como,

los sulfatos y ácidos, también la resistencia mecánica del concreto puede ser afectada por factores físicos como, las altas temperaturas producto de un incendio. (Zabaleta G., 1992).

2.2.3.2.) *El cemento.*

El cemento se presenta en una consistencia de polvo finísimo, es el material aglomerante del concreto. Está hecho de clinker, yeso y aditivos químicos principalmente. Este polvo reacciona al contacto con el agua formando cristales en su estructura molecular rigidizándolo progresivamente hasta convertirlo en un sólido de alta dureza. Esta reacción química produce la liberación de calor durante el proceso de fraguado, produciendo al mismo tiempo variaciones volumétricas por la dilatación, en el caso de un alto contenido de humedad del ambiente, o de contracción, por los escasos de agua. La relación de agua/cemento es determinante en la resistencia mecánica del concreto. (Nilson, 2001).

2.2.3.3.) *Agregados del concreto.*

Los agregados del concreto representan el mayor porcentaje del volumen en el concreto, suelen ser conocidos también como material inerte ya que se espera que no participen en las reacciones químicas del agua y del cemento. La selección y graduación adecuada de los agregados resulta de gran importancia, ya que, por ser el material predominante, influyen directamente en la resistencia mecánica del concreto. Su uso se encuentra especificado en la norma E-060 capítulo 3.3 del reglamento nacional de edificaciones. (Nilson, 2001).

2.2.3.4.) *Agua.*

El agua cumple dos funciones en su calidad de componente del concreto, la primera función del agua, es la hidratación del cemento y la segunda, es otorgar trabajabilidad al concreto, siendo esencial para determinar su fluidez. Muy a parte de estas funciones, el agua debe cumplir con determinadas características de calidad especificadas en la norma E-060 capítulo 3.4 del reglamento nacional de edificaciones, de lo contrario algunas sustancias químicas contaminantes del agua intervendrán en las reacciones químicas del cemento, reduciendo en

gran parte la resistencia mecánica del concreto o perjudicando el acero de refuerzo. (Nilson, 2001).

2.2.4.) Acero.

Las barras de acero corrugado de grado 60 son utilizadas como refuerzo en el concreto armado. La resistencia a fluencia del acero puede llegar a ser aproximadamente quince veces más la resistencia a compresión del concreto estructural más convencional y puede llegar a ser 100 veces más que la que la resistencia a tensión del concreto. Sin embargo, el acero es muchísimo más costoso que el concreto. En los diseños tradicionales de concreto armado, se diseña el concreto para soportar los esfuerzos de compresión, y el acero para soportar los esfuerzos de tensión. Como todo acero es afectado por las altas temperaturas experimentando dilataciones y pérdida de resistencia. (Nilson, 2001).

2.2.5.) Concreto armado.

El concreto, por sí solo, es un material bastante rígido que posee una buena resistencia a la compresión, pero no a la tensión. Por esta razón el concreto, por sí solo, es quebradizo teniendo muy poca ductilidad. Por lo tanto, no podría soportar esfuerzos de flexión, es por esta razón, que se le agregaron barras de acero corrugadas de grado 60, dando lugar al concreto armado. El concreto armado posee grandes prestaciones debido a su capacidad de soportar esfuerzos, tanto de compresión y de flexión, esto le ha permitido llegar a ser el material de construcción más utilizado en América latina. A partir del concreto armado se hacen casas, edificios multifamiliares, centros comerciales, etc. Los elementos estructurales principales son: vigas, columnas, zapatas, muros, etc. (Montejo Fonseca, Montejo Piratova, & Montejo Piratova, 2013).

2.2.6.) Diseño por flexión de vigas de concreto armado.

La flexión produce esfuerzos internos en la sección transversal a un lado del eje neutro y compresión al otro lado del eje. Para ser analizadas estas fuerzas se deben descomponer para

simplificar el cálculo de refuerzos necesarios. El concreto simple es ineficiente al ser sometido a flexión. Esto debido a que la zona sometida a tensión falla muy rápidamente. Es por esta razón que el concreto armado utiliza barras de acero como refuerzo de la zona sometida a tensión. En una viga de concreto armado, el acero resiste la tensión producida por el momento flector, mientras el concreto solo resiste la compresión correspondiente. (Ortega Garcia, 2015)

Las vigas de concreto armado se comportan de diferente manera dependiendo de la solitud de cargas. Para solitudes bajas, que no excedan el esfuerzo máximo de tensión del concreto, toda la sección transversal de concreto suplirá las solitudes, teniendo en un lado la compresión y en otro la tensión. Para altas solitudes, que exceden el esfuerzo máximo que puede soportar el concreto a tensión, se desarrollan las grietas y fisuras las cuales se propagan con rapidez a la zona superior de la viga muy cerca del plano del eje neutro, una vez alcanzado este punto el concreto ya no vuelve más a trabajar a tensión, quedando únicamente el refuerzo de acero como responsable de asumir los esfuerzos de tensión. (Ortega Garcia, 2015).

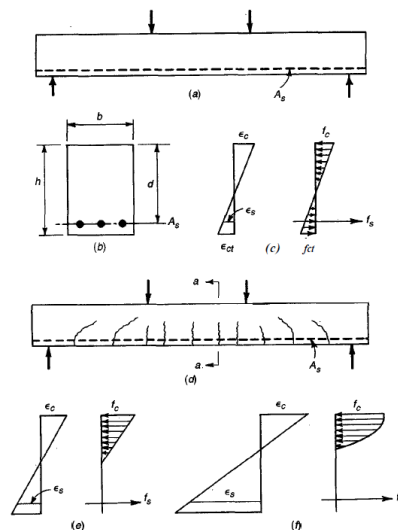


Imagen 1
Estado de deformación de una viga ante cargas altas y cargas moderadas (Nilson, 2001).

Las vigas, dependiendo de la cuantía de acero utilizada, pueden fallar de 3 maneras como: falla dúctil, falla balanceada y falla frágil. La falla dúctil, suele desarrollar una cantidad visible de fisuras mucho antes del colapso total con el objetivo de proporcionar una alerta temprana a la falla. Esto sucede debido a que la cuantía de acero permite las deformaciones provocando la aparición de grietas y el pandeo de manera excesiva, los cuales pueden ser visibles a simple vista. La falla balanceada es bastante similar a la falla dúctil, solo que en este caso las deformaciones no son excesivas, pero si alcanzan a ser vistas notificando de su pronta falla. Este tipo de falla es el recomendado en elementos estructurales de concreto armado, ya que permite anticipar a los usuarios mucho antes de que ocurra el colapso, dando tiempo para evacuar la estructura y al mismo tiempo provee de un elemento estructural de más capacidad de carga que el elemento de falla dúctil. En la falla frágil, el concreto absorbe la mayor parte de los esfuerzos, evitando que el acero llegue a su punto de fluencia, evitando la formación de fisuras, de esta manera la falla ocurre sin previo aviso. Este tipo de falla se caracteriza por ser intempestiva y de no dar señales de un colapso, en este tipo de falla la cuantía de acero suele ser alta. (McCormac & Brown, 2015).

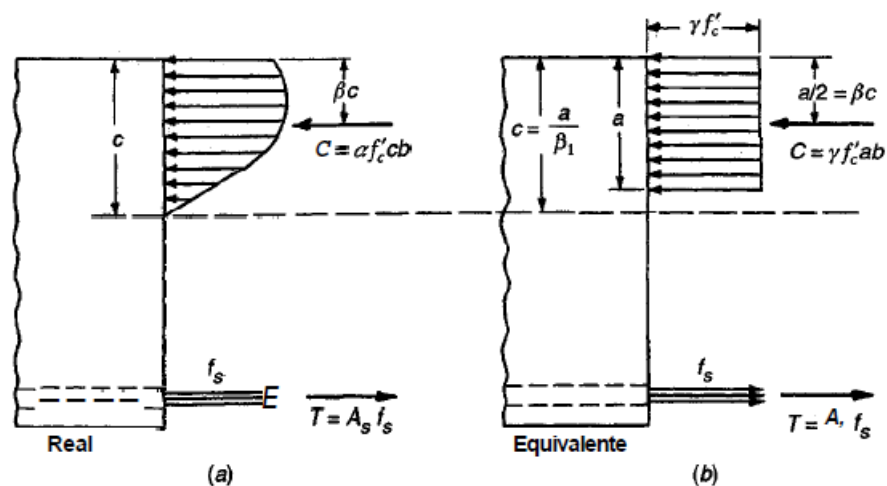


Imagen 2
Esfuerzos internos en una sección de concreto armado (Nilson, 2001).

De acuerdo a Imagen 2 se pueden obtener las siguientes ecuaciones para el diseño por flexión de una viga de concreto armado.(Nilson, 2001).

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b}$$

Ecuación 1

Área sometida a compresión (Nilson 2001).

$$M_n = A_s f_y (d - a/2)$$

Ecuación 2

Momento nominal.

Para realizar un diseño por flexión necesitamos el pre dimensionamiento de la viga y el momento máximo y mínimo para seguidamente reemplazar en las ecuaciones anteriores y obtener el área de acero. Una vez obtenida, se establece las varillas a utilizar, se dibujan los planos y se ubica la distribución del acero. (McCormac & Brown, 2015).

2.2.6.1.) Diseño de losas aligerada en una dirección.

Una losa aligerada es un elemento de concreto armado cuya función es recibir y transmitir las cargas vivas y muertas hacia las vigas. Para diseñar una losa en una dirección debemos de hacer un pre dimensionamiento del espesor, el cual está en función de la luz entre apoyos. Una vez pre dimensionada, se realiza el metrado de cargas, donde se toman en cuenta el peso propio de la estructura y las cargas vivas a través de un ancho tributario que generalmente es de 1 metro. A continuación, se realiza el análisis estructural, de donde se obtienen los momentos máximos y mínimos. Una vez obtenidos los momentos máximos y mínimos se utilizan las ecuaciones de concreto armado para hallar el área de acero necesario. (Ortega Garcia, 2015).

2.2.7.) Comportamiento del concreto simple expuesto al fuego.

El concreto, a comparación de otros materiales estructurales, tales como el acero y madera posee un buen desempeño frente al fuego. Sin embargo, esta resistencia depende principalmente de dos factores como la temperatura y el tiempo de exposición. Se ha

comprobado mediante ensayos de laboratorio, donde el concreto fue sometido a varios niveles de temperaturas que van desde los 100 °C Hasta los 900 °C, que conserva el concreto su resistencia a compresión casi de manera intacta hasta los 300 °C de temperatura. Sin embargo, al superar los 300 °C grados se evapora parte del gel de cemento hidratado, originando la aparición de grietas y fisuras superficiales en el concreto, lo que provoca como consecuencia la pérdida de resistencia a compresión del concreto. El agregado no tiene el mismo comportamiento que el concreto, a partir de los 600 °C no tienen la misma dilatación que el concreto, lo cual produce esfuerzos en el interior del concreto que terminan con la formación de fisuras y grietas. (Figueroa Orjuela & Bello López, 2018).

2.2.8.) Comportamiento de los agregados expuestos al fuego.

Los agregados forman la mayor parte del volumen del concreto. Dependiendo de su composición, ya sea de dolomita, basalto o grava, este resistirá a los efectos de las altas temperaturas de diferente manera, siendo el agregado de dolomita el más resistente al fuego. La dilatación del agregado y la evaporación del agua producen tenciones internas en el concreto. Los agregados en general al calentarse se dilatan, mientras que la pasta de cemento se contrae, provocando la aparición de fisuras en el concreto. Las fisuras es uno de los problemas principales que afectan a estructuras de concreto expuestas a fuego, estas pueden provocar el calentamiento excesivo del refuerzo o posteriormente el paso de sustancias corrosivas que puedan entrar en contacto con el acero. Es por esta razón que el agregado juega un importante papel en el concreto al ser expuesto al fuego. (ABDELAL, Abdel-Aziz, El Mohr, & Salama).

2.2.9.) Comportamiento del acero expuesto al fuego.

El acero, como la mayoría de los metales, pierde resistencia a tracción con el aumento de la temperatura. Esto se conoce por teoría tanto como por la práctica y no pocas experiencias. El 11 de setiembre del 2001, los incendios provocados por el combustible de dos aviones, que se

estrellaron contra la torre norte y sur del World Trade Center en New York, elevaron la temperatura de tal manera que provocaron que la estructura de acero colapsara en su totalidad. El acero a partir de los 400 °C empieza a perder resistencia, esto se vuelve aún más grave cuando ha alcanzado los 600 °C, ya que su resistencia se reduce a la mitad. El acero corrugado, dentro del concreto armado, soporta los esfuerzos de tracción producidas por las cargas de servicio. Estas barras se encuentran recubiertas por un recubrimiento de concreto, el cual las protege de la corrosión y las temperaturas elevadas. Sin embargo, el recubrimiento puede fallar por múltiples razones, y de darse el caso, el acero quedaría expuesto a la intemperie; esto podría provocar que el acero, al ser expuesto a altas temperaturas sin recubrimiento, comenzara a fluir provocando un posible colapso de la estructura. (Chauca Rodríguez & Cruz Córdova, 2014).

Las propiedades estructurales del acero cambian de acuerdo a la temperatura. Dependiendo de la temperatura alcanzada, el acero es capaz de recuperar sus propiedades estructurales mediante el proceso del enfriamiento, pero, esto no pasa cuando el acero alcanza temperaturas por encima de los 500 °C, ya que, al exceder este nivel de temperatura el acero solo recupera parte de sus propiedades estructurales iniciales, teniendo la posibilidad de presentar fallas por temple. (VKR & Ankit, 2015).

2.2.10.) Comportamiento al fuego de vigas de concreto Armado.

(Guangzhong, Ba; Jijun, Miao; Weiping, Zhang; Jialiang, Liu, 2019) Realizaron una investigación experimental en vigas de concreto armado sometidas a un proceso de corrosión y expuestas posteriormente a altas temperaturas. Se pudo comprobar que las grietas producidas por la corrosión provocaron que el acero se caliente de forma mucho más rápida al ser expuesta la viga a altas temperaturas, alcanzando una temperatura crítica en el acero corrugado que podría provocar una falla de ser sometido a cargas.

En un estudio diferente realizado por (João, Firmo, João, Correia, & França, 2012), donde buscaban analizar el comportamiento al fuego de vigas de concreto armado reforzadas con laminados, se pudo observar el desprendimiento del refuerzo de laminados de fibra de carbono a los 23 minutos de estar expuesto a temperaturas elevadas, también, en investigaciones similares, donde se buscaba aislar a las vigas térmicamente, se descubrió las que vigas de concreto armado, de no tener un recubrimiento especial que lo aislé térmicamente la zona sometida a compresión, pierde resistencia a flexión. Sin embargo, para evitar la pérdida de la resistencia a flexión, estos investigadores utilizaron un tarrajeo de vermiculita y perlita mejorando significativamente su resistencia a flexión después de ser expuesto a temperaturas elevadas.

Una viga de concreto armado, después de haber sido expuesto a altas temperaturas, puede sufrir deformaciones plásticas irreversibles posiblemente debido alteraciones del acero de refuerzo, esto influye significativamente en la resistencia a flexión, debido a que las barras de refuerzo de acero se encuentran mucho más cerca al exterior. Es por estas razones que la resistencia de las barras de acero es crucial para la resistencia a flexión de un elemento de concreto armado. (VKR & Ankit, 2015).

2.2.11.) ISO 834.

La norma ISO 834 es aceptada a nivel internacional y brinda de manera aproximada las temperaturas alcanzadas en un incendio confinado en función del tiempo como se aprecia en la Imagen 3.

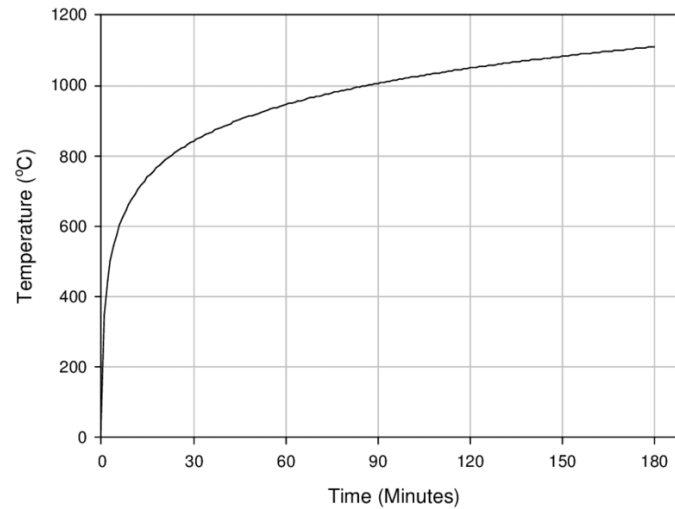


Imagen 3
Curva ISO 834.

2.3.) Definición de términos.

- Concreto Simple: Mezcla de cemento portland, arena, piedra chancada y agua.
- Concreto Armado: Concreto Simple reforzado con barra de acero corrugado de grado 60.
- Agregados: Elementos inertes del concreto (Arena, Piedra chancada).
- Vigueta: Elemento de concreto armado similar a una viga.
- Dilatación: aumento de longitud, volumen o una longitud métrica debido al aumento de temperatura.
- Fisuras: hendidura alargada de un material con poca separación entre sus bordes.
- Grietas: Abertura alargada en un material mucho mas grande que una fisura.
- Clinker: polvo de piedra caliza y arcilla calcinados.
- Temple: tratamiento térmico para endurecer el acero.

3.) CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.) Enfoque.

El enfoque de la presente investigación es cuantitativo, ya que, se realizarán mediciones y comparaciones de variables con respecto a sus respectivas dimensiones, las cuales serán representadas de manera numérica.

3.2.) Tipo.

La presente investigación trata de una investigación aplicada.

3.3.) Nivel.

El nivel que presenta es explicativa experimental propiamente dicha ya que determinará la razón por la que ocurren los fenómenos entre dos variables y dos grupos de muestras uno de control y otro de ensayo, explicándolos al final de la investigación.

3.4.) Hipótesis y variables.

La alta temperatura influye en la resistencia a flexión de la una viga de concreto armado, debido al desprendimiento del recubrimiento provocado por la dilatación del acero de refuerzo, el cual queda expuesto al fuego directo, que luego de ser enfriado y sometido al ensayo de flexión la falla con solo el 60% de la carga última. (Figuerola Orjuela & Bello López, 2018)

- Al llevarse a cabo el proceso térmico del temple de manera no intencional, el acero se contrae bruscamente y no uniformemente, provocando fallas por temple, debido a un proceso térmico no controlado. (Soria Aguilar, y otros, 2015) (Vega Guillen , Padilla, & Gonzalez Reynoso, 1999).
- El tipo de falla que se produce en el elemento estructural de concreto armado es frágil. Debido a que el acero se ha debilitado y perdido elasticidad. (McCormac & Brown, 2015).

3.5.) Operación de variables.

Tabla 1
Cuadro de operación de variables.

| Tipo de Variable | Nombre de la Variable | Dimensiones | Indicadores |
|------------------|--------------------------------------|-----------------|-------------|
| Independiente | Temperatura | °C | 300 °C |
| | | | 500 °C |
| | | | 700 °C |
| | | | 900 °C |
| Dependiente | Resistencia a flexión de la vigueta. | Fuerza de falla | Kg |

Fuente propia.

3.6.) Diseño De Investigación.

La presente investigación tendrá un diseño experimental propiamente dicho debido a que se plantea una manipulación de la variable dependiente es su dimensión de temperatura. Se utilizarán 02 grupos muestras conformados por el grupo experimental y el grupo control.

3.7.) Muestreo.

El muestreo escogido para esta investigación fue el muestro no probabilístico del tipo razonado o intencionado. Debido a que la población ha sido tomada por conveniencia de interés de estudio.

Estas muestras constan de 11 viguetas con medidas de 0.20 metros de peralte y 0.10 metros de base y una longitud 1.20 metros ver Imagen 4. Para el concreto se esperó obtener una resistencia de 210 Kg/cm² y las barras refuerzo positivo de diámetro de ½” el cual serán de acero corrugado de grado °60. Estas muestras fueron curadas por 28 días antes de los ensayos.

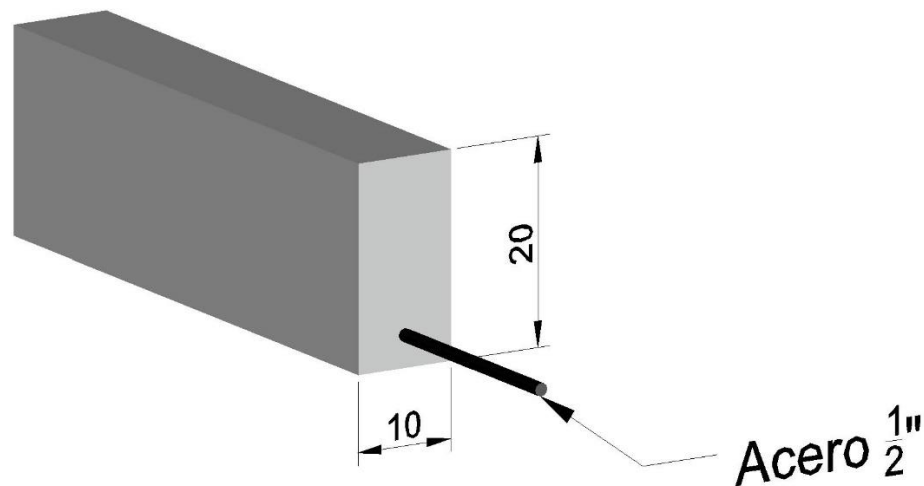


Imagen 4
Vigueta de muestra.

Tomando como referencia a investigaciones realizada por (Carrilo, Cardenas Pulido, & Aperador, 2017) y (Padilla Ramires, Flores Bustamante, Quiroz Soto , & Reyes Ramires, 2008) en las cuales se utilizaron 3 muestras como grupo de control por parámetro, se optó por adoptar esta cantidad por número de muestras. Por lo tanto, tres de estas 14 viguetas serán utilizadas como grupo control, y las restantes serán destinadas para el grupo experimental, los cuales serán expuestas a fuego directo y a temperaturas controladas de 300 °C, 500 °C, 700 °C Y 900 °C utilizando un equipo de soplete de GLP.

3.7.1.) Cálculo de momento último.

Para calcular el momento último se esperó a obtener la resistencia a compresión del concreto a 28 días por medio del ensayo de compresión de probetas. La de diseño fue de $f'c=210$ Kg/cm, sin embargo, por la calidad muy particular del agregado se obtuvo una resistencia de 420 Kg/cm² pese al diseño de mezcla inicial, debido a esta razón, se utilizó la resistencia obtenida por medio del ensayo de compresión para el cálculo del momento último. En la Imagen 5 se muestra la sección detallada de la muestra.

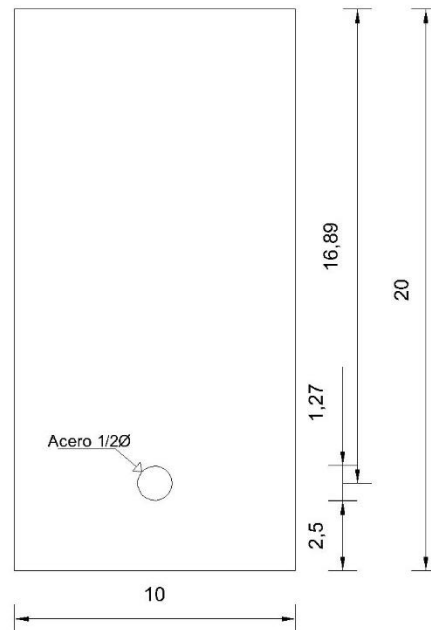


Imagen 5
Sección de viga de muestra.

Tabla 2
Cuadro de datos de materiales y de la sección de viga.

| Datos | |
|--------|-------------------------|
| A_s | 1.29 cm ² |
| f_y | 4200 kg/cm ² |
| F'_c | 420 kg/cm ² |
| b | 10 cm |
| d | 16.89 cm |

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b}$$

$$a = 1.52$$

$$M_u = A_s f_y (d - a/2)$$

$$M_u = 87398.71 \text{ kg_cm}$$

$$M_u = 873.99 \text{ kg_m}$$

Utilizando la fórmula de momento flector para una viga de apoyos simples.

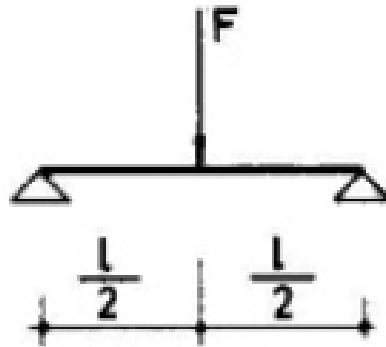


Imagen 6
Idealización de la Viga (McCormac & Brown, 2015).

$$M_u = \frac{FxL}{4}$$

Donde:

Mu: Momento Ultimo.

F: Fuerza ultima.

L: Luz libre.

$$F = 3495.95 \text{ Kg}$$

De acuerdo al análisis de resistencia, el elemento de concreto armado debería resistir no menos de 3495.95 kg de carga puntual.

3.8.) Materiales y equipos.

3.8.1.) Materiales.

- Piedra chanchada de ½" (Movi Agregados).
- Arena Gruesa (Movi Agregados).
- Agua (Laboratorio de Materiales FIA-UPeU).
- Cemento Portland tipo 1 (Marca Sol).
- Listones de madera de 0.20 x 2.40 m.
- Triplay 1.20 x 2.40 m (Lupuna).
- Clavos de 2".
- Clavos de 1".
- Barra de Acero corrugado grado 60° de ½".
- Alambre negro recocido # 8.
- Alambre Galvanizado # 16.
- Curador de concreto Maca CHEMA.
- Gas GLP.

3.8.2.) Equipos.

- Cable de extensión 10^a.
- Balanza.
- Trompo mezclador de 0.5 Hp ½ pie³.
- Baldes.
- Boggy.
- Pala.
- Barilejos.
- Vernier.
- Serrucho.

- Amoladora Boch 650 W.
- Amoladora Makita 800 W.
- Vibradora de concreto Boch 2000 W.
- Soplete de GLP.
- Controlador de temperatura.
- Termocupla tipo J (0 – 1200 °C).
- Perfil W
- Planchas de acero de ½”.
- Prensa de concreto.
- Rotomartillo Boch.
- Perforadora de Diamantina.

3.9.) Procedimiento de ejecución.

3.9.1.) Diagrama de flujo de la ejecución.

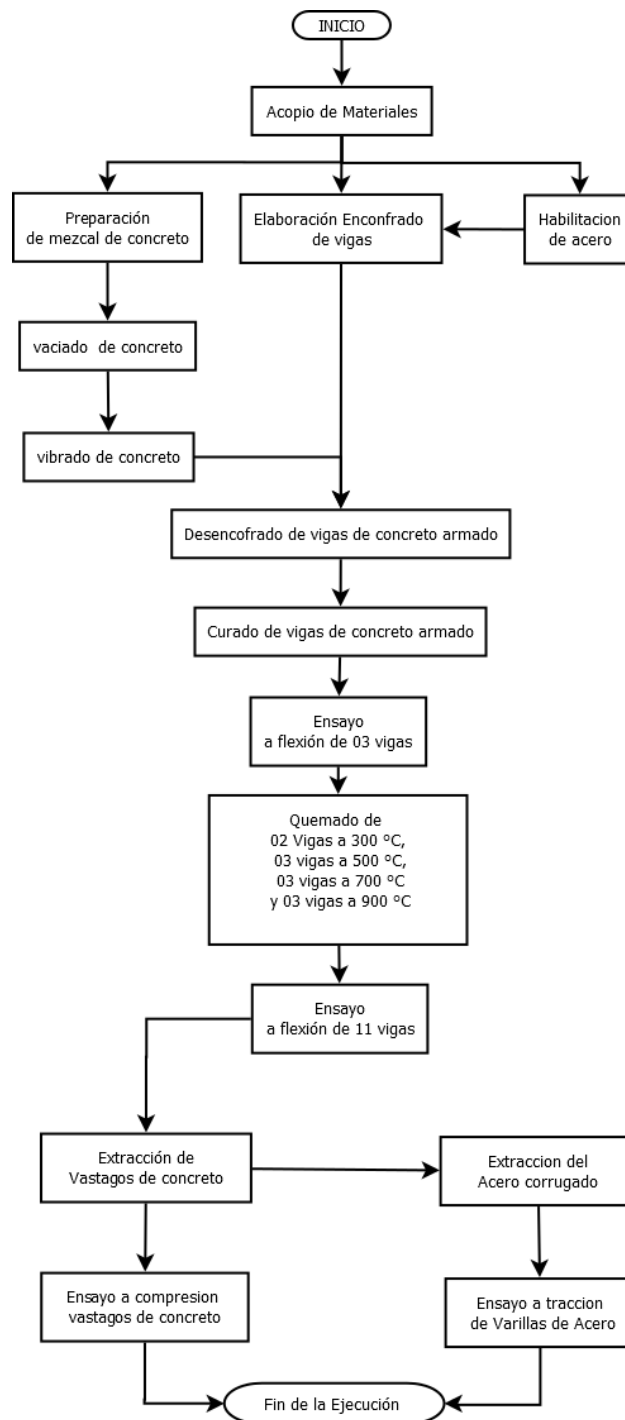


Imagen 7
Diagrama de flujo de la investigación.

3.9.2.) Acopio de materiales.

El acopio de materiales se realizó con el fin de proveer de recursos para desarrollar todas las etapas de la ejecución de la presente investigación. Los materiales fueron los siguientes: listones madera de 0.20 x 2.40 metros, agregado grueso (Cantera Movi Agregados) , agregado fino (Cantera Movi Agregados) , Cemento portland tipo 1 (Marca Sol), barras de acero corrugado de grado 60 (Aceros Arequipa), triplay de lupuna de 1.20 x 2.40 m, clavos de 1” y 2”, Alambre #8 y # 16 y el curador de concreto, los cuales fueron trasladados y almacenados en el laboratorio de materiales de la Universidad Peruana Unión.



Imagen 8
Acopio de agregados grueso y fino.

3.9.3.) Elaboración de encofrado para vigas.

Un encofrado tiene la función de servir de molde para el concreto, cumpliendo con los perfiles, niveles, alineamientos y dimensiones establecidos por el diseño. El encofrado debe de ser capaz de soportar las presiones producidas por el concreto, sufriendo mínimas deformaciones y garantizando un acabado satisfactorio. (RNE DECRETO SUPREMO, 2016)

Para elaborar el encofrado se procedió a establecer un prototipo modular en el cual maximice la cantidad de unidades de moldes para las vigas, y minimice el uso de listones de

madera. Una vez establecido el modelo y medidas del encofrado se procedió a marcar los listones de madera para realizar los cortes. Estas medidas fueron de 1.20 x 0.20 m² y de 2.00 x 0.20 m² con el objetivo de realizar únicamente la cantidad cortes necesarios.



Imagen 9
Módulo de encofrado de vigas.

3.9.4.) Habilitación de Acero.

La habilitación de acero consiste colocar el acero de refuerzo en el lugar indicado cumpliendo con los recubrimientos y longitudes de desarrollo establecidas en la norma E-060 del reglamento nacional de edificaciones. Para realizar la habilitación del acero de refuerzo, primero, se procedió a efectuar los cortes de acuerdo a la medida establecida. Con las barras de acero a la medida se procedió a colocarlas en el encofrado de madera a 2.50 cm de la base, dejando espacio para el recubrimiento respectivo.

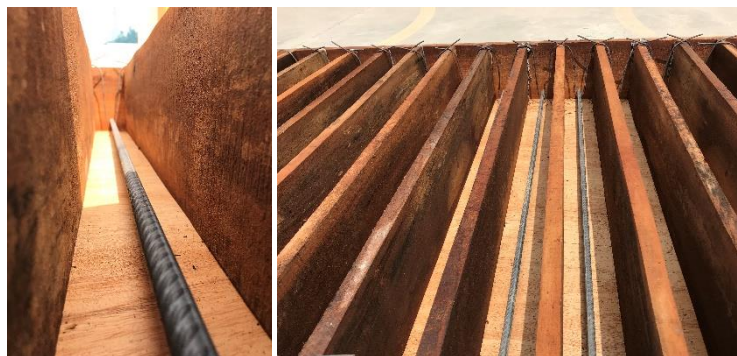


Imagen 10
Habilitación de acero de refuerzo en encofrado.

3.9.5.) Preparación de mezcla de concreto.

El concreto debe prepararse acorde a una dosificación que proporcione una resistencia promedio a la compresión y satisfaga los demás criterios establecidos en la norma E-060. Es mediante el diseño de mezcla que se obtienen la dosificación de los componentes del concreto para alcanzar una resistencia determinada, sin embargo, los resultados no suelen ser precisos en algunos casos.

Después de realizar el diseño de mezcla por el método ACI, se realizó el primer vaciado el 29/08/2019, sin embargo, se presentaron diversas dificultades, siendo la más perjudicial la poca trabajabilidad del concreto, debido que el agregado fino había perdido su contenido de humedad original. Al perder el agregado fino su contenido de humedad provocó que la mezcla de concreto presentara poca trabajabilidad, dificultando el vaciado y vibrado de las vigas, llegando a producir cangrejas en varias de ellas, lo que llevo a desechar el lote completo de muestras.

Tabla 3
Cuadro de proporciones del primer diseño de mezcla.

| Primer Diseño de Mezcla | | | | |
|-------------------------|--------------------|---------------|---------|-------|
| Material | Agregado Grueso | Agregado fino | Cemento | Agua |
| Peso Kg | 45.85 | 58.69 | 21.75 | 11.70 |

Debido a que se tuvo que desechar 15 muestras, se realizaron correcciones de humedad empíricas tomando en cuenta la pérdida de humedad del agregado fino, se adicionó una cantidad necesaria de agua para que la mezcla de concreto sea trabajable y así evaluar su resistencia a compresión a los 7 días, al mismo tiempo, se realizó una prueba de la misma mezcla de concreto utilizada en el primer grupo de vigas para evaluar su resistencia, para lo cual se utilizó un agregado recién traído de la cantera. Con el agregado fino recién traído de la

cantera, fue evidente que las propiedades del agregado habían variado considerablemente debido al factor tiempo, ya que al volver a realizar la mezcla de concreto con las mismas proporciones se obtuvo una consistencia bastante trabajable de manera muy distinta a la primera mezcla.

Tabla 4
Cuadro de proporciones del primer diseño de mezcla.

| Primer Diseño de mezcla | | | | |
|-------------------------|-----------------|---------------|---------|-------|
| Material | Agregado Grueso | Agregado fino | Cemento | Agua |
| Peso Kg | 45.85 | 58.69 | 21.75 | 11.70 |

En la Tabla 5 se muestran los resultados de resistencia del diseño de mezcla original. De acuerdo a la su edad de 7 días, la probeta e concreto debería desarrollar el 75% de su resistencia.

Tabla 5
Resultados del ensayo a compresión del primer diseño de mezcla.

| Ensayo a compresión Primer | | | |
|----------------------------|-------------|---|--|
| Probeta | Edad (Días) | Resistencia Obtenida Kg/cm ² | Resistencia de Diseño a 28 días Kg/cm ² |
| N° 1 | 7 | 280.15 | 210 |
| N° 2 | 7 | 292.71 | 210 |

Como muestran los resultados de la Tabla 5, es evidente que la resistencia a compresión del concreto se excedió por mucho a la resistencia que debería desarrollar a los 7 días. Esto nos advierte de que alguna variable no esté siendo considerado por el método ACI en el diseño de mezcla.

En la Tabla 6 se muestra las proporciones del diseño de mezcla al cual se le han añadido 0.60 kg más de agua con el objetivo de darle mayor trabajabilidad a la mezcla de concreto y reducir su resistencia, dando como resultado una relación de agua/cemento de 0.57.

Tabla 6
Proporciones del diseño de muestra empírico.

| Diseño de muestra empírico | | | | |
|----------------------------|-----------------|---------------|---------|-------|
| Material | Agregado Grueso | Agregado fino | Cemento | Agua |
| Peso Kg | 45.85 | 58.69 | 21.75 | 12.30 |

Siete días después se obtuvieron los siguientes resultados Tabla 7.

Tabla 7
Resultados del ensayo a compresión del diseño de mezcla empírico.

| Ensayo a compresión Diseño de mezcla empírico | | | |
|---|-------------|---|--|
| Probeta | Edad (Días) | Resistencia Obtenida Kg/cm ² | Resistencia de Diseño a 28 días Kg/cm ² |
| N° 1 | 7 | 296.90 | 210 |
| N° 2 | 7 | 282.69 | 210 |

Los resultados de la anterior tabla muestran una excedencia de la resistencia de diseño de más del 100%, pese a que se aumentó la cantidad de agua, la resistencia a compresión no disminuyó.

En consecuencia, a la excesiva resistencia desarrollada a los 7 días de edad del concreto, se redujo la cantidad de cemento. Al reducir la cantidad del cemento, se aumentó la cantidad de agregados, pero no se disminuyó la cantidad de agua, por lo contrario, se incrementó. Se redujo en una proporción a escala de 10.63 kg o ¼ de bolsa a 9.25 kg de cemento.

Para obtener las proporciones de los agregados en base a ½ bolsa de cemento obtuvo la relación (Cantidad de cemento original) / (Cantidad Calibrada) o 10.63/9.25 dando como resultado un factor de incremento 1.149 obteniendo las siguientes cantidades Tabla 8. Se utilizó para este diseño 12.75 litros de agua, dando como resultado una relación agua/cemento de 0.59.

Tabla 8
Proporciones del diseño de mezcla empírico.

| Diseño de muestra empírico | | | | |
|----------------------------|--------------------|---------------|---------|-------|
| Material | Agregado Grueso | Agregado fino | Cemento | Agua |
| Peso Kg | 52.70 | 67.36 | 21.75 | 12.75 |

Debido a que alcanzar el $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ no está contemplado dentro de los objetivos de la investigación, se realizó la mezcla de concreto en base a estas nuevas proporciones. Se utilizó una balanza para pesar la cantidad exacta de materiales requeridos ver Imagen 11. En adelante, se siguieron los pasos acordes a lo estipulado en el capítulo 5.8.4 de la norma E-060 del reglamento nacional de edificaciones para garantizar una buena calidad del concreto. (RNE DECRETO SUPREMO, 2016).



Imagen 11
Materiales y equipos para el vaciado del concreto.

3.9.6.) Colocado del concreto.

Una vez vaciada la mezcla de concreto, se utilizó una vibradora de concreto Boch para realizar el proceso de vibrado, ver imagen 12 . Todo este procedimiento se llevó a cabo de acuerdo a lo estipulado en la norma E-060 del reglamento nacional de edificaciones 5.9 y 5.10 (RNE DECRETO SUPREMO, 2016).



Imagen 12
Encofrado y vibradora de concreto Boch.

3.9.7.) Desencofrado de vigas de concreto armado.

El desencofrado consiste en retirar el molde del concreto endurecido cómo se muestra en la imagen 13. Este procedimiento fue llevado a cabo de acuerdo a los lineamientos del capítulo 6.2 de la norma E-060 del reglamento nacional de edificaciones (RNE DECRETO SUPREMO, 2016).



Imagen 13

Vigas de concreto armado de sección de 0.20x0.10 m y 1.20 m de largo.

3.9.8.) Curado de vigas de concreto armado.

El curado del concreto tiene el objetivo mantener un adecuado nivel de humedad en el concreto en sus primeros días. Para este proceso se utilizó el curador CHEMA Membranil Vista, ver imagen 14, debido a que, por las dimensiones de las vigas no fue posible colocarlas dentro de la posa de curado del laboratorio de materiales de la UPeU. El curador Membranil fue aplicado cada 7 días utilizando un pulverizador de mano de acuerdo a las especificaciones del fabricante, hasta completar los 28 días de curado. Para la ejecución este proceso se siguió el capítulo 5.11 de la norma E-060 del reglamento nacional de edificaciones. (RNE DECRETO SUPREMO, 2016).



Imagen 14
Curador de concreto Membranil y equipo de pulverización manual.

3.9.9.) Ensayo a compresión probetas.

Al finalizar los 28 días de curado, se ensayaron las probetas de concreto que fueron tomadas del concreto utilizado en las vigas de estudio ver Tabla 9, con el objetivo de determinar su resistencia a compresión.

Tabla 9
Resultados del ensayo a compresión del diseño de muestra empírico.

| Ensayo a compresión Diseño de mezcla empírico | | | |
|---|-------------|---|--|
| Probeta | Edad (Días) | Resistencia Obtenida Kg/cm ² | Resistencia de Diseño a 28 días Kg/cm ² |
| N° 1 | 28 | 425.05 | 210 |
| N° 2 | 28 | 406.25 | 210 |
| N° 3 | 28 | 427.55 | 210 |
| N° 4 | 28 | 421.45 | 210 |
| Resistencia | | 420.075 | |
| Promedio | | | |

3.9.10.) Ensayo a flexión de Vigas.

Para poder determinar la influencia de la alta temperatura en la resistencia a flexión de un elemento de concreto armado, se requiere realizar comparaciones entre dos grupos de vigas, el primero denominado grupo de vigas de control y el segundo experimental.

Ambos grupos de vigas fueron sometidos al ensayo de flexión de vigas adaptado a la norma ASTM C -293 y NTP 339.079:2012 (revisada el 2017) como se muestra en la Imagen 15.

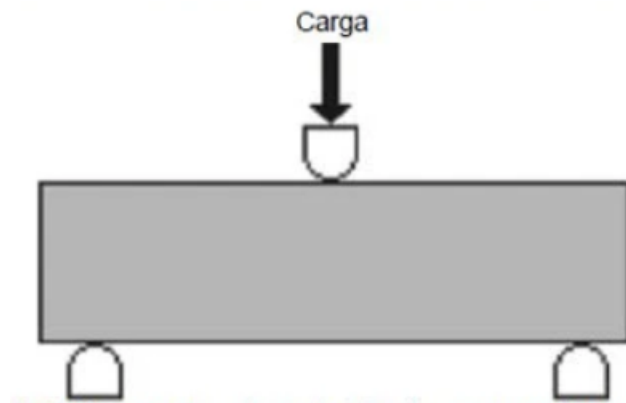


Imagen 15

Ensayo de flexión de vigas de 3 puntos de contacto ASTM C- 293.

Al finalizar el curado, se enumeraron las vigas para luego ser sometidas al ensayo de flexión ASTM C-293 adaptado. En esta actividad se presentaron problemas con el equipo de ensayo, lo cual produjo retrasos y variaciones en la manera de hacer el ensayo. El problema se debía a que el equipo no tenía una cimentación a la cual estuviese anclado. Esto provocó que cuando la carga se aplicó sobre la viga, la cual tenía sus apoyos descansado sobre el piso del laboratorio, levanto al equipo de su plataforma quedando suspendido de la viga a unos 2 cm del suelo, lo que imposibilitó la realización del ensayo ver Imagen 16.



Imagen 16

Prensa de concreto suspendida de viga de concreto armado.

Para solucionar este problema se instaló de un perfil W para lograr que la viga a ensayar descansa sobre el mismo equipo y evite ser suspendido ver Imagen 17.



Imagen 17

Ensayo de flexión de viga #13 adaptado a norma ASTM C – 293.

En la Imagen 17 anterior se puede apreciar instalado finalmente el perfil W para para posibilitar el ensayo de flexión.

3.9.11.) Quemado de vigas.

Una vez terminado el proceso de curado, las vigas fueron separadas al azar para ser sometidas a altas temperaturas en cuatro grupos de tres. Estos cuatro grupos fueron sometidos a temperaturas de 300 °C, 500 °C, 700 °C y 900 °C durante 30 minutos respectivamente, la temperatura fue producida por medio de un soplete de GLP y fue medida con una termocupla tipo J de rango de medición de 0-1200 °C conectada un controlador de temperatura industrial del mismo rango de medición.

Como se puede apreciar en la Imagen 18, Imagen 20, Imagen 21 y Imagen 22, el fuego directo es aplicado solo en el centro de la luz libre de la viga, en una zona de 0.20 m a lo largo de la base del peralte, a mitad de la luz libre de la viga. El propósito de aplicar la temperatura en esta zona se debe a que es el punto más crítico en todo el tramo de la viga, ya que es en esta zona donde se producen los mayores momentos flectores al durante el ensayo de flexión.

3.9.11.1.) Quemado a 300 °C

El grupo de vigas sometidas a 300 °C de temperatura estuvo formado por las vigas #10, #11 y #12. La temperatura aplicada tuvo pequeñas variaciones, ya que para evitar que esta suba o baje demasiado, se requería aumentar o disminuir el flujo de GLP de forma manual, además el viento y otros factores ambientales provocaban variaciones, las cuales producían subidones y bajas de temperatura que oscilaban entre 300 °C a 340 °C aproximadamente.



Imagen 18
Quemado a 300 °C de viga #12.

Durante la aplicación del fuego directo a la temperatura de 300 °C, se pudo apreciar algunos fenómenos como el ennegrecimiento de la zona de aplicación del fuego, también se pudo apreciar algunas pequeñas exudaciones de agua por los poros del concreto.



Imagen 19 soplete del GLP y termocupla tipo J.

3.9.11.2.) Quemado a 500 °C

El grupo de vigas sometidas a 500 °C de temperatura estuvo formado por las vigas #7, #8 y #9. Al aumentar el flujo de GLP, el soplete logró alcanzar los 500 °C, para evitar que la temperatura se mantenga estable se requería aumentar o disminuir el flujo de GLP de forma manual, de acuerdo a lo indicado por el controlador de temperatura. Estas variaciones de temperatura se debían principalmente al viento, que provocaba que la temperatura que oscile entre 500 °C a 520 °C aproximadamente.



Imagen 20
Quemado a 500 °C de la viga #8.

Con la acción de la temperatura, se pudo apreciar la pérdida de agua a través de los poros del concreto en una mayor proporción que en lo observado en la viga sometida a 300 °C, también se apreció algunas pequeñas erupciones en la superficie del concreto, la cual tenían apariencia de pequeñas escamas, además de la pérdida de color del concreto.

Al ser enfriado el concreto se apreció algunas micro fisuras en la superficie donde había sido aplicada la temperatura.

3.9.11.3.) Quemado a 700 °C

El grupo de vigas sometidas a 700 °C de temperatura estuvo formado por las vigas #4, #5 y #6. Para obtener esta temperatura, fue necesario aumentar el flujo de gas GLP considerablemente, también se tuvo dificultades para lograr una temperatura constante en 700 °C, ya que la temperatura solía subir demasiado o bajar, por lo tanto, se necesitó estar más pendiente de este factor para aumentar o disminuir el flujo de GLP, además en ocasiones, el viento al soplar en dirección de los apoyos, provocaba que el aire caliente quemara a tales apoyos provocando su ennegrecimiento. Finalmente, temperatura del ensayo osciló entre 700 °C a 730 °C aproximadamente.



Imagen 21
Quemado a 700 °C de viga #5.

Al alcanzar los 700 °C de temperatura, las erupciones de partículas de concreto se volvieron más intensas por 10 minutos, al mismo tiempo se incrementaba la exudación de agua por los poros del concreto hasta que cesaba, finalmente el concreto presentaba pequeñas fisuras con una pérdida de color diferenciable del resto.

3.9.11.4.) Quemado a 900 °C

El grupo de vigas sometidas a 900 °C de temperatura estuvo formado por las vigas #1, #2 y #3. Para lograr alcanzar los 900 °C de temperatura se utilizó el soplete de GLP casi a máxima potencia, De la misma manera que en los anteriores grupos la temperatura aplicada no siempre fue constante en 900 °C. La alta temperatura y el flujo de aire en dirección hacia los apoyos, que estaban a tan solo 60 cm del punto de aplicación, provocaban que los apoyos de madera en algunos momentos entraran en proceso de ignición dependiendo de la dirección del viento. Las variaciones de temperatura para este caso oscilaron entre 900 °C a 950 °C aproximadamente.



Imagen 22

Quemado a 900 °C de viga #2.

A los 900 °C de temperatura se observan erupciones de partículas de concreto con mayor intensidad, pero por menos tiempo, la pérdida de agua a través de los poros del concreto se volvió mucho más intensa que en los anteriores casos, se observó mayor cantidad de fisuras.

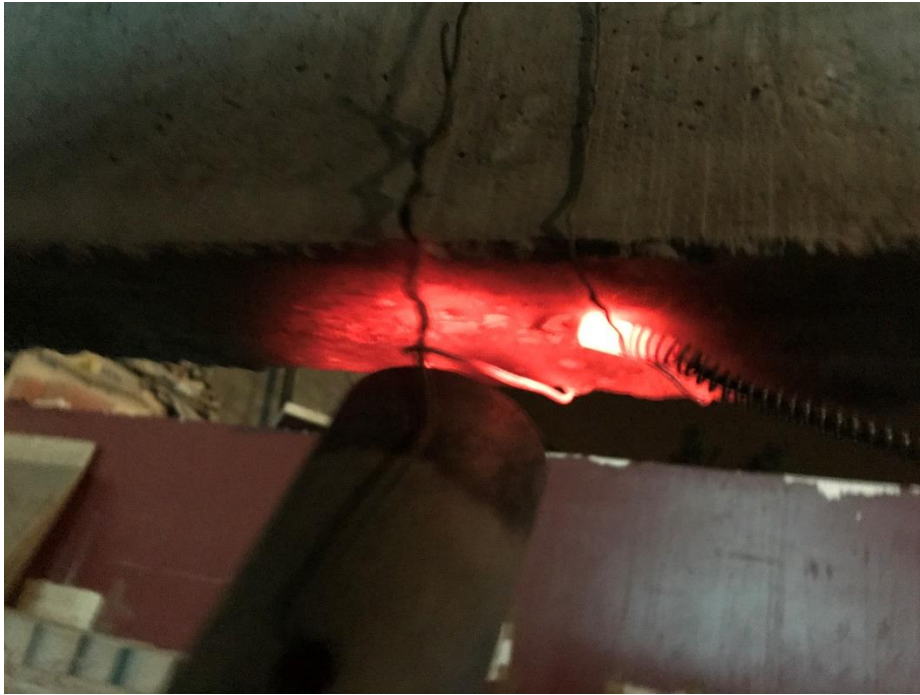


Imagen 23
Incandescencia del concreto a 900 °C.

Al apagar el soplete se logró observar como muestra la imagen el brillo del concreto al estar incandescente. Finalmente se enfrió aplicando un chorro de agua.

3.9.12.) Extracción de vástagos de concreto.

Para determinar la resistencia a compresión del concreto de las vigas sometidas a altas temperaturas fue necesario realizar extracciones de vástagos de concreto utilizando una perforadora diamantina. La extracción se realizó en la zona más afectada por las altas temperaturas, se siguieron los procedimientos según la Norma ASTM C 42. Para llevar a cabo la extracción de vástagos de concreto se utilizó una perforadora diamantina de 1100 W de potencia, un equipo de refrigeración, una Broca diamantada de 2¼” de diámetro, un Taladro Boch, una extensión de corriente eléctrica, agua y pernos de anclaje.

Para instalar el equipo se ubicó una zona adecuada para colocar el anclaje requerido. Para anclar el equipo se realizó perforaciones en la losa de concreto de ½” de diámetro, donde se colocaron tarugos que permitieron colocar los pernos de anclaje. En la Imagen 24 se puede apreciar la colocación de un tarugo metálico dentro de la perforación realizada en la losa de

concreto del patio del laboratorio, este tarugo permitió anclar el equipo de perforación de diamantina a dicha losa y mantenerlo firme durante la extracción de los vástagos de concreto.



Imagen 24
Perforación y anclaje de la perforadora de diamantina.

En la Imagen 25 se puede apreciar el equipo de perforación de diamantina conectado mediante una manguera a la bomba de agua. Esta bomba de agua se opera de forma manual a medida que se efectúa la extracción de los vástagos de concreto. El agua cumple la función de evitar el recalentamiento y reducir el desgaste de la broca de extracción, al mismo tiempo remueve las partículas desprendidas por resultado de la perforación.



Imagen 25

Equipo de perforación de diamantina anclado y bomba de agua para refrigeración.

Antes de iniciar la perforación, se señaló el punto de perforación en la viga, este punto fue ubicado a 3cm sobre el lugar donde se aplicó la temperatura por medio del fuego directo. En la Imagen 26 se aprecia el punto de extracción del vástago de concreto de la viga #7 ubicado en un costado de la mitad de la viga, en la Imagen 27 se puede apreciar el equipo de perforación de diamantina ya ubicado sobre el punto de extracción y en la Imagen 28 se puede apreciar el proceso de perforación y extracción del vástago de concreto. Finalmente, en la Imagen 29 se puede apreciar el vástago de concreto extraído de la viga #7.



Imagen 26
Punto de extracción de vástago de concreto.



Imagen 27
Equipo de perforación de diamantina sobre punto de extracción de vástago de concreto.



Imagen 28
Perforación y extracción de vástago de concreto.



Imagen 29
Vástago de concreto extraído de la viga #7.

3.9.13.) Ensayo a compresión de vástagos de concreto.

Para determinar la resistencia final del concreto de las vigas sometidas altas temperaturas y al ensayo de flexión, se procedió a someter al ensayo de compresión de concreto a los vástagos de concreto extraídos de las vigas mencionadas. Para llevar a cabo ese procedimiento se siguieron los lineamientos establecidos en el método de ensayo normalizado ASTM C39. En la Imagen 30 se puede apreciar 4 grupos de vástagos de concreto, los vástagos 1,2,3, pertenecen a las vigas que fueron sometidas a 900 °C de temperatura, los vástagos 4,6, pertenecen a las vigas que fueron sometidas a 700 °C de temperatura, el Vástago 7, perteneció a la viga que fue sometida a 500 °C y los Vástagos 10,11,12, pertenecieron a las vigas que fueron sometidas a 300 °C.

Debido a la reducción de la resistencia del concreto, el vástago No. 4 se rompió al momento de la extracción, sin embargo, su homologó el vástago No. 6 si logro ser ensayado satisfactoriamente a compresión.



Imagen 30
Vástagos de concreto.

Para realizar este ensayo, se procedió a tomar las medidas de los vástagos de concreto extraídos. En la Imagen 31 se puede apreciar la toma de medidas utilizando un vernier.



Imagen 31
Toma de medidas de vástago de concreto.

Medidos los vástagos de concreto, se colocarlos en la prensa de concreto y se introdujo los datos al equipo para dar inicio al ensayo. En la Imagen 32 se puede apreciar el vástago de concreto instalado en la prensa de concreto y en la Imagen 33 se puede ver la falla por compresión del vástago de concreto al finalizar el ensayo.



Imagen 32
Prensa de concreto Forney y vástago de concreto.



Imagen 33
Falla por compresión de vástago de concreto.

3.9.14.) Extracción de barras de acero corrugado.

Terminado el ensayo de flexión de vigas ASTM C-293, se seleccionaron 5 vigas, de las cuales, una de ellas pertenecía al grupo control y una de cada nivel de temperatura de exposición (300 °C, 500 °C, 700 °C y 900 °C), de estas vigas se extrajo las barras de refuerzo de acero corrugado. En la Imagen 34 se observa la extracción del refuerzo de acero, para lo cual se utilizó un rotomartillo Bosch para dejarlo expuesto.



Imagen 34
Extracción de barra de refuerzo con roto martillo Boch.

En la Imagen 35 se muestra las barras de acero de refuerzo preparadas para ser cortadas en varillas de 50 cm y ser enviadas al laboratorio de ensayo de materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería donde serán sometidas al ensayo de tracción de acero con Norma de referencia NTP 350.405:2019 y procedimiento interno AT-PR-10.



Imagen 35

Barra de refuerzo extraídas de viga control y vigas expuestas a 300 °C, 500 °C, 700 °C y 900 °C.

En la Imagen 36 se puede apreciar la varilla de acero # 8 extraída de la viga del mismo número. Sometida a 500 °C, esta varilla tiene un diámetro nominal de ½" pulgadas y fue extraída tomando como referencia el punto de aplicación de temperatura, a 25 cm de cada lado, teniendo una longitud final de 50 cm de largo, que es lo indicado por el laboratorio de ensayo de materiales de la Universidad de ingeniería para realizar el ensayo a tracción.



Imagen 36

Varilla #8 de acero de 1/2" de 50 cm largo.

4.) CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1.) Resultados del ensayo de flexión.

4.1.1.) Grupo de control.

El grupo control estuvo formado por 03 vigas, ninguna de estas vigas fue sometida a altas temperaturas y fueron preparadas al mismo tiempo y de la misma manera que el grupo de vigas experimental. Una vez concluidos los ensayos de flexión de vigas ASTM C-293 se obtuvo los resultados respectivos mostrados a continuación.

Tabla 10

Resultados del ensayo a flexión de vigas ASTM C-293 del grupo control.

| Grupo control | | | | | | | |
|---------------|------------------|-----------|----------------------------------|---------------|------------------------------|----------------------|-----------------------------|
| Muestra | Código de prueba | Peso (kg) | Velocidad de aplicación de carga | Precarga (kg) | Fuerza Teórica de falla (kg) | Fuerza de falla (kg) | Tiempo de Prueba (hh/mm/ss) |
| Viga # 13 | 2397 | 63.48 | 2.50 psi/s | 150 | 3495.95 | 4590.35 | 0:08:39 |
| Viga # 14 | 2398 | 63.38 | 2.50 psi/s | 150 | 3495.95 | 4642.97 | 0:09:17 |
| Viga # 15 | 2401 | 63.72 | 2.50 psi/s | 150 | 3495.95 | 3236.38 | 0:10:38 |

4.1.1.1.) Reportes de laboratorio del grupo control.



Forney F-1100KN-HNT230 VFD Máquina de Compresión Automática

Número de serie: 14139

Calibrada: 10/21/2019

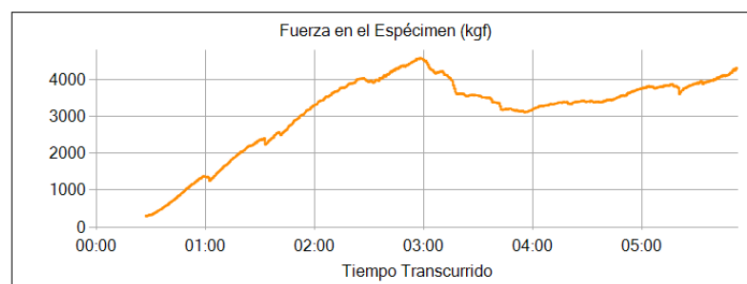
UNIVERSIDAD PERUANA UNION (800) 367-6397

INGENIERIA CIVIL

www.FORNEYonline.com

Seven Fields, PA 16046

| | | | |
|------------------|------------|--|---------|
| No. de Prueba: | 2397 | Edad (días): | 28 |
| Fecha de Prueba: | 12/12/2019 | Masa (kg): | 63.48 |
| Tiempo: | 08:39 | Tipo de Falla: | ---- |
| Tipo de Prueba: | Viga | Gradiente (psi/s): | 0.72 |
| | | Fuerza Máxima (kg): | 4590.35 |
| | | Esfuerzo Máximo (kg/cm ²): | ---- |



www.FORNEYonline.com

Gráfica 1

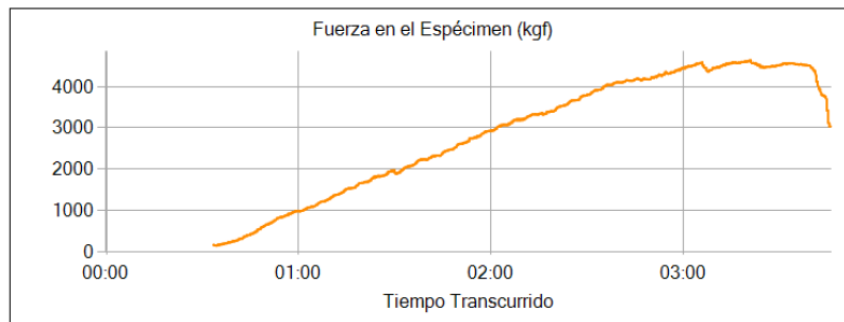
Grafica fuerza/tiempo del ensayo a flexión de la viga # 13.



Forney F-1100KN-INT230 VFD Máquina de Compresión Automática
 Número de serie: 14139
 Calibrada: 10/21/2019
 UNIVERSIDAD PERUANA UNION (800) 367-6397
 INGENIERIA CIVIL www.FORNEYonline.com

Seven Fields, PA 16046

| | | | |
|------------------|------------|--|---------|
| No. de Prueba: | 2398 | Edad (días): | 28 |
| Fecha de Prueba: | 12/12/2019 | Masa (kg): | 63.38 |
| Tiempo: | 09:17 | Tipo de Falla: | --- |
| Tipo de Prueba: | Viga | Gradiente (psi/s): | 1.19 |
| | | Fuerza Máxima (kg): | 4642.97 |
| | | Esfuerzo Máximo (kg/cm ²): | --- |



www.FORNEYonline.com

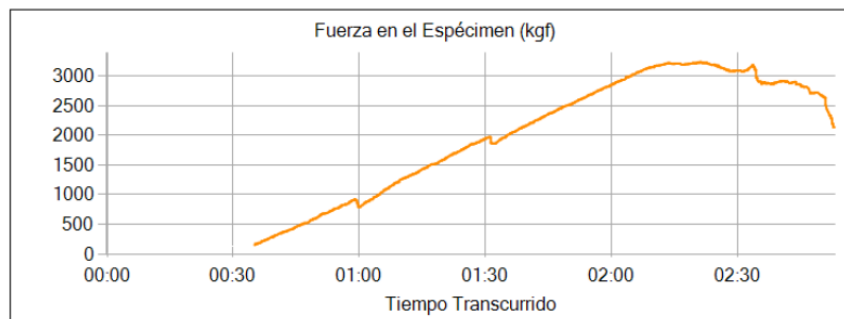
Gráfica 2
 Grafica fuerza/tiempo del ensayo a flexión de la viga # 14.



Forney F-1100KN-INT230 VFD Máquina de Compresión Automática
 Número de serie: 14139
 Calibrada: 10/21/2019
 UNIVERSIDAD PERUANA UNION (800) 367-6397
 INGENIERIA CIVIL www.FORNEYonline.com

Seven Fields, PA 16046

| | | | |
|------------------|------------|--|---------|
| No. de Prueba: | 2401 | Edad (días): | 28 |
| Fecha de Prueba: | 12/12/2019 | Masa (kg): | 63.72 |
| Tiempo: | 10:38 | Tipo de Falla: | --- |
| Tipo de Prueba: | Viga | Gradiente (psi/s): | 2.04 |
| | | Fuerza Máxima (kg): | 3236.38 |
| | | Esfuerzo Máximo (kg/cm ²): | --- |



www.FORNEYonline.com

Gráfica 3
 Gráfica fuerza/tiempo del ensayo a flexión de la viga # 15.

4.1.2.) Grupo experimental.

El grupo experimental consta de 11 vigas idénticas a las del grupo de control, sin embargo, estas fueron divididas en 04 grupos, cada uno de estos grupos fue sometido a un determinado nivel de temperatura y después sometidos el ensayo de flexión de vigas ASTM C-293 en la prensa de concreto.

Tabla 11
Resultados del ensayo a flexión de vigas ASTM C-293 del grupo experimental.

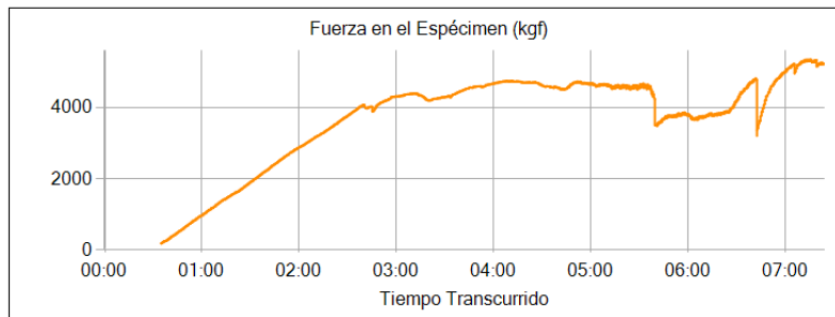
| Grupo experimental | | | | | | | | | |
|--------------------|--------|--------|-----------|-------------------|---------------|---------------------|------------------|------------------|-------------------------|
| Muestra | Código | T. | Peso (kg) | V. de carga (psi) | Precarga (kg) | F. T. de falla (kg) | F. agt apr. (kg) | F. de falla (kg) | T. de Prueba (hh/mm/ss) |
| Viga # 11 | 2402 | 300 °C | 63.50 | 2.50 | 150 | 3495.95 | 4000 | 5344.23 | 0:09:56 |
| Viga # 10 | 2411 | 300 °C | 64.80 | 2.50 | 150 | 3495.95 | 3700 | 5206.41 | 0:09:25 |
| Viga # 9 | 2413 | 500 °C | 62.50 | 2.50 | 150 | 3495.95 | 3800 | 4518.69 | 0:09:59 |
| Viga # 8 | 2414 | 500 °C | 63.80 | 2.50 | 150 | 3495.95 | 3990 | 4938.26 | 0:10:26 |
| Viga # 7 | 2415 | 500 °C | 63.40 | 2.50 | 150 | 3495.95 | 4050 | 4339.97 | 0:10:55 |
| Viga # 6 | 2447 | 700 °C | 63.72 | 2.50 | 150 | 3495.95 | 4000 | 4522.77 | 0:10:06 |
| Viga # 5 | 2450 | 700 °C | 63.50 | 2.50 | 150 | 3495.95 | 5000 | 5893.98 | 0:10:16 |
| Viga # 4 | 2446 | 700 °C | 63.40 | 2.50 | 150 | 3495.95 | 3900 | 4248.80 | 0:09:36 |
| Viga # 3 | 2451 | 900 °C | 64.80 | 2.50 | 150 | 3495.95 | 4300 | 4378.98 | 0:10:50 |
| Viga # 2 | 2452 | 900 °C | 63.80 | 2.50 | 150 | 3495.95 | 4400 | 4505.08 | 0:11:21 |
| Viga # 1 | 2446 | 900 °C | 63.38 | 2.50 | 150 | 3495.95 | 4050 | 4955.95 | 0:08:55 |

4.1.2.1.) Reportes del laboratorio del grupo experimental.



Forney F-1100KN-INT230 VFD Máquina de Compresión Automática
 Número de serie: 14139
 Calibrada: 10/21/2019
 UNIVERSIDAD PERUANA UNION (800) 367-6397
 INGENIERIA CIVIL www.FORNEYonline.com
 Seven Fields, PA 16046

| | | | |
|------------------|------------|--|---------|
| No. de Prueba: | 2402 | Edad (días): | 28 |
| Fecha de Prueba: | 12/13/2019 | Masa (kg): | 63.50 |
| Tiempo: | 09:56 | Tipo de Falla: | --- |
| Tipo de Prueba: | Viga | Gradiente (psi/s): | 1.88 |
| | | Fuerza Máxima (kg): | 5344.23 |
| | | Esfuerzo Máximo (kg/cm ²): | --- |



www.FORNEYonline.com

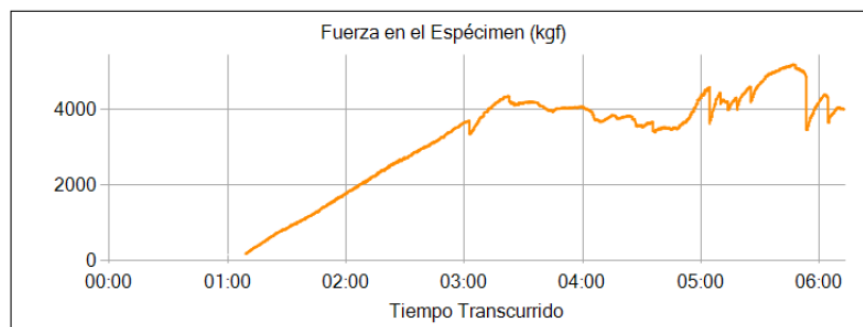
Gráfica 4

Gráfica fuerza/tiempo del Ensayo a flexión de la viga # 11.



Forney F-1100KN-INT230 VFD Máquina de Compresión Automática
 Número de serie: 14139
 Calibrada: 10/21/2019
 UNIVERSIDAD PERUANA UNION (800) 367-6397
 INGENIERIA CIVIL www.FORNEYonline.com
 Seven Fields, PA 16046

| | | | |
|------------------|------------|--|---------|
| No. de Prueba: | 2411 | Edad (días): | 28 |
| Fecha de Prueba: | 12/17/2019 | Masa (kg): | 64.80 |
| Tiempo: | 09:25 | Tipo de Falla: | --- |
| Tipo de Prueba: | Viga | Gradiente (psi/s): | 0.89 |
| | | Fuerza Máxima (kg): | 5206.33 |
| | | Esfuerzo Máximo (kg/cm ²): | --- |



www.FORNEYonline.com

Gráfica 5

Gráfica fuerza/tiempo del ensayo a flexión de la viga # 10.



Forney F-1100KN-INT230 VFD Máquina de Compresión Automática

Número de serie: 14139

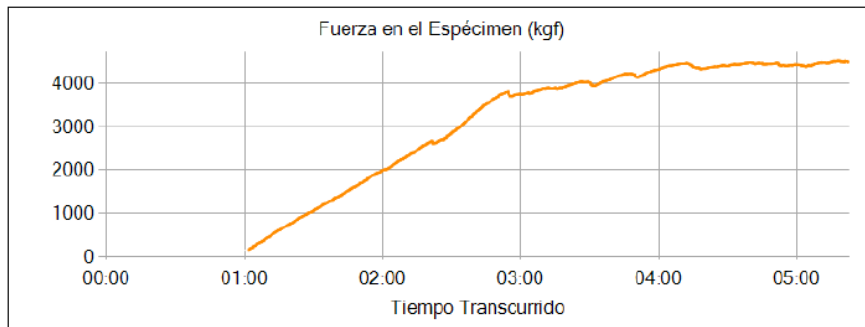
Calibrada: 10/21/2019

UNIVERSIDAD PERUANA UNION (800) 367-6397

INGENIERIA CIVIL www.FORNEYonline.com

Seven Fields, PA 16046

| | | | |
|------------------|------------|--|---------|
| No. de Prueba: | 2413 | Edad (días): | 28 |
| Fecha de Prueba: | 12/17/2019 | Masa (kg): | 62.50 |
| Tiempo: | 09:59 | Tipo de Falla: | --- |
| Tipo de Prueba: | Viga | Gradiente (psi/s): | 1.66 |
| | | Fuerza Máxima (kg): | 4518.69 |
| | | Esfuerzo Máximo (kg/cm ²): | --- |



www.FORNEYonline.com

Gráfica 6
Grafica fuerza/tiempo del ensayo a flexión de la viga # 9.



Forney F-1100KN-INT230 VFD Máquina de Compresión Automática

Número de serie: 14139

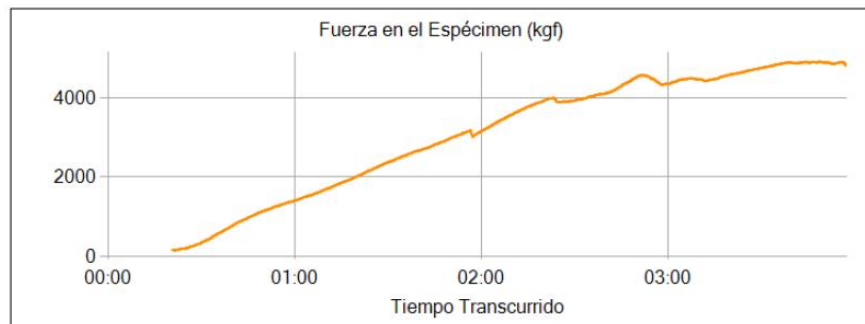
Calibrada: 10/21/2019

UNIVERSIDAD PERUANA UNION (800) 367-6397

INGENIERIA CIVIL www.FORNEYonline.com

Seven Fields, PA 16046

| | | | |
|------------------|------------|--|---------|
| No. de Prueba: | 2414 | Edad (días): | 28 |
| Fecha de Prueba: | 12/17/2019 | Masa (kg): | 63.80 |
| Tiempo: | 10:26 | Tipo de Falla: | --- |
| Tipo de Prueba: | Viga | Gradiente (psi/s): | 2.01 |
| | | Fuerza Máxima (kg): | 4938.26 |
| | | Esfuerzo Máximo (kg/cm ²): | --- |



www.FORNEYonline.com

Gráfica 7
Gráfica fuerza/tiempo del ensayo a flexión de la viga # 8.



Forney F-1100KN-INT230 VFD Máquina de Compresión Automática

Número de serie: 14139

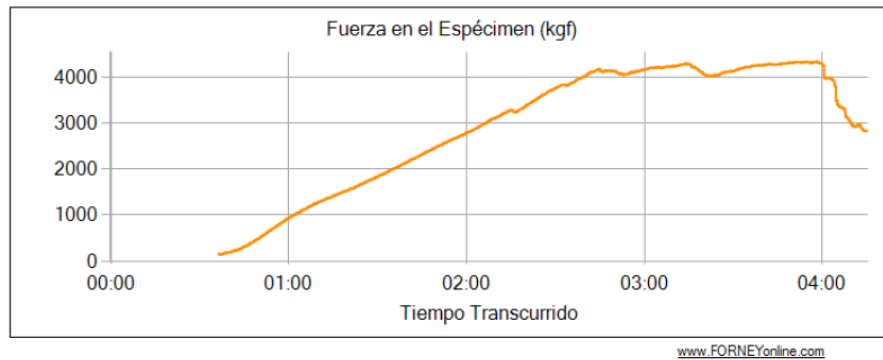
Calibrada: 10/21/2019

UNIVERSIDAD PERUANA UNION (800) 367-6397

INGENIERIA CIVIL www.FORNEYonline.com

Seven Fields, PA 16046

| | | | |
|------------------|------------|--|---------|
| No. de Prueba: | 2415 | Edad (días): | 28 |
| Fecha de Prueba: | 12/17/2019 | Masa (kg): | 63.40 |
| Tiempo: | 10:55 | Tipo de Falla: | --- |
| Tipo de Prueba: | Viga | Gradiente (psi/s): | 0.21 |
| | | Fuerza Máxima (kg): | 4339.97 |
| | | Esfuerzo Máximo (kg/cm ²): | --- |



Gráfica 8
Grafica fuerza/tiempo del ensayo a flexión de la viga # 7.



Forney F-1100KN-INT230 VFD Máquina de Compresión Automática

Número de serie: 14139

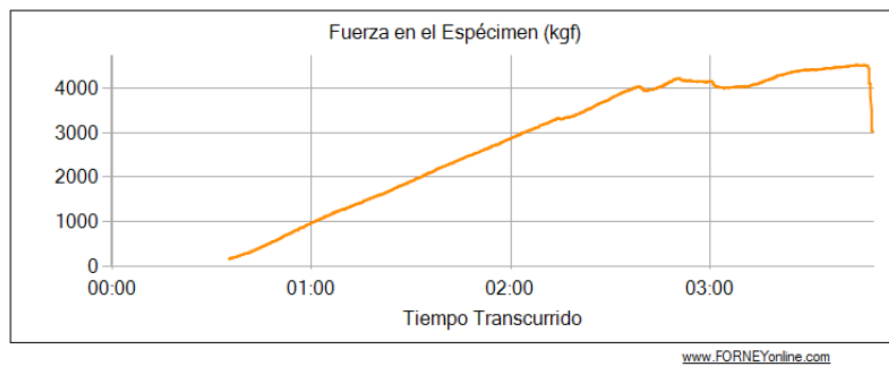
Calibrada: 10/21/2019

UNIVERSIDAD PERUANA UNION (800) 367-6397

INGENIERIA CIVIL www.FORNEYonline.com

Seven Fields, PA 16046

| | | | |
|------------------|------------|--|---------|
| No. de Prueba: | 2447 | Edad (días): | 28 |
| Fecha de Prueba: | 12/18/2019 | Masa (kg): | 63.72 |
| Tiempo: | 10:06 | Tipo de Falla: | --- |
| Tipo de Prueba: | Viga | Gradiente (psi/s): | 1.8 |
| | | Fuerza Máxima (kg): | 4522.77 |
| | | Esfuerzo Máximo (kg/cm ²): | --- |



Gráfica 9
Grafica fuerza/tiempo del ensayo a flexión de la viga # 6.



Forney F-1100KN-INT230 VFD Máquina de Compresión Automática

Número de serie: 14139

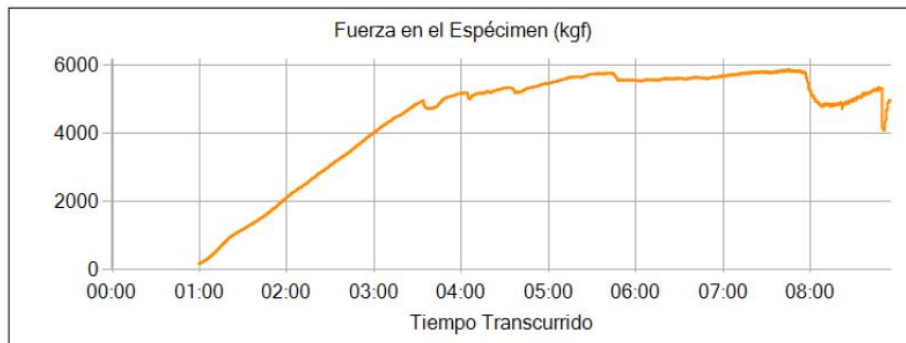
Calibrada: 10/21/2019

UNIVERSIDAD PERUANA UNION (800) 367-6397

INGENIERIA CIVIL www.FORNEYonline.com

Seven Fields, PA 16046

| | | | |
|------------------|------------|--|---------|
| No. de Prueba: | 2450 | Edad (días): | 28 |
| Fecha de Prueba: | 12/18/2019 | Masa (kg): | 63.50 |
| Tiempo: | 10:16 | Tipo de Falla: | --- |
| Tipo de Prueba: | Viga | Gradiente (psi/s): | 0 |
| | | Fuerza Máxima (kg): | 5893.98 |
| | | Esfuerzo Máximo (kg/cm ²): | --- |



Gráfica 10

Grafica fuerza/tiempo del ensayo a flexión de la viga # 5.



Forney F-1100KN-INT230 VFD Máquina de Compresión Automática

Número de serie: 14139

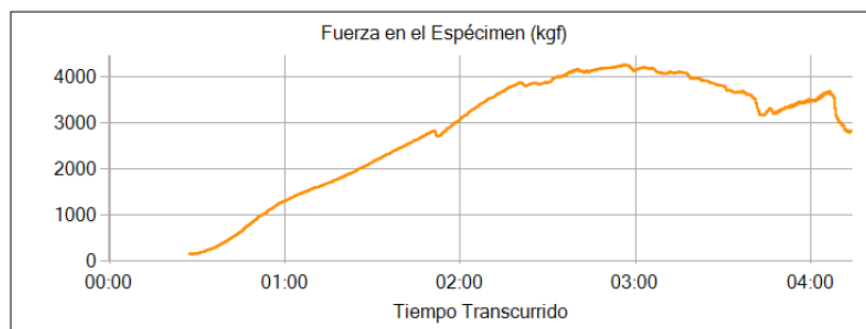
Calibrada: 10/21/2019

UNIVERSIDAD PERUANA UNION (800) 367-6397

INGENIERIA CIVIL www.FORNEYonline.com

Seven Fields, PA 16046

| | | | |
|------------------|------------|--|---------|
| No. de Prueba: | 2446 | Edad (días): | 28 |
| Fecha de Prueba: | 12/18/2019 | Masa (kg): | 63.40 |
| Tiempo: | 09:36 | Tipo de Falla: | --- |
| Tipo de Prueba: | Viga | Gradiente (psi/s): | 0 |
| | | Fuerza Máxima (kg): | 4248.80 |
| | | Esfuerzo Máximo (kg/cm ²): | --- |



Gráfica 11

Grafica fuerza/tiempo del ensayo a flexión de la viga # 4.



Forney F-1100KN-INT230 VFD Máquina de Compresión Automática

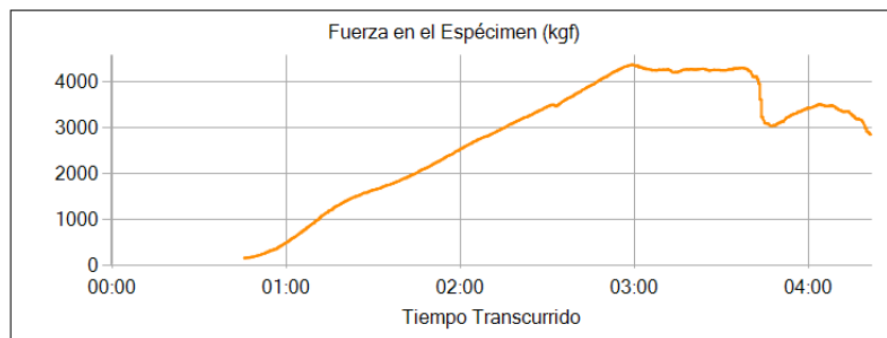
Número de serie: 14139

Calibrada: 10/21/2019

UNIVERSIDAD PERUANA UNION (800) 367-6397
INGENIERIA CIVIL www.FORNEYonline.com

Seven Fields, PA 16046

| | | | |
|------------------|------------|--|---------|
| No. de Prueba: | 2451 | Edad (días): | 28 |
| Fecha de Prueba: | 12/18/2019 | Masa (kg): | 64.80 |
| Tiempo: | 10:50 | Tipo de Falla: | --- |
| Tipo de Prueba: | Viga | Gradiente (psi/s): | 0.94 |
| | | Fuerza Máxima (kg): | 4378.98 |
| | | Esfuerzo Máximo (kg/cm ²): | --- |



www.FORNEYonline.com

Gráfica 12

Grafica fuerza/tiempo del ensayo a flexión de la viga # 3.



Forney F-1100KN-INT230 VFD Máquina de Compresión Automática

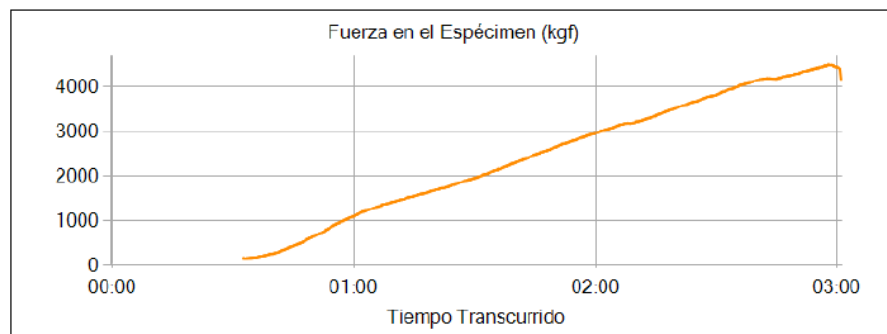
Número de serie: 14139

Calibrada: 10/21/2019

UNIVERSIDAD PERUANA UNION (800) 367-6397
INGENIERIA CIVIL www.FORNEYonline.com

Seven Fields, PA 16046

| | | | |
|------------------|------------|--|---------|
| No. de Prueba: | 2452 | Edad (días): | 28 |
| Fecha de Prueba: | 12/18/2019 | Masa (kg): | 63.80 |
| Tiempo: | 11:21 | Tipo de Falla: | --- |
| Tipo de Prueba: | Viga | Gradiente (psi/s): | 2.24 |
| | | Fuerza Máxima (kg): | 4505.08 |
| | | Esfuerzo Máximo (kg/cm ²): | --- |



www.FORNEYonline.com

Gráfica 13

Grafica fuerza/tiempo del ensayo a flexión de la viga # 2.



Forney F-1100KN-INT230 VFD Máquina de Compresión Automática

Número de serie: 14139

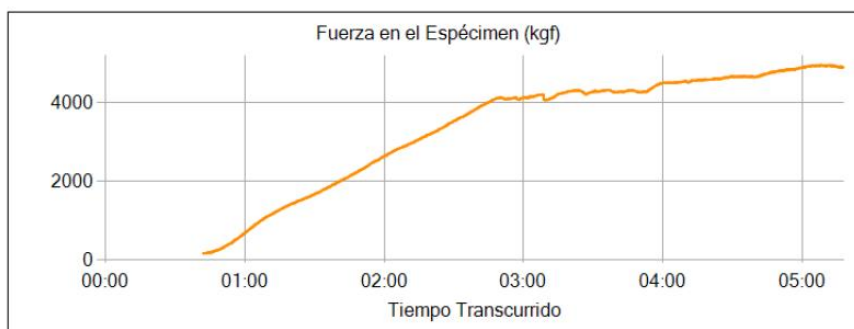
Calibrada: 10/21/2019

UNIVERSIDAD PERUANA UNION (800) 367-6397

INGENIERIA CIVIL www.FORNEYonline.com

Seven Fields, PA 16046

| | | | |
|------------------|------------|--|---------|
| No. de Prueba: | 2446 | Edad (días): | 28 |
| Fecha de Prueba: | 12/19/2019 | Masa (kg): | 63.38 |
| Tiempo: | 08:55 | Tipo de Falla: | --- |
| Tipo de Prueba: | Viga | Gradiente (psi/s): | 1.79 |
| | | Fuerza Máxima (kg): | 4955.95 |
| | | Esfuerzo Máximo (kg/cm ²): | --- |



www.FORNEYonline.com

Gráfica 14

Gráfica fuerza/tiempo del ensayo a flexión de la viga # 1.

4.2.) Resultado de compresión de vástagos de concreto extraído de las vigas.

En la siguiente tabla se muestran los resultados de los ensayos a compresión de los vástagos de concreto que fueron extraídos de las vigas del grupo de control y del grupo experimental.

Tabla 12

Resultados de los ensayos de compresión de vástagos de concreto.

| Resultado de compresión de vástagos de concreto | | | | | | |
|---|---------------|-------------|-----------|------|------------------|---|
| Vástago | Diámetro (cm) | Altura (cm) | Peso (Kg) | Viga | Temperatura (°C) | Resistencia final (Kg/cm ²) |
| No. 1 | 4.6 | 9.8 | 0.48 | #1 | 900 | 155.7 |
| No. 3 | 4.6 | 9.8 | 0.48 | #3 | 900 | 120.43 |
| No. 6 | 4.6 | 9.8 | 0.48 | #6 | 700 | 178.87 |
| No. 7 | 4.6 | 9.4 | 0.46 | #7 | 500 | 162.69 |
| No. 10 | 4.6 | 9.2 | 0.46 | #10 | 300 | 188.56 |
| No. 11 | 4.6 | 9.8 | 0.48 | #11 | 300 | 192.78 |
| No. 12 | 4.6 | 9.6 | 0.47 | #11 | 300 | 323.34 |

Fuente propia.

En la siguiente imagen se muestran el grupo de vástagos extraído de las vigas con sus respectivos números. No fue posible someter al ensayo de compresión a los vástagos 02 y 04 ya que sufrieron daños al momento de haber sido extraídos.



Imagen 37
Vástagos de concreto.



Imagen 38
Vástago de concreto sometido a ensayo de compresión ASTM C-39.

4.3.) Resultado de ensayos de tracción de acero.

El martes 18 de febrero del 2020, se entregó las muestras de varillas de acero al laboratorio de ensayo de materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería. Estas muestras fueron un

total de 5 varillas de acero de $\frac{1}{2}$ " de diámetro nominal y 50 cm de largo como se pueden apreciar a en las imágenes Imagen 39, Imagen 40, Imagen 41, Imagen 42 e Imagen 43.



Imagen 39
Varilla # 2 diámetro nominal $\frac{1}{2}$ " de 50 cm de largo.



Imagen 40
Varilla # 6 de $\frac{1}{2}$ " diámetro nominal, 50 cm de largo y 700°C de exposición de recubrimiento.



Imagen 41
Varilla # 8 de $\frac{1}{2}$ " diámetro nominal, 50 cm de largo y 500°C de exposición de recubrimiento.

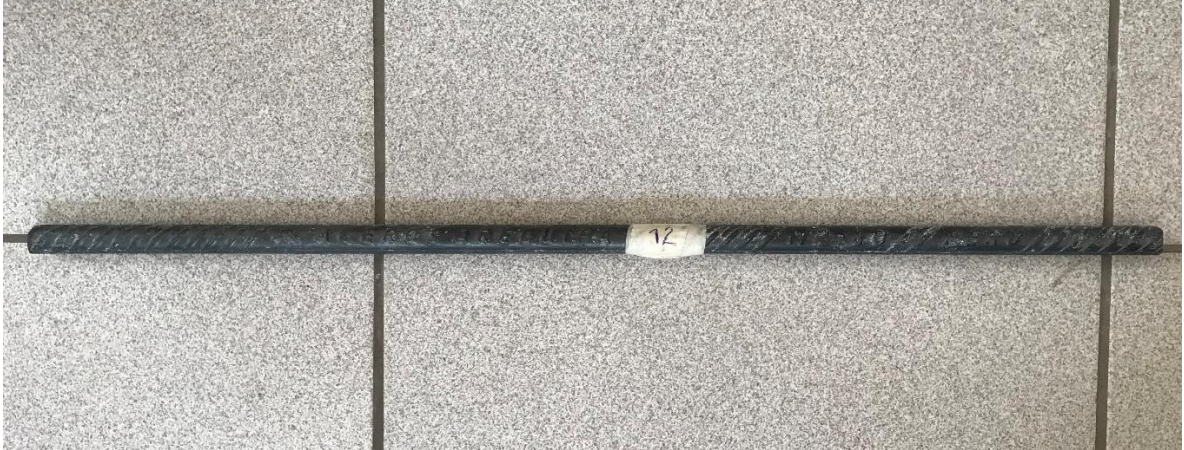


Imagen 42

Varilla # 12 de 1/2" diámetro nominal, 50 cm de largo y 300 °C de exposición de recubrimiento.



Imagen 43

Varilla # 15 de 1/2" diámetro nominal, 50 cm de largo y pertenece al grupo control.

Al cabo de 4 días hábiles, el laboratorio de ensayo de materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería, emitió el informe de los resultados de los ensayos a tracción de las 5 varillas de acero corrugado, los resultados de los ensayos realizados por el laboratorio de la UNI se observan en la Tabla 13.

Tabla 13

Resultados del ensayo de tracción de acero emitido por el laboratorio de ensayo de materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería

| Resultados de ensayos de tracción de acero | | | | | | | | |
|--|-----------------|-------------------------|-------------------------------|--|-----------------|--|---------------------|----------------------|
| Muestra | Sección Nominal | Área (cm ²) | Carga Limite de Fluencia (Kg) | Tensión Limite de Fluencia (Kg/cm ²) | Carga Máx. (Kg) | Resistencia a Tracción (Kg/cm ²) | Deformación n. (mm) | Elongación Final (%) |
| Varilla #2 | 1/2" | 1.29 | 6000 | 4651.16 | 9546 | 7400.00 | 30 | 15.0% |
| Varilla #6 | 1/2" | 1.29 | 8000 | 6201.55 | 9573 | 7420.93 | 20 | 10.0% |
| Varilla #8 | 1/2" | 1.29 | 8400 | 6511.63 | 9641 | 7473.64 | 20 | 10.0% |
| Varilla #12 | 1/2" | 1.29 | 6000 | 4651.16 | 9508 | 7370.54 | 29 | 14.5% |
| Varilla #15 | 1/2" | 1.29 | 5700 | 4418.60 | 9140 | 7085.27 | 30 | 15.0% |

Fuente Propia.

4.4.) Discusión de resultados en relación al objetivo general.

De acuerdo a los resultados obtenidos de los ensayos a flexión adaptados a ASTM C -293, de un grupo experimental de 11 vigas, que fueron sometidas temperaturas de 300 °C, 500 °C, 700 °C y 900 °C durante 30 minutos, se determinó que la alta temperatura incremento la fuerza de falla del grupo experimental en comparación al del grupo control, sin embargo, se pudo observar que a medida que aumento la temperatura la fuerza de falla de las vigas del grupo experimental fue disminuyendo levemente, no obstante y pese a todo superaron sin problemas la fuerza teórica de falla.

4.4.1.) Influencia de la alta temperatura en la resistencia a flexión.

La resistencia a flexión de un elemento de concreto armado es producto de la resistencia a compresión del concreto y la resistencia a tracción del acero conjuntamente.

(Huincho Salvatierra, 2017) y (Vega Catalan & Burón Maestro, 2007) determinaron que tanto el concreto como el acero pierden sus resistencias características al ser expuestos a altas temperaturas y el acero en particular al alcanzar una temperatura de 700 °C, pierde el 85 % de

su resistencia. Es por estas razones que los resultados de los ensayos a flexión muestran una reducción de la fuerza de falla a medida que se incrementó la temperatura, sin embargo, tales resultados superan los resultados del grupo control. En la Tabla 14 se puede apreciar que todas las muestras, sin importar la temperatura a la que fueron sometidas a excepción de la viga #15, superan por lo menos 22 % a la fuerza teórica calculada.

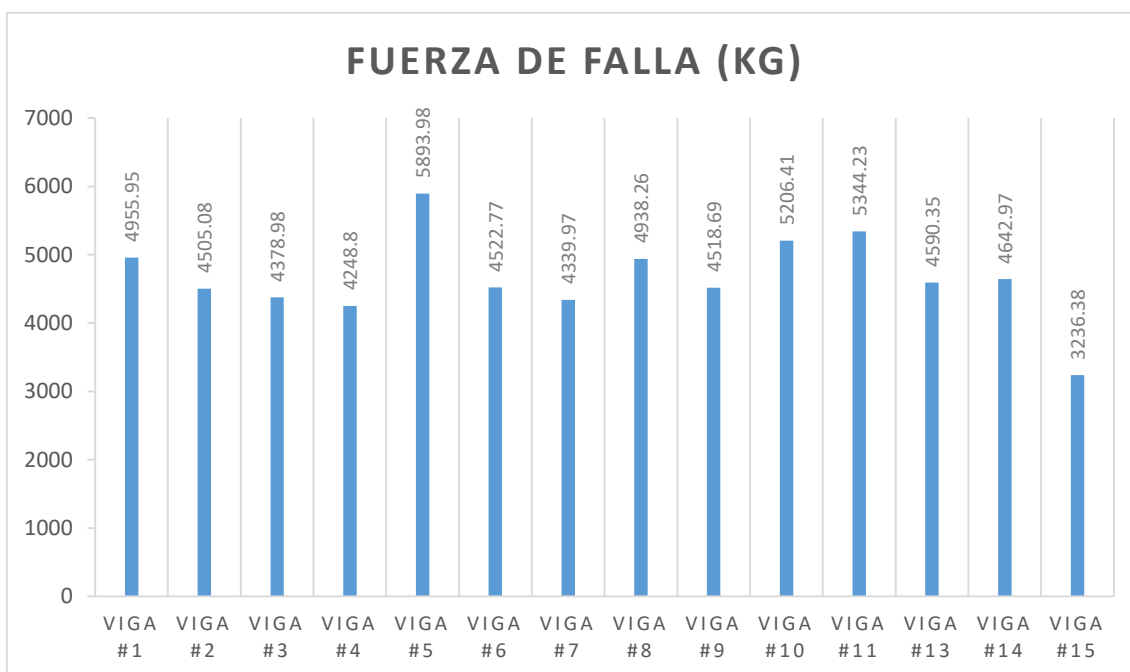
Exceder de la fuerza teórica de falla en los ensayos a flexión es frecuente cuando se ha hecho un diseño correcto ya que en dicho proceso se utilizan factores de reducción de resistencia para el concreto y el acero. Este fenómeno también se corrobora por la investigación realizada por (Noriega Barrueto, 2018 P.81) quien obtuvo una excedencia de resistencia del 13 % pese a haber realizado el diseño por un método no convencional de mayor precisión, llamado método de redistribución de momentos, el cual suele ser mucho más preciso que el diseño por resistencia, en este contraste se puede decir que por tratarse de un método conservador el exceso de resistencia es natural.

Tabla 14
Fuerza de falla de vigas y porcentaje de excedencia a la fuerza teórica de falla.

| VIGA # | Fuerza de falla (Kg) | Porcentaje excedido |
|----------|----------------------|---------------------|
| VIGA #1 | 4955.95 | 42% |
| VIGA #2 | 4505.08 | 29% |
| VIGA #3 | 4378.98 | 25% |
| VIGA #4 | 4248.8 | 22% |
| VIGA #5 | 5893.98 | 69% |
| VIGA #6 | 4522.77 | 29% |
| VIGA #7 | 4339.97 | 24% |
| VIGA #8 | 4938.26 | 41% |
| VIGA #9 | 4518.69 | 29% |
| VIGA #10 | 5206.41 | 49% |
| VIGA #11 | 5344.23 | 53% |
| VIGA #13 | 4590.35 | 31% |
| VIGA #14 | 4642.97 | 33% |
| VIGA #15 | 3236.38 | -7% |

Fuente Propia.

En la Gráfica 15 se puede observar la fuerza de falla de las vigas del grupo de control: viga #15, viga #14, Viga #13 y el grupo experimental: Viga #1, viga #2, viga #3, viga #4, viga #5, viga #6, viga #7, viga #8, viga #9, viga #10 y viga # 11 las cuales fueron sometidas a altas temperaturas. Como se puede apreciar en la Gráfica 15 casi la totalidad de las vigas superan la fuerza de falla teórica, a pesar de haber sido sometidas a altas temperaturas durante un periodo de 30 minutos, sin embargo, al analizar los valores de las fuerzas de falla de las muestras sometidas a altas temperaturas y compararlas solamente entre las que fueron sometidas a altas temperaturas observamos una leve disminución de los valores de la fuerza de falla en las muestras expuestas a mayores temperaturas.



Gráfica 15

Fuerza de falla de Vigas en el Ensayo de Flexión ASTM C- 293.

La Tabla 15 muestra las vigas sometidas a los siguientes grupos de temperaturas de 300 °C, 500 °C, 700 °C y 900 °C durante 30 minutos, y la fuerza de falla del ensayo de flexión ASTM C-293. Todas vigas, mostradas en la gráfica, lograron superar su carga teórica de falla en el ensayo de flexión, pese a haber sido sometidas a altas temperaturas. Las vigas, durante la aplicación de la alta temperatura, mostraron signos de daño y deterioro en el concreto como

perdida agua a través de los poros del concreto, descorchamiento y fisuración de su superficie. Al recuperar la temperatura ambiente, las vigas que fueron expuestas a altas temperaturas mostraban signos de deterioro en la superficie del concreto, sin embargo, todos estos signos fueron irrelevantes en la resistencia al ensayo de flexión, ya que, como muestra la Tabla 15 la alta temperatura y el tiempo de exposición no lograron producir pérdidas considerables de la resistencia a flexión, por tal motivo se puede afirmar nuevamente, que la exposición a alta temperatura, por el espacio de 30 minutos, de acuerdo a la curva ISO 834, en el peralte de una viga de concreto armado soportando únicamente su peso propio, no tiene efectos relevantes en la resistencia a flexión.

Tabla 15

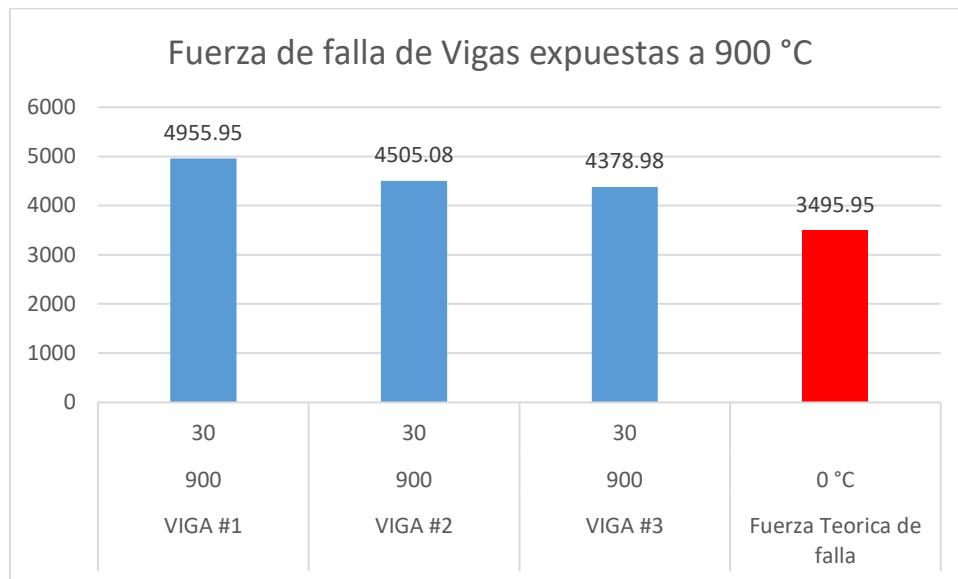
Se muestra temperatura, tiempo de exposición y fuerza de falla de vigas experimentales.

| VIGA # | Temperatura °C | Tiempo de Exposición (min) | Fuerza de falla (Kg) |
|----------|----------------|----------------------------|----------------------|
| VIGA #1 | 900 | 30 | 4955.95 |
| VIGA #2 | 900 | 30 | 4505.08 |
| VIGA #3 | 900 | 30 | 4378.98 |
| VIGA #4 | 700 | 30 | 4248.8 |
| VIGA #5 | 700 | 30 | 5893.98 |
| VIGA #6 | 700 | 30 | 4522.77 |
| VIGA #7 | 500 | 30 | 4339.97 |
| VIGA #8 | 500 | 30 | 4938.26 |
| VIGA #9 | 500 | 30 | 4518.69 |
| VIGA #10 | 300 | 30 | 5206.41 |
| VIGA #11 | 300 | 30 | 5344.23 |

Fuente Propia.

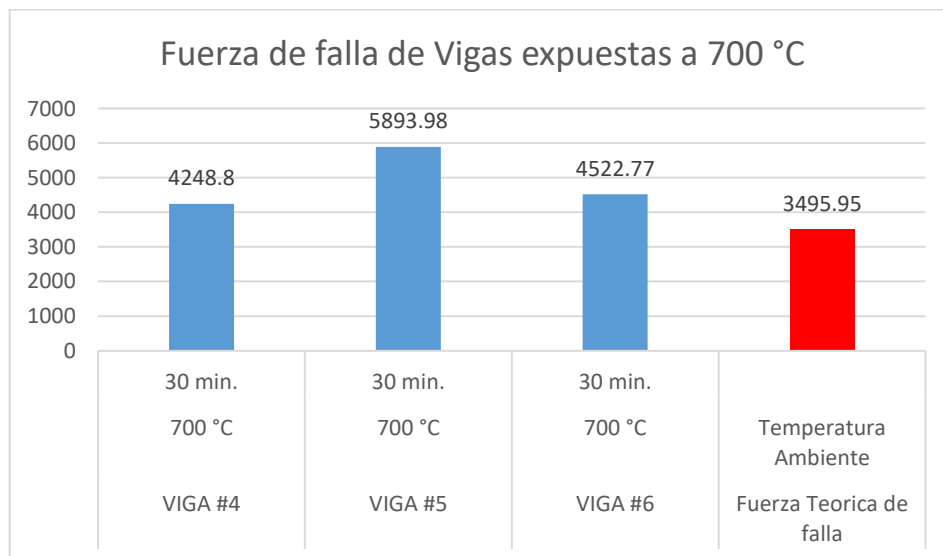
En las siguientes graficas se puede apreciar los resultados de las fuerzas de falla obtenida de las muestras expuestas a altas temperaturas y se puede observar que absolutamente todas logran superar la fuerza teórica de falla. Al comparar los valores de las fuerzas obtenidas se puede apreciar que las fuerzas de falla de los grupos expuestos a mayores temperaturas presentan valores menores en comparación a los valores obtenidos por las muestras expuestas

a menores temperaturas, mostrando que los efectos de la alta temperatura tienden a reducir la resistencia a flexión, pero no de manera relevante.



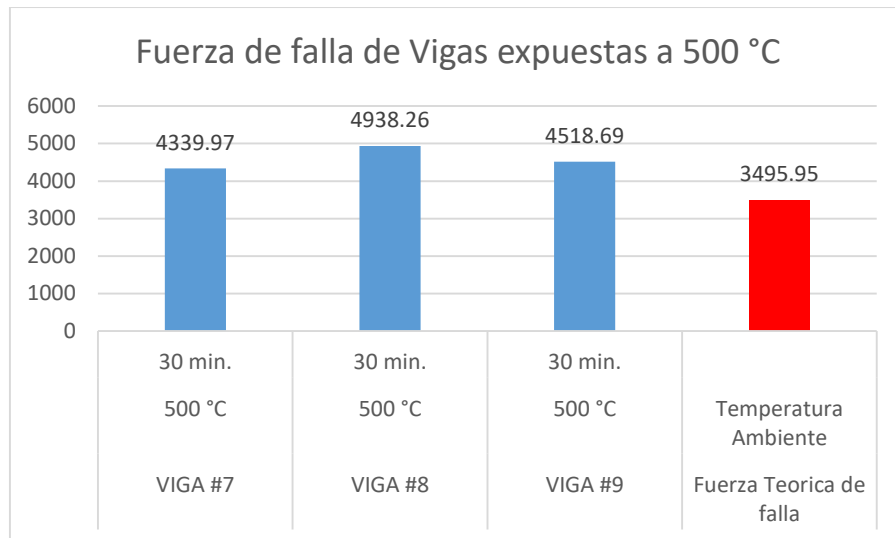
Gráfica 16

Fuerza de falla de vigas en el ensayo de flexión ASTM C-293 expuestas a 900 °C.



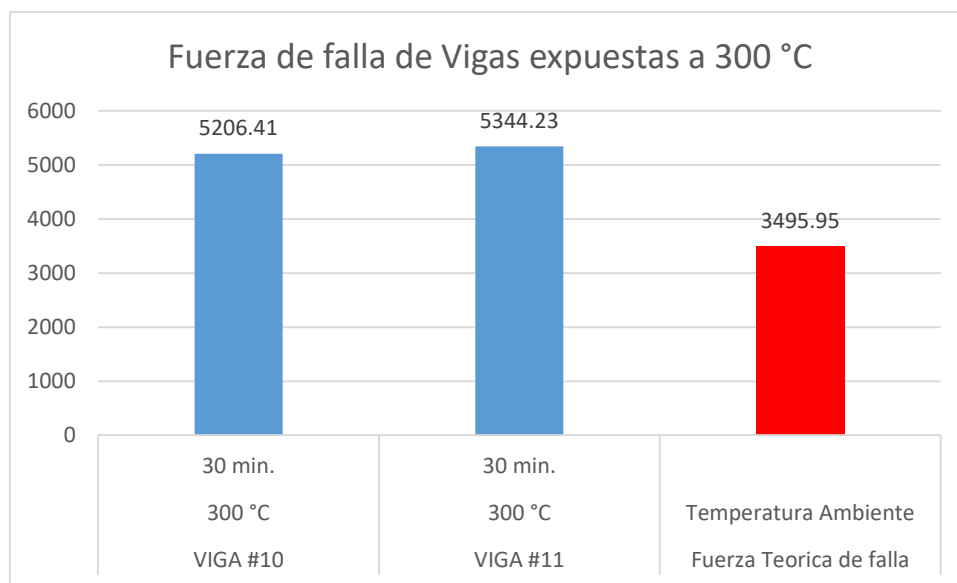
Gráfica 17

Fuerza de falla de vigas en el ensayo de flexión ASTM C-293 expuestas a 700 °C.



Gráfica 18

Fuerza de falla de vigas en el ensayo de flexión ASTM C-293 expuestas a 500 °C.



Gráfica 19

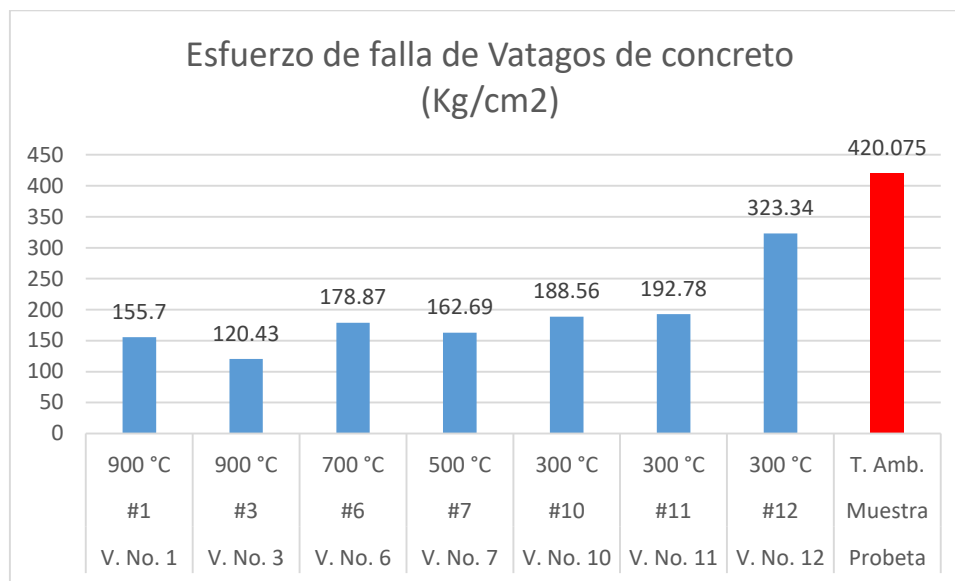
Fuerza de falla de vigas en el ensayo de flexión ASTM C-293 expuestas a 300 °C.

De acuerdo a (Vega Catalan & Burón Maestro, 2007) se puede explicar la leve pérdida de la resistencia a flexión de las muestras sometidas a altas temperaturas, ya que, teóricamente se considera que el concreto en una viga trabaja únicamente a compresión y se desprecia su capacidad de soportar esfuerzos de tracción, la alta temperatura, a la que fueron sometidas las muestras, se aplicó justo en la base del peralte de la viga, provocando el descorchamiento,

incandescencia, deshidratación y pérdida de resistencia del concreto, sin embargo, en dicha zona, donde se aplicó la temperatura, no se considera las capacidades resistentes del concreto, ya que, el “a”, que es la longitud de la sección que trabaja a compresión, tiene una longitud de 1.52 cm teóricamente, el cual casi no sufrió daño por estar alejado de la alta temperatura y en casos reales generalmente esta zona estaría embebida dentro de una losa siendo aislada de las altas temperaturas. De manera similar que el concreto, el acero también perdió resistencia debido a la temperatura, sin embargo, cabe aclarar que los ensayos de flexión no fueron realizados cuando las vigas se encontraban sometidos a alta temperatura, ya que fueron enfriadas utilizando agua y posterior mente, cuando ya alcanzaron una temperatura ambiente fueron trasladadas al equipo donde se realizó el ensayo a flexión. El acero, en la muestra de concreto, se encuentra recubierto de concreto con un espesor de 2.50 cm y al ser sometido a altas temperaturas, gracias al recubrimiento, se mantuvo siempre a mucho menos temperatura que el exterior, debido a la capacidad de aislamiento térmico del concreto. A pesar de ello de igual manera el acero alcanza temperaturas en las cuales pierde parte de su resistencia de acuerdo a (Vega Catalan & Burón Maestro, 2007). Sin embargo, al enfriarse recupera sus características estructurales. De esta manera puede explicarse la conservación de la resistencia a flexión.

Los resultados expresados en la Gráfica 20 muestran que el concreto perdió resistencia a la compresión debido a las altas temperaturas. Los menores valores de resistencia a la compresión fueron obtenidos de las muestras expuestas a mayores temperaturas mientras que los mayores valores de resistencia a la compresión más alta se obtuvo de las muestras expuestas a menor temperatura. Estos resultados corroboran los resultados obtenidos por (Chauca Rodríguez & Cruz Córdova, 2014) que determinaron que el concreto pierde su resistencia a compresión al ser expuesto a altas temperatura y al mismo tiempo guarda relación con los resultados de (VKR

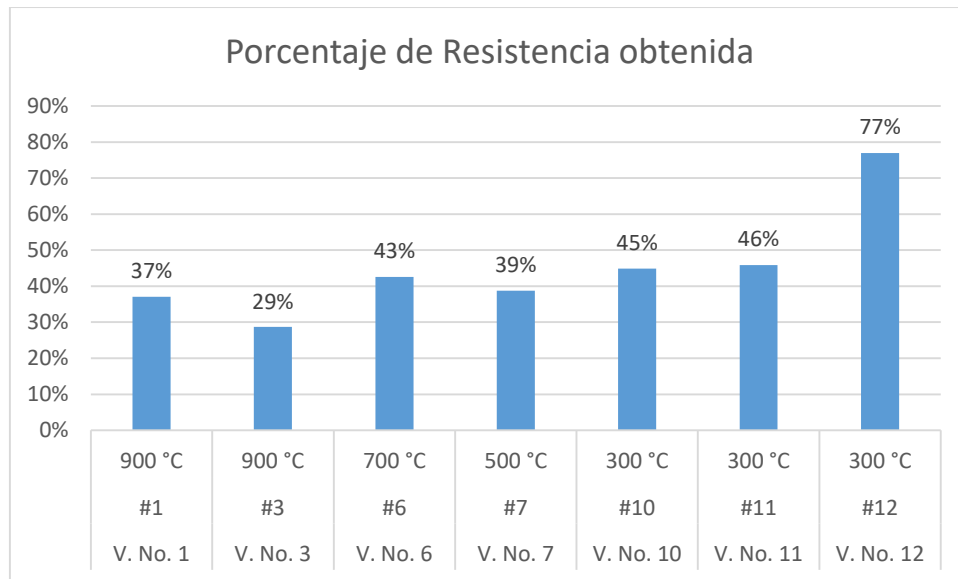
& Ankit, 2015) que sostiene que la resistencia a flexión de una viga es afectada de manera mínima por las altas temperaturas.



Gráfica 20

Esfuerzo de falla de vástagos de concreto.

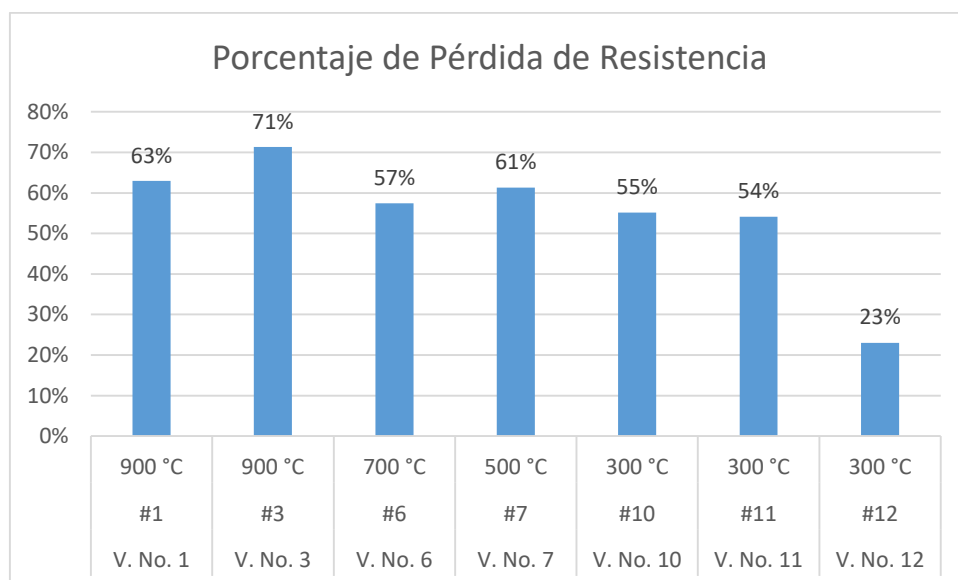
En la Gráfica 21 se puede observar el porcentaje de resistencia a compresión obtenido de los vástagos de concreto extraídos de las vigas sometidas a altas temperaturas. Como se puede apreciar en la Gráfica 21 las muestras sometidas a mayor temperatura alcanzan un menor porcentaje de su resistencia original de 420.075 Kg/cm² guardando relación con los resultados obtenidos por (De Sousa & Moreno Jr, 2010) que afirma que la resistencia a compresión del concreto expuesto a 900 °C se reduce drásticamente, de igual manera con (Welch, Torero, & Usmani, 2007) que determinaron que las propiedades estructurales del concreto cambian drásticamente a partir de los 500 °C en adelante, y por ultimo con (Figuroa Orjuela & Bello López, 2018) el cual observo que a partir de 450 °C el concreto inicia el proceso de descorchamiento y comienza a presentar fisuras y micro fisuras.



Gráfica 21

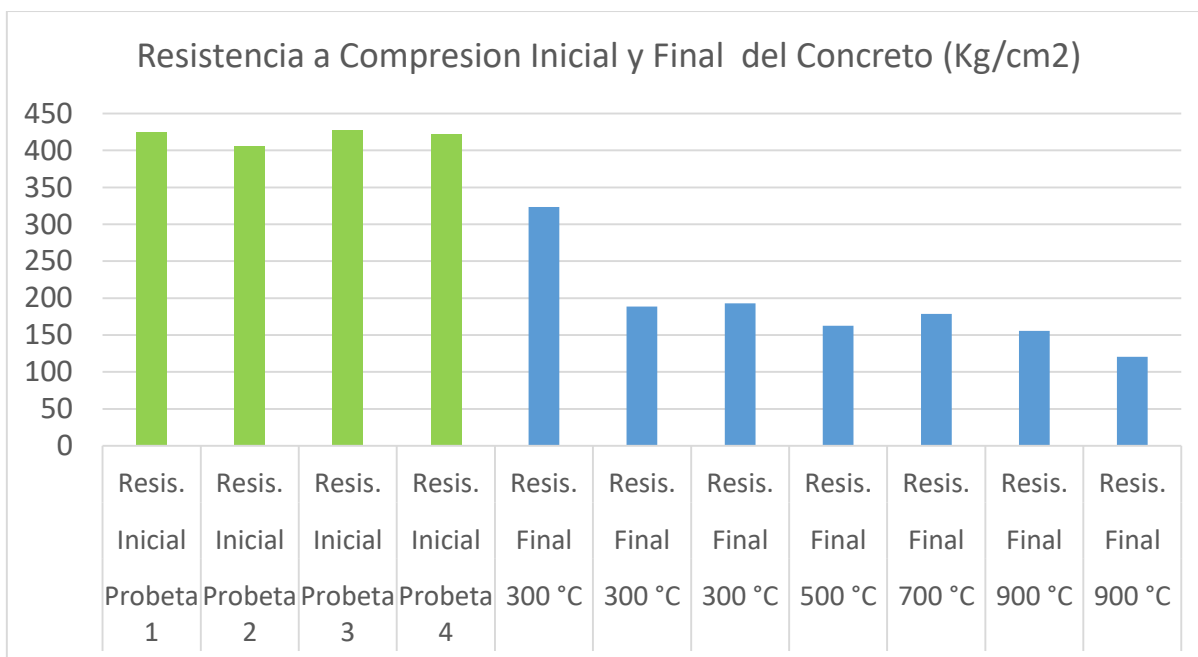
Porcentaje de resistencia obtenida de acuerdo a la resistencia de 420.075 Kg/cm².

En la Gráfica 22 se aprecia el porcentaje de pérdida de resistencia a compresión de los vástagos de concreto sometidos a altas temperatura. Se puede apreciar que el vástago No. 3 que soporto una temperatura de 900 °C posee el porcentaje de pérdida de resistencia más alto, lo cual está de acuerdo con (De Sousa & Moreno Jr, 2010).



Gráfica 22

Porcentaje de resistencia pérdida de acuerdo a la resistencia de 420.075 Kg/cm².



Gráfica 23
Resistencia inicial y final del concreto.

4.4.2.) Resultados relacionados de investigaciones similares.

Los resultados obtenidos en la presente investigación guardan relación con resultados obtenidos en investigaciones similares y afines de los siguientes investigadores:

(VKR & Ankit, 2015) Realizaron una investigación acerca de métodos para evaluar la capacidad residual de vigas de concreto armado expuestas al fuego. Estos investigadores afirman que, por lo general, la capacidad residual del concreto, expuesto a efectos de alta temperatura, tiene mínima influencia en la resistencia a flexión final de una viga de concreto armado sometida a flexión positiva. Esto sucede siempre y cuando la alta temperatura afecta únicamente la parte inferior de la viga. En tales condiciones, la pérdida de resistencia a compresión del concreto ocurre en la zona de la sección de la viga que no existen esfuerzos de compresión, si no de tracción. Sin embargo, la zona de la sección de la viga que se encuentra sometida a esfuerzos de compresión, esfuerzos que asume el concreto, se encuentra embebida por lo general en una losa que lo protege de las temperaturas del exterior.

(Mahdi Raouffard & Minehiro, 2017) publicaron un artículo en la revista Fire Safety Journal, en el que evaluaron la respuesta al fuego de una estructura de concreto armado,

concluyeron que: dos de sus pórticos que fueron diseñado de acuerdo al diseño sísmico convencional de Japón, se comportaron de manera satisfactoria a pesar de las altas temperaturas sometidas y pese haber estado sometido bajo cargas de servicio durante la exposición a la temperatura, lo cual también es acorde con los resultados obtenidos en la presente investigación.

Un caso más que guarda relación con los resultados obtenido en esta investigación son los resultados publicados por (Yong, y otros, 2019) en un artículo en la revista *Construction and Building Materials*, en el cual al someter una viga de sección T a altas temperaturas y luego ser reforzadas tiras de acero, se obtuvo un incremento de resistencia. Además, esta investigación revelo que a pesar de que al someter a temperaturas de 900 °C, 990 °C y 1025 °C en un horno especializado, la temperatura al interior del espécimen, se mantenía en 290 °C, 490 °C y 580 °C respectivamente, lo cual es mucho menos de la mitad de la temperatura aplicada en el exterior de la viga.

4.4.2.1.) Investigaciones relacionadas.

La Tabla 16 se extrajo del documento “Methode de prévision par le calcul du comportement au feu des structures en beton” (XP P29701/A1, diciembre 2000). En esta tabla se puede apreciar las temperaturas alcanzadas en un incendio normalizado en una barra de acero de refuerzo sin protección y en barras de acero protegidas con recubrimientos de concreto en función del tiempo. Se puede apreciar que para el caso de un incendio de 30 minutos la temperatura llega a alcanzar los 815 °C, la misma temperatura se aprecia para el caso del acero de refuerzo sin protección, sin embargo, para el acero de refuerzo que cuenta con recubrimiento, se aprecian que las temperaturas son considerablemente bajas. En la presente investigación, a diferencia de estos casos, las vigas se sometieron a temperaturas de 300 °C, 500°C, 700 °C y 900 °C de manera constante durante 30 minutos como lo muestra la tabla anterior, esto agrega una explicación más de por qué la resistencia a flexión de las vigas de

concreto armado no se redujo, pese a la temperatura a la que fueron sometidas, como muestra la tabla, el acero en las vigas de concreto armado, cuyo recubrimiento era de 2.50 cm, posiblemente no alcanzó temperaturas críticas donde perdiese más del 70 % de sus capacidad estructural, o si las alcanzó posiblemente la viga no fallo debido a que únicamente soportaba su peso propio, y al enfriarse la viga, el acero recupero su resistencia a tracción explicando así la conservación de la resistencia a flexión de las vigas de concreto armado.

Tabla 16
Temperatura alcanzada en un incendio en función del tiempo y el recubrimiento.

| Tiempo | | Temperatura alcanzada en (°C) | | |
|------------|----------------|--|--|------|
| t(minutos) | En el Incendio | En el acero estructural sin protección | En la armadura con un recubrimiento r (mm) | |
| | | | r=30 | r=45 |
| 30 | 815 | 815 | 205 | 140 |
| 60 | 925 | 925 | 370 | 270 |
| 90 | 990 | 990 | 490 | 350 |
| 120 | 1030 | 1030 | 570 | 425 |
| 150 | 1070 | 1070 | 620 | 490 |
| 180 | 1100 | 1100 | 660 | 510 |

(XP P29701/A1, diciembre 2000).

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran las líneas isotérmica d e una sección de concreto sometida a 1000 °C de temperatura en su cara exterior, las líneas isotérmicas a una profundidad de 2.50 cm, la cual tiene la misma dimensión que el recubrimiento utilizado en las vigas, indican una temperatura de 600 °C, a esta temperatura el acero pierde un 60 % de su capacidad estructural, sin embargo este 40 % de resistencia restante, es más que suficiente para soportar el peso propio de la viga, sin embargo, de haber sido sometida a ensayo de flexión inmediatamente después de ser sometida a altas temperaturas, sin darle tiempo de enfriar, la resistencia a flexión habría reducido proporcionalmente a la pérdida de resistencia del acero. Cabe recalcar que el recubrimiento para las vigas de estudio fue determinado en base al recubrimiento de refuerzo utilizado en viguetas de losas aligeradas de acuerdo a capítulo 7 de la norma E-060.

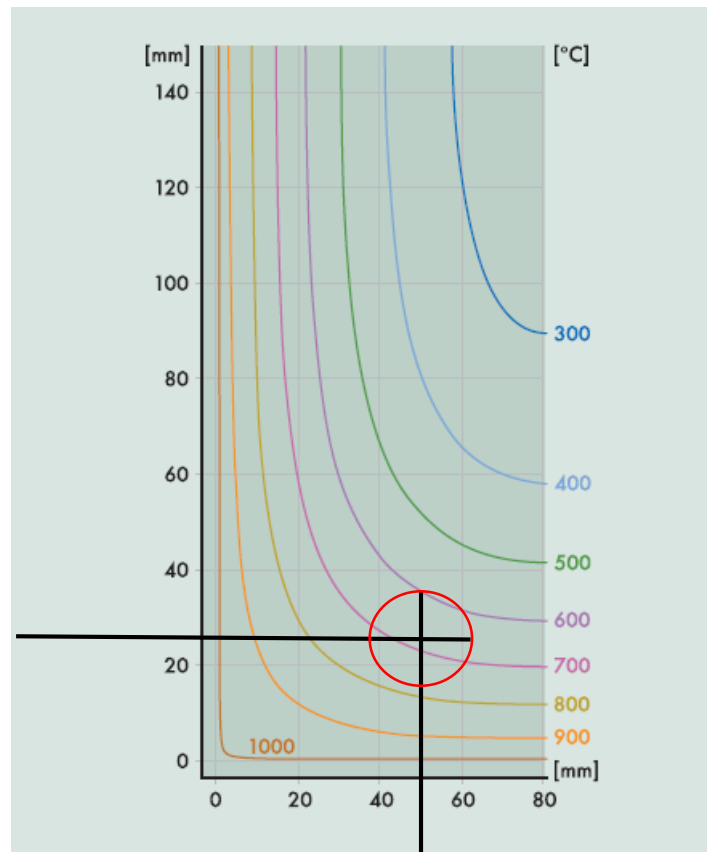


Imagen 44
Líneas isotérmicas en una sección de concreto.

(Vega Catalan & Burón Maestro, 2007)

En la Tabla 17 se muestran las pérdidas de resistencia en porcentajes, tanto en el acero como el concreto o también llamado hormigón a medida aumenta la temperatura, cabe recalcar que los investigadores no explicaron la forma en que estos datos fueron obtenidos.

Tabla 17
Perdida de Resistencia en Función de la Temperatura.

| Temperatura °C | Perdida de resistencia % | |
|-------------------|--------------------------|----------|
| | Acero Armadura | Hormigón |
| T (°C) | | |
| 20 | 0 | 0 |
| 400 | 15 | 15 |
| 500 | 30 | 30 |
| 600 | 60 | 40 |
| 700 | 85 | 60 |

(Vega Catalan & Burón Maestro, 2007).

4.4.3.) Resultados no relacionados en investigaciones similares.

Los resultados obtenidos en la presente investigación, no guarda relación con la investigación realizada por (Guangzhong, Ba; Jijun, Miao; Weiping, Zhang; Jialiang, Liu, 2019) en la que analizaron el comportamiento de vigas con refuerzo corroído frente a la acción del fuego directo, obteniendo como resultado la pérdida de la resistencia a flexión de la viga de manera diferente a lo obtenido en la presente investigación.

4.5.) Discusión de resultados en relación a objetivos específicos.

De acuerdo a los resultados de los ensayos a flexión de vigas adaptados a ASTM C-293 y el ensayo de tracción de acero, se rechaza la hipótesis planteada al inicio de la investigación, la cual sostiene que el acero pierde resistencia a tracción, debido a los cambios bruscos de temperatura producidos por el fuego y el enfriamiento.

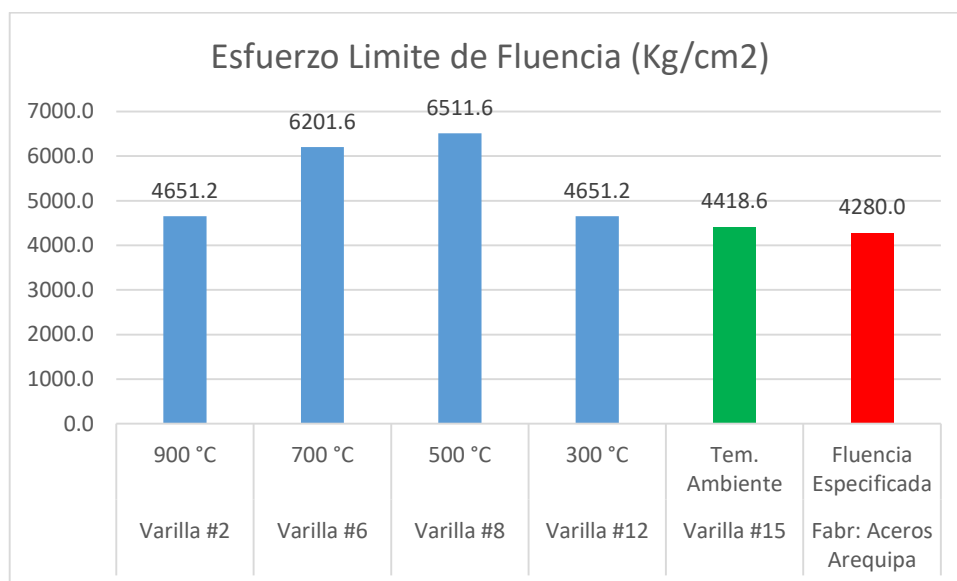
4.5.1.) Efecto de la alta temperatura en la resistencia a tracción del acero.

En el concreto armado, el acero de refuerzo se encuentra recubierto por una capa de concreto de mínimo 2.50 cm en losas aligeradas de acuerdo a la normativa peruana. Esta capa protege al acero de la corrosión y también debería protegerlo de las altas temperaturas. En la presente investigación se sometió a elementos de concreto armado con 2.5 cm de recubrimiento a temperaturas de 300 °C, 500°C, 700 °C y 900 °C, el acero de estos elementos, de acuerdo a la Imagen 44, en la que se muestran líneas isotérmicas en función del espesor del concreto, alcanzo los 600 °C, a esta temperatura, de acuerdo a la Tabla 17, el acero de refuerzo perdió el 60 % de su resistencia, sin embargo, debido a que este elemento de concreto armado únicamente soportaba su peso propio no se produjo la falla (Vega Catalan & Burón Maestro, 2007).

Al ser enfriado el elemento de concreto armado, utilizando chorros de agua, el acero fue sometido de manera no intencional a un tratamiento térmico no controlado denominado temple. El tratamiento térmico del temple tiene como objetivo incrementar la dureza del acero. Este

proceso es llevado a cabo regularmente en la fabricación de cuchillos de alta gama; el mismo que torna al acero bastante rígido pero al mismo tiempo quebradizo, sin embargo, para tal propósito el proceso del temple debe ser ejecutado de manera controlada, ya que, de no ser así, puede provocar comportamientos no deseados en el acero como una falla por temple o variaciones en su comportamiento deseado (Nuñez Gonzalez, 1990).

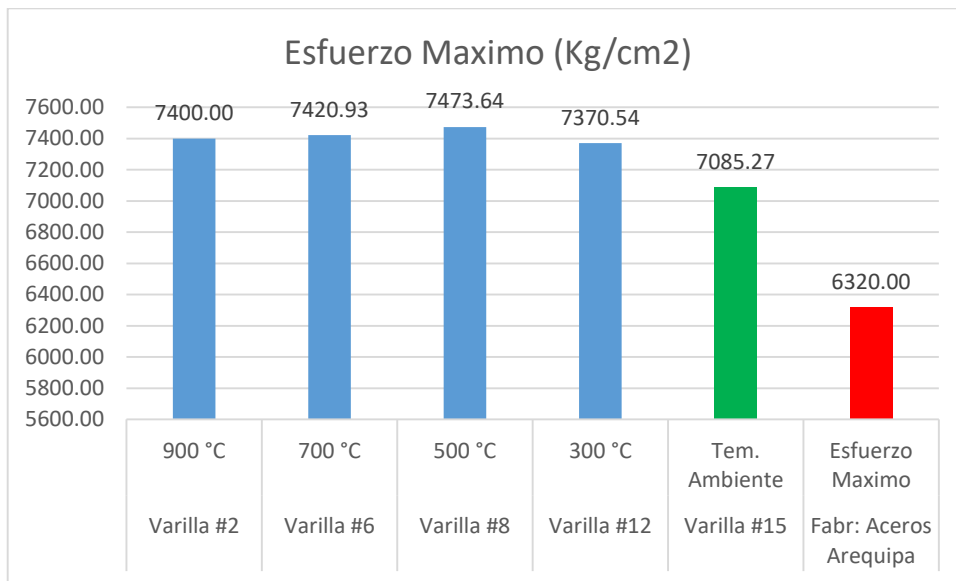
Los resultados del laboratorio de ensayo de materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería se representan en la Gráfica 24. Como se puede apreciar en la gráfica, el esfuerzo límite de fluencia de las varillas #6 y #8, aumentaron significativamente con respecto al esfuerzo de fluencia de la varilla sometida a temperatura ambiente y el esfuerzo de fluencia especificada por el fabricante de las varillas, sin embargo, en las varillas #2 y #12 se observó un leve incremento en el esfuerzo de fluencia, este fenómeno se debe a que se realizó de manera involuntaria un proceso de tratamiento térmico no controlado llamado temple.



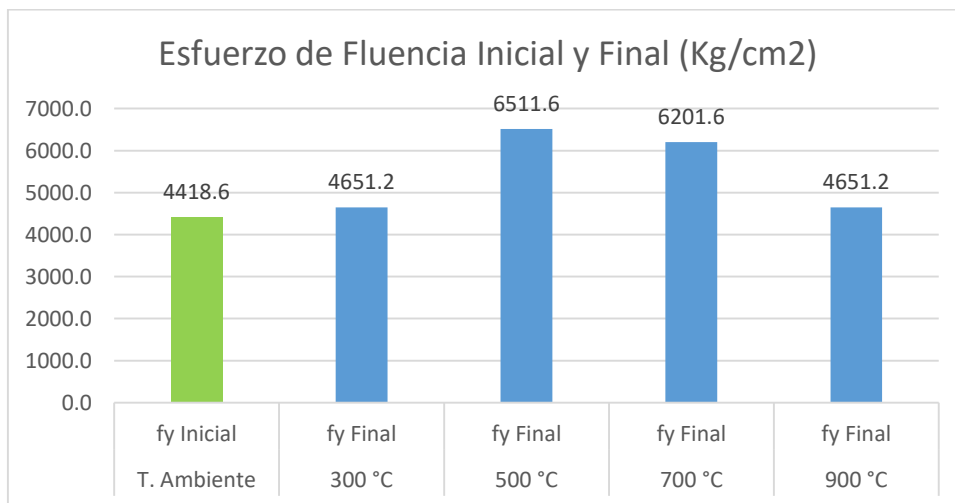
Gráfica 24
Esfuerzo límite de la fluencia de varillas.

Al igual que el esfuerzo límite de fluencia, el esfuerzo máximo también se incrementó debido a la influencia de la alta temperatura en el acero de refuerzo, lo cual fue provocado el proceso de temple del acero. En la Gráfica 25 se puede apreciar el incremento del esfuerzo máximo del acero de refuerzo en comparación del acero expuesto a temperatura ambiente (Verde) y del

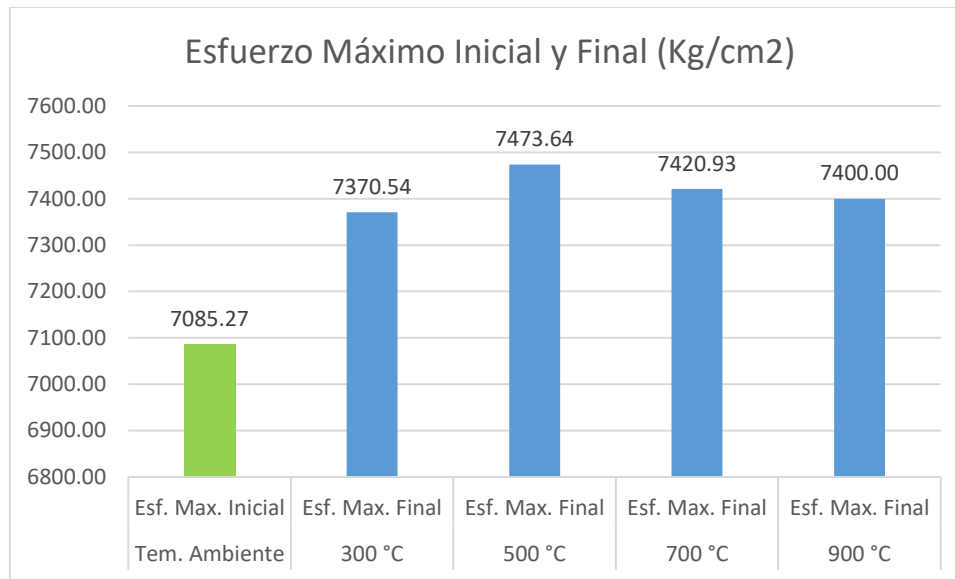
esfuerzo máximo especificado por el fabricante (Rojo). Este incremento del esfuerzo máximo es usual al someter el acero al proceso térmico del temple.



Gráfica 25
Esfuerzo máximo de varillas.



Gráfica 26
Esfuerzo de fluencia inicial y final.



Gráfica 27
Esfuerzo máximo inicial y final del acero de refuerzo.

4.5.1.1.) Resultados relacionados.

Los resultados obtenidos de los ensayos de tracción de acero, donde se incrementó el esfuerzo de fluencia y el esfuerzo máximo, guardan relación con los resultados obtenidos por las siguientes investigaciones:

(Soria Aguilar, y otros, 2015) Realizaron una investigación sobre los efectos del tratamiento térmico en las propiedades mecánicas del acero para tuberías, en dicha investigación, se sometió al acero a un tratamiento térmico de templado en varios niveles de temperatura, observando finalmente que los aceros sometidos a una temperatura baja de austenizado, incrementaban sus propiedades mecánicas como el esfuerzo de fluencia y el esfuerzo máximo de manera similar a lo obtenido en la presente investigación.

(Vega Guillen , Padilla, & Gonzalez Reynoso, 1999) Realizaron una tabla tecnológica o ficha técnica del acero grado 60, determinaron los puntos críticos, temperatura optima de temple y ensayos de tracción, donde se pudo observar el incremento del esfuerzo de fluencia y el esfuerzo máximo al ser sometido al tratamiento térmico de temple, siendo enfriado únicamente con agua, sin llevar a cabo el proceso de revenido, el cual fue un proceso muy similar al llevado de manera no intencional en la presente investigación.

(Higuera Cobos, Moreno Tellez, & Ramires Montes, 210) Llevaron a cabo una investigación donde analizaron el efecto del precalentamiento y la severidad del temple en la resistencia al desgaste del acero, donde se sometió a varillas de acero a temperaturas de hasta más de 1000 °C, se pudo observar que el acero enfriado con agua presento un mejor comportamiento, debido a que se redujo la probabilidad de presentar compuestos blandos, al mismo tiempo, se redujo la pérdida de carbono, obteniendo un mejor comportamiento mecánico.

4.5.1.2.) Resultados no relacionados.

No se halló fuentes contradictorias de acuerdo a los resultados obtenidos.

4.5.2.) Efecto de la alta temperatura en el tipo de falla de un elemento de concreto armado sometido a flexión.

Los modos o tipos de falla de las vigas de concreto armado cambia en función de la cuantía de acero longitudinal, para una sección sub reforzada, el tipo de falla esperada teóricamente es dúctil, para una sección medianamente reforzada, se espera una falla balanceada y para una sección sobre reforzada, se espera una falla frágil. Como se ha podido ver en la presente investigación, la alta temperatura influyo en el comportamiento del acero longitudinal, lo que también, puede evidenciar una influencia en el tipo de falla de un elemento de concreto armado sometido a flexión. En las siguientes imágenes se puede apreciar las de fallas de las vigas sometidas al ensayo de flexión.



Imagen 45
Falla de la muestra #13.



Imagen 46
Falla de la muestra #14.



Imagen 47
Falla de la muestra # 15.



Imagen 48
Falla de la muestra # 11.



Imagen 49
Falla de la muestra # 10.



Imagen 50
Falla de la muestra # 09.



Imagen 51
Falla de la muestra # 8.



Imagen 52
Falla de la muestra # 7.



Imagen 53
Falla de la muestra # 6.



Imagen 54
Falla de la muestra # 5.



Imagen 55
Falla de la muestra # 4.



Imagen 56
Falla de la muestra # 3.



Imagen 57
Falla de la muestra # 2.



Imagen 58
Falla de la muestra # 1.

Las vigas sometidas al ensayo de flexión tenían como refuerzo una barra de acero positivo de 1/2" pulgada de diámetro nominal y un área de acero de 1.29 cm² convirtiéndola en una viga de sección sub reforzada. De acuerdo a la cuantía de una viga de sección sub reforzada, se esperó que tuviese una falla dúctil, sin embargo, como se puede apreciar en la Tabla 18, donde se puede apreciar los 3 tipos de falla en todo el grupo de vigas, la falla predominante fue el tipo de falla balanceada. Tanto en el grupo experimental como en el grupo control se hace difícil apreciar un patrón de tipo de falla entre ellos.

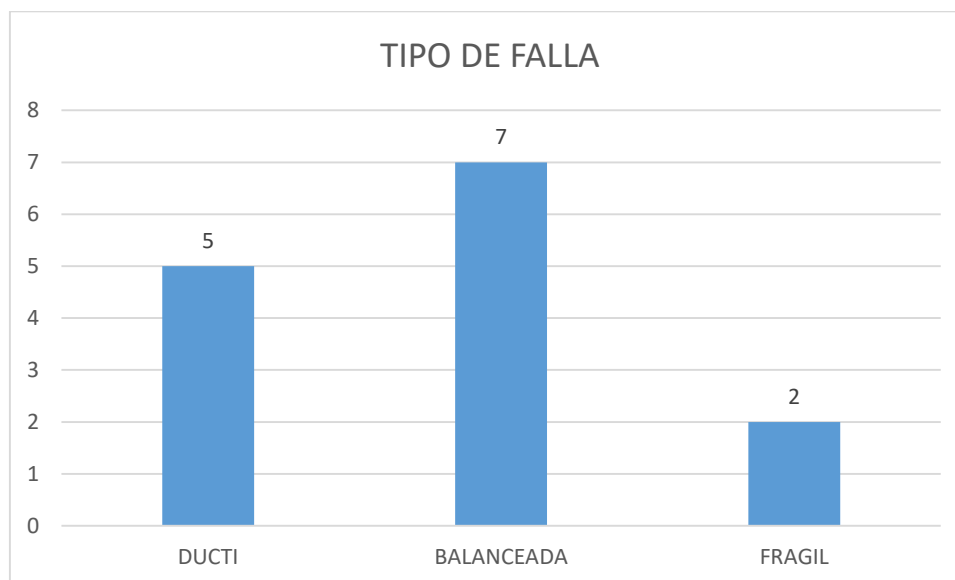
Tabla 18
Tipos de falla de vigas.

| VIGA # | Temperatura | Tipo de Falla. |
|----------|-------------|----------------|
| VIGA #1 | 900°C | BALANCEADA |
| VIGA #2 | 900°C | FRAGIL |
| VIGA #3 | 900°C | DUCTIL |
| VIGA #4 | 700°C | BALANCEADA |
| VIGA #5 | 700°C | BALANCEADA |
| VIGA #6 | 700°C | DUCTIL |
| VIGA #7 | 500°C | BALANCEADA |
| VIGA #8 | 500°C | DUCTIL |
| VIGA #9 | 500°C | BALANCEADA |
| VIGA #10 | 300°C | BALANCEADA |
| VIGA #11 | 300°C | BALANCEADA |

| | | |
|----------|----------|--------|
| VIGA #13 | Ambiente | DUCTIL |
| VIGA #14 | Ambiente | DUCTIL |
| VIGA #15 | Ambiente | FRAGIL |

Fuente Propia.

En la Gráfica 28 se puede apreciar la cantidad de tipos de falla obtenidas del grupo control y grupo experimental de las vigas ensayadas bajo flexión. Las vigas sometidas al ensayo de flexión contaban con una cuantía de acero de 1.29 cm², que de acuerdo a la sección del elemento, se consideraba como sub reforzada, llevando a esperar por teoría una falla dúctil, sin embargo, se puede apreciar en la Gráfica 28 que el tipo de falla de mayor incidencia en el total de vigas sometidas a ensayos de flexión es la falla balanceada. El incremento del esfuerzo de fluencia y esfuerzo máxima del acero a consecuencia del tratamiento térmico de temple involuntario, provoco un predominio del tipo de falla balanceada a consecuencia de una mayor resistencia del acero. Por dichas razones mencionadas se puede decir de la alta temperatura provoco cambios en el tipo de falla obtenida en los ensayos de flexión.

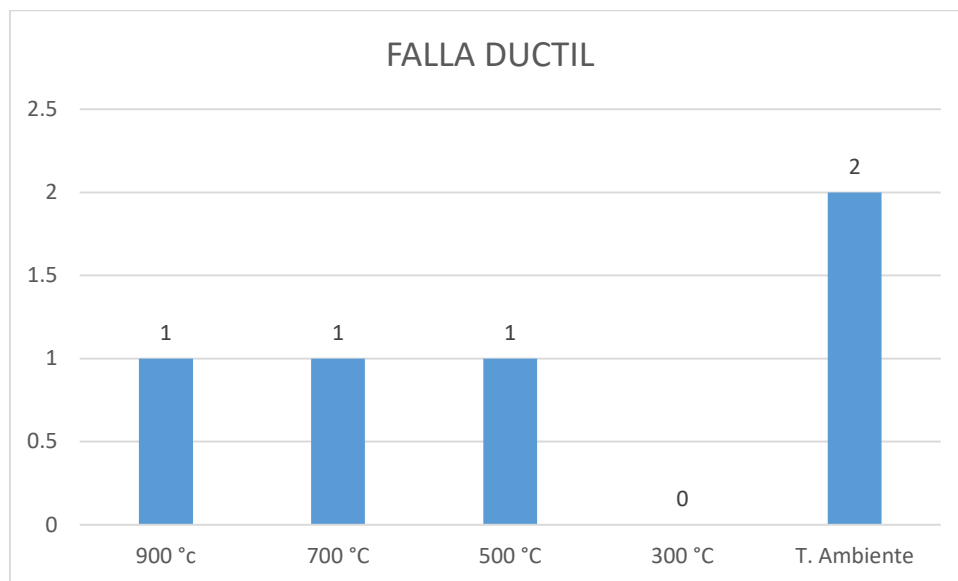


Gráfica 28

Cantidad de tipos de falla obtenidos por los ensayos de flexión ASTM C 293.

En la Gráfica 29 se puede apreciar que la falla dúctil, que es precisamente la esperada en las vigas sometidas a ensayos de flexión, obtuvo mayor incidencia en el grupo control de vigas

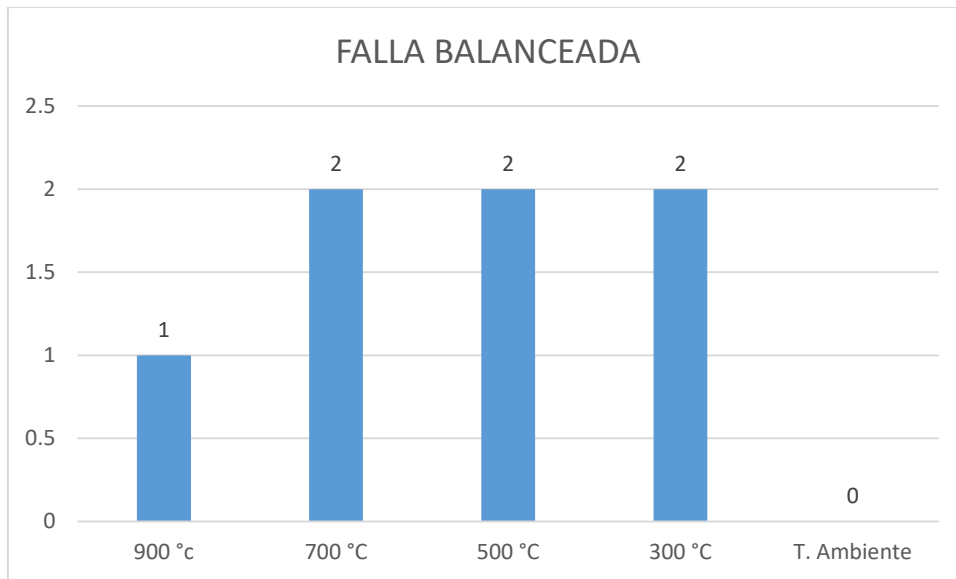
que no fueron sometidas a ninguna exposición de alta temperatura, sin embargo, también se puede apreciar este tipo de falla en los grupos de vigas sometidos a 900 °C, 700 °C y 500 °C.



Gráfica 29

Número de fallas dúctiles obtenidas por el ensayo a flexión ASTM C 293.

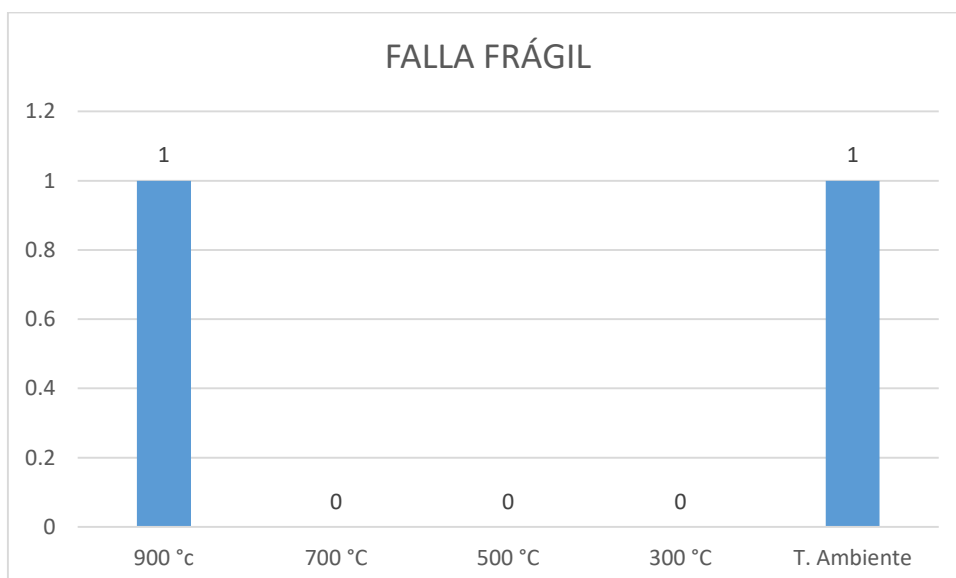
Al analizar la incidencia de tipo de falla balanceada en el grupo de control y grupo experimental de las vigas sometidas a flexión, se puede observar que el tipo de falla balanceada tuvo mayor incidencia en el grupo experimental de vigas, las cuales fueron sometidas a temperaturas elevadas, mientras tanto, se aprecia en el grupo de control una nula incidencia de este tipo de falla. Acorde a los datos de gráfica, se puede afirmar que la alta temperatura influyó en el tipo de falla de las vigas sometidas a altas temperaturas, a razón del total de incidencias de fallas del tipo balanceadas en este grupo.



Gráfica 30

Número de fallas balanceadas obtenidas por el ensayo a flexión ASTM C 293.

Por último, en la Gráfica 31 se observa la incidencia del tipo de falla frágil en el total grupo de vigas, se puede apreciar por la Gráfica 28 y por la Gráfica 31 que este tipo de falla obtuvo la menor incidencia en todos los grupos pese a que teóricamente este tipo de falla no debería haberse presentado en estos grupos de vigas de secciones sub reforzadas, sin embargo, en la gráfica se aprecia su incidencia tanto en el grupo control y grupo experimental.



Gráfica 31

Número de fallas frágiles obtenidas por el ensayo a flexión ASTM C 293.

4.5.2.1.) Resultados relacionados

Los tipos de falla obtenidos en los ensayos de flexión guardan relación con los resultados de los siguientes investigadores:

(Taozhi & Jie, 2019) Realizaron una investigación experimental en tipos de fallas de vigas de concreto armado, estos investigadores realizaron un total de 27 vigas, las cuales fueron sometidas a el ensayo de flexión obteniendo diversos tipos de falla a pesar de haber realizado la construcción de las vigas con el mismo procedimiento, materiales y realizando el mismo programa de pruebas para todas las vigas, de manera similar que en esta investigación. En la presente investigación, pese a haber construido las vigas bajo las mismas condiciones, se obtuvo 3 tipos de falla al parecer de manera Estocástica.

(Carpinteri, Ferro, Bosco, & Elkatieb, 1999) Realizaron una investigación experimental en la que realizaron comparaciones de los resultados obtenidos en ensayos de laboratorio, con los resultados obtenidos teóricamente. Se confirmó la existencia de diferentes comportamientos de tipos de falla, empezando desde dúctil hasta frágil, ocurriendo la falla frágil cuando el peralte o el refuerzo superan ciertos valores, pese a la aproximación aceptable del modelo teórico.

(Guohua, Zhaoqun, & Osman E., 2017) Realizaron una investigación donde estudiaron el comportamiento y tipos de fallas de vigas de concreto armado con 2 tipos de refuerzo. Observaron varios tipos de falla en las vigas de concreto armado durante las pruebas. Las vigas reforzadas con barras de aleación de aluminio fallaron por aplastamiento de concreto y mostraron fallas dúctiles a pesar de haber fallado por el aplastamiento del concreto, mientras, las vigas reforzadas con GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) exhibieron relativamente menos falla dúctil o incluso frágil falla cuando se usó una relación de refuerzo más alta. También observaron que el patrón de grietas y el comportamiento mecánico en una viga

concreto armado es muy sensibles a la resistencia de refuerzo. Aquellos resultados indican que una variación en la resistencia del refuerzo longitudinal provocará variaciones en el tipo de falla, de manera similar a lo sucedido en esta investigación.

(Carpinteri, Ruiz Carmona, & Ventura, 2011) Realizaron una investigación experimental sobre los tipos de falla de vigas de concreto armado, logrando determinar que el tipo de falla es altamente sensible a la cuantía del acero del refuerzo y a su resistencia, de manera que cualquier cambio en una de estas características, provocará variaciones en el tipo de falla esperado.

El patrón de grietas, en sus ensayos de vigas, se propagó hacia el punto de aplicación de la carga. En una de las grietas se originó la llamada grieta crítica que finalmente provocó la falla, de manera similar como se apreció en los ensayos a flexión de la presente investigación.

4.5.2.2.) Resultados no relacionados

(Sujith & Jong-Su, 2018) Realizaron una investigación sobre la clasificación y predicción de tipos de falla, logrando una alta aproximación de predicciones y resultados, lo cual no se relaciona con la presente investigación debido a la influencia otros factores.

(Fentao, Bo, & Demin, 2009) Llevaron a cabo una investigación experimental en vigas de concreto armado que sometieron a altas temperaturas. Dichas vigas contaban con refuerzo de corte. Finalmente, lograron determinar que, la capacidad de una viga de concreto armado se reduce significativamente, mientras que la resistencia al corte de los estribos de acero varía con el tiempo de calentamiento afectando su tipo de falla.

5.) CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.) Conclusiones.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación se concluye:

- Las altas temperaturas influyen en la resistencia a flexión de un elemento de concreto armado ya que disminuyen la fuerza de falla, sin embargo, la pérdida de resistencia a flexión es intrascendente ya que la totalidad de las muestras del grupo experimental superaron la fuerza teórica de falla.
- De los resultados obtenidos de los ensayos a flexión ASTM C-293, de 11 muestras de concreto armado, se apreció que el 100 % de las muestras superaron la fuerza teórica de falla de 3495.95 kg, logrando superar más del 22% de dicho valor teórico, pese a haber sido sometidos a efectos de altas temperaturas de hasta 900 °C durante un periodo de 30 minutos.
- De los resultados de los ensayos a compresión de los vástagos de concreto, que fueron extraídos de 7 muestras sometidas a temperaturas de 300 °C, 500 °C, 700 °C y 900 °C, se pudo obtener un 56 % de resistencia a compresión de la muestra que fue sometida a 300 °C, también se obtuvo un 39 % de resistencia a compresión de la muestra sometida a 500 °C, un 43 % de la resistencia a compresión de la muestra sometida a 700 °C y un promedio del 33 % de la resistencia a compresión de las muestras sometidas a 900 °C. Esto muestra que la alta temperatura influye en la resistencia a compresión del concreto disminuyendo su resistencia a consecuencia de las altas temperaturas. Sin embargo, no influye de manera significativa en la resistencia a flexión del elemento del concreto armado en conjunto.
- La alta temperatura provoca el incremento del esfuerzo de fluencia y del esfuerzo máximo de las barras de acero corrugado del concreto. Esto se debe a que al ser puestas

en contacto con altas temperaturas se someten a un tratamiento térmico llamado temple, el cual ocurre de manera involuntaria.

- Los ensayos de tracción de acero ASTM A615, realizados en el laboratorio de materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería, determinaron que la alta temperatura provocó el incremento del esfuerzo de fluencia de hasta un 47% correspondiente a las varillas expuestas a temperatura ambiente, al mismo tiempo también se incrementó el esfuerzo máximo en un 18 % en comparación a lo especificado por el fabricante, este fenómeno sucedió a razón de que el acero de refuerzo de las vigas fue sometido a un tratamiento térmico de temple de involuntaria, al ser sometido a altas temperaturas y enfriado con agua.
- De acuerdo al cálculo de cuantía del acero de refuerzo, las vigas de concreto armado fueron diseñadas para fallar de forma dúctil, lo cual fue apreciado en el tipo de falla presentado en el grupo control. Después de ser sometidas las vigas a altas temperaturas y ser enfriadas utilizando agua, el acero de refuerzo de las vigas incremento su esfuerzo de fluencia y esfuerzo máximo provocando una mayor incidencia de fallas balanceadas en el grupo experimental de vigas, sin embargo, también hubo una incidencia de fallas dúctiles y frágiles, pero en mucho menor proporción.
- De acuerdo a la hipótesis general, los resultados obtenidos apoyan de manera distinta a lo propuesto en dicha hipótesis, la cual proponía que la alta temperatura influye en la resistencia a flexión de un elemento de concreto armado provocando pérdida de resistencia en gran medida. Se observó después del ensayo a flexión que el 100 % de las muestras superaron la fuerza teórica de falla, Sin embargo, se pudo observar leves indicios de la pérdida de la capacidad de la resistencia a flexión y de adherencia en el acero de refuerzo, de acuerdo a lo establecido en la hipótesis general, pero en menor grado.

- De acuerdo a la hipótesis planteada sobre la influencia de la alta temperatura en la resistencia a tracción del acero de refuerzo, se observó que los resultados obtenidos corroboraron en cierta medida lo propuesto. Tal como se planteó en la hipótesis, el acero de refuerzo fue sometido de manera involuntaria al proceso térmico de temple, sin embargo, pese a haber sido realizado dicho proceso de manera no controlada, los ensayos de tracción de acero mostraron que se incrementó el esfuerzo de fluencia y el esfuerzo máximo de falla, sin observarse fallas por un temple defectuoso, tal como fue propuesto en dicha hipótesis.
- De acuerdo a la hipótesis propuesta sobre la influencia de la alta temperatura en el tipo de falla de los elementos de concreto armado, se observó que produjeron un mayor número de fallas balanceadas como consecuencia de que las altas temperaturas provocaron incremento del esfuerzo de fluencia y del esfuerzo máximo del acero. Sin embargo, se esperaba un mayor número de fallas frágiles a consecuencia de la pérdida de resistencia del concreto.

5.2.) Recomendaciones.

Se recomienda lo siguiente:

- Futuras investigaciones:
 - Realizar el ensayo de flexión ASTM C-293 al mismo tiempo que se somete a efectos de alta tempera.
 - Profundizar el estudio sobre líneas isotérmicas en el concreto en diferentes tiempos de exposición y el efecto que tienen en el acero de refuerzo.
- Procedimientos:
 - Alta minuciosidad en la preparación de las muestras que serán sometidas a los ensayos de flexión ASTM C 293, ya que son extremadamente sensibles a variaciones en la preparación y manipulación de las muestras.
 - Realizar el vaciado de las vigas en un solo tiempo.
 - Verificar el la operatividad, capacidad y anclaje de los equipos de ensayos para evitar contra tiempos.
 - Verificar las medidas de los equipos de ensayo.
 - Usar equipos de transporte, izado y/o personal de apoyo para la manipulación de las muestras.
 - Usar de una posa para tal proceso de curado, debido a que, los métodos de curado químicos suelen producir variaciones en los resultados.

6.) Referencias.

- ABDELAL, A., Abdel-Aziz, G., El Mohr, M., & Salama, G. (s.f.). Effect of aggregate type on the fire resistanc of normal and self -compacting concretes. *Effect of aggregate type on the fire resistanc of normal and self -compacting concretes*. Benha Universitu Egypt, El Cairo.
- Bartolome, A. S. (1998). *Analisis de Edificios*. Lima: Pontificia Universidad Catolica del Perú.
- BENAVENTE, E. R. (2009). *MONITOREO Y DIAGNOSTICO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO AFECTADAS POR CLORUROS*. LIMA: UNI.
- C. Hibbeler, R. (2014). *MECANICA DE MATERIALES*. MEXICO : PEARSON.
- Carpinteri, A., Ferro, G., Bosco, C., & Elkatieb, M. (1999). Scale Effects And Transitional Failure Phenomena Of Reinforced Concrete Beams In Flexure. *Department of Structural Engineering, Politecnico di Torino,Italy*, 1-30.
- Carpinteri, A., Ruiz Carmona, J., & Ventura, G. (2011). Failure mode transitions in reinforce concrete beams Part 2: Experimental tests. *ACI Structural Jounal*, 286-293.
- Carrilo, J., Cardenas Pulido, J., & Aperador, W. (2017). Propiedades mecánicas a flexión del concreto reforzado con fibras de acero bajo ambientes corrosivos. *Revista Ingeniería de Construcción RIC*, 59-72.
- Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2015). *Termodinamica*. España: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES.
- Çengel, Y., & Boles, M. (2015). *Termodinamica*. Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES.
- Cervera Ruiz, M., & Blanco Diaz, E. (2015). *RESISTENCIA DE MATERIALES*. BARCELONA: CIMNE.

- Chauca Rodríguez , D., & Cruz Córdova, M. (2014). Evaluacion del concreto f'c 210 Kg/cm² a altas temperaturas. *Evaluacion del concreto f'c 201 Kg/cm² a altas temperaturas*. Universidad Nacional del Santa, Nuevo Chimbote.
- Chávez Tirgoso, Meléndez Gómez, Sinchi Puella y Hurtado Anampa. (2007). *Analisis estatico no lineal de una estructura aporticada esencial* . Lima: Universida Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Chopra A. (2011). *Dynamics of Structures. Prentice Hall; 4 edition*. New Jersey: ---.
- Civil, I. N. (2006). *MANUAL BASICO PARA LA ESTIMACION DEL RIESGO*. LIMA: Publicado por el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI).
- De Sousa, A., & Moreno Jr, A. (2010). The effect of high temperatures on concrete compression Strenght, tensile Strenght and dofrmation modulus. *The effect of high temperatures on concrete compression Strenght, tensile Strenght and dofrmation modulus*. Ibracon Structures and Material Journal, --.
- Delgado Poma, C. W. (1996). *Comportamiento de las resistencias mecanicas del concreto sometido a altas temperaturas*. Universidad Nacional de ingeniera, Lima Peru.
- El-Betar, S. A. (25 de Septiembre de 2016). <http://www.sciencedirect.com/>. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/>: <http://ees.elsevier.com/hbrcj>
- Escorihuela, J., & Fernandez Peña, O. (1976). *Materiales de Construccion*. España: Instituto de Ciencias de la Construccion Eduardo Toja.
- Fentao, L., Bo, W., & Demin, W. (2009). Failure modes of reinforced concrete beams strengthened with carbon fiber sheet infire. *FireSafetyJournal*, 941-950.
- Figuroa Orjuela, D. C., & Bello López, J. S. (2018). Evaluación y diagnostico de la resistenncia a compresión y a flexión del concreto simple despues de expuesto a 450 C°. (*Tesis de Licenciatura*). Universidad Catolica de Colombia, Bogota.

- Galliani, Cesar Augusto Carmelo Fajardo. (2012). *Evaluacion Estructural de una de las Edificaciones del hospital Edgardo Rebagliati Martins Usando el Metodo del Espectro de capacidad*. Lima: Universidad Nacional de Ingenieria.
- García, R. M. (2012). Evaluación sísmica de los edificios de mampostería típicos de Barcelona. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para*, 161-166.
- García, R. M. (28 de Junio de 2012). *Sciencedirect*. Obtenido de Sciencedirect: https://ac.els-cdn.com/S0213131512000211/1-s2.0-S0213131512000211-main.pdf?_tid=19d82758-b543-4708-8a4b-e032d27b8f83&acdnat=1524708432_f8ff07c9dc8521143f90ef9e008ae4c0
- Greg Hardy. (2015). *Fragility Calculation Process*. SGH: Electric Power Reseach Institute.
- Guangzhong, B., Jijun, M., Weiping, Z., & Jialiang, L. (2019). Influence of EInforcement Corrosion on fire performance of reinforced concrete beams. *Construction and Building Materials*, 738-747.
- Guangzhong, Ba; Jijun, Miao; Weiping, Zhang; Jialiang, Liu. (2019). Influence of reinforcement corrosion on fire performance of reinforced concrete beams. *Construction and Building Materials*, 738-747.
- Guidelines for Analytical Vulnerability Assessment -Low/Mid-Rise*. (2014). ---: GEM.
- GUILLEN, F. M. (2012). *EVALUACION DEL RIESGO SISMICO DEL CENTRO HISTORICO DE LA CIUDAD DE HUANUCO*. LIMA: UNI.
- Guohua, X., Zhaoqun, C., & Osman E., O. (2017). Behavior and failure modes of reinforced concrete beams strengthened with NSM GFRP or aluminum alloy bars. *National Natural*, 1-13.
- Herrera Navarro, I. (2012). *RESISTENCIA DE MATERIALES I*. BADAJOZ: EDITORIAL BELLISCO.

- Higuera Cobos, O., Moreno Tellez, C., & Ramires Montes, C. (2010). EFECTO DEL PRECALENTAMIENTO Y LA SEVERIDAD DE TEMPLE SOBRE LA RESISTENCIA AL DESGASTE ADHESIVO DEL ACERO AUSTENÍTICO AL MANGANESO. *DYNA, Volumen 77*, 76-87.
- Huincho Salvatierra, M. (2017). Evaluacion de la Resistencia Mecanica del Concreto Sometido a altas temperaturas por incidencia del fuego directo. *Evaluacion de la Resistencia Mecanica del Concreto Sometido a altas temperaturas por incidencia del fuego directo*. Universidad Nacional de Ingenieria, Lima.
- João, P., Firmo, João, R., Correia, & França. (2012). Fire behaviour of reinforced concrete beams strengthened with CFRP laminates: Protection systems with insulation of the anchorage zones. *Composites Part B: Engineering Volume 43, Issue 3*, 1545-1556.
- Kuroiwa, J. (2002). *Reduccion de Desastres Ira*. LIMA: Cecosán.
- L. Mott, R. (2009). *RESISTENCIA DE MATERIALES*. MEXICO: PEARSON.
- LINA FERNANDA LLANOS LOPEZ, L. M. (2003). *EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD SISMICA DE ESCUELA PUBLICAS DEL CALI*. SAN TIAGO DEL CALI: UNIVERSIDAD DEL VALLE.
- Mahdi Raouffard, M., & Minehiro, N. (2017). Fire Response of Exterior reinforced concrete beam-column subassemblages. *Fire Safety Journal*, 498-505.
- Maldonado Tapia, R. (2012). *SENSIBILIDAD Y SEGURIDAD DE ESTRUCTURAS DE HORMIGON EN REGIMEN NO LINEAL*. CATALUÑA: UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUÑA.
- McCormac, J., & Brown, R. (2015). *Desing of Reinforced Concrete*. Unied States of America: RR Donnelley Kendallville.
- Méndez C., C. (2007). *Termodinamica*. Yucatán: Universidad Autonoma de Yucatan.

Mitropoulou Ch. y Papadrakakis M. (2011). *Developing fragility curves base on neural*. USA:

-----.

Montejo Fonseca, A., Montejo Piratova, F., & Montejo Piratova, A. (2013). *Tecnología y Patología del Concreto Armado*. Bogota: Universidad Católica de Colombia.

Nilson, A. H. (2001). *Diseño de Estructuras de Concreto*. Colombia: Emma Ariza H.

Noriega Barrueto, R. (2018). Estudio experimental de redistribucion de momentos en vigas de concreto armado. (*Tesis de Maestria*). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.

Nuñez Gonzalez, G. (1990). Fallas en los Tratamientos Termicos para Aceros de Herramienta. *Tesis para obtener el titulo profesional de: Tecnico en Fundicion y Tratamientos Termicos*. Colegio Nacional de Educacion Profesional Tecnica Plantel Huixquilucan, Ciudad de Mexico.

Ortega Garcia, J. (2015). *Diseño de Estructuras de Concreto Armado*. Lima: MACRO.

Padilla Ramires, A., Flores Bustamante, A., Quiroz Soto , L., & Reyes Ramires, J. (2008). REHABILITACIÓN DE VIGAS CON TEJIDOS DE CARBONO. *Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural*, 1-10.

Patricio Tapia Gutiérrez. (22 de enero de 2011). <http://plaza.ufl.edu/ptapia/papers/C-ARQ-VU-v3.pdf>. Obtenido de <http://plaza.ufl.edu/ptapia/papers/C-ARQ-VU-v3.pdf>: <http://plaza.ufl.edu/ptapia/papers/C-ARQ-VU-v3.pdf>

Pignatta , V. (s.f.). ESTRUCTURAS DE ACERO EN SITUACION DE INCENDIO. *ESTRUCTURAS DE ACERO EN SITUACION DE INCENDIO*. Universidade de São Paulo, Brasil, São Paulo, Brasil.

RNE DECRETO SUPREMO. (2016). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima-Peru: Macro.

Salud, O. P. (2004). *Fundamentos para la mitigacion de desastres de establecimientos de salud*. Washington, D.C: Organización Panamericana de la Salud.

- Sánchez A.M. y Plumier L. (. (2008). *Parametric study of ductile moment-resisting steel frames: a first step towards Eurocode 8 calibration. Earthquake Eng Struct Dynam.* New York: ---.
- seismic06g.wordpress. (03 de Noviembre de 2012). *ESTRUCTURAS*. Obtenido de ESTRUCURAS: <https://seismic06g.wordpress.com/2012/11/03/acelerogramas1/>
- Soria Aguilar, M., Reyes Guzman , F., Carrillo Pedroza, F., Garcia Garza, F., Alvares Jiménez, H., & Silva Guajardo, L. (2015). Efecto del tratamiento térmico sobre las propiedades mecánicas y microestructura de un acero para tubería API 5CT J55. *Ingenieria Investigacion y Tecnologia Volumen XVI*, 539-550.
- Sujith, M., & Jong-Su, J. (2018). Classification of failure mode and prediction of shear strength for reinforced concrete beam-column joints using machine learning techniques. *Engineering Structures*, 85-94.
- Taozhi, X., & Jie, L. (2019). Experimental investigations of failure modes of reinforced concrete beams without web reinforcement. *Engineering Structures*, 47-57.
- Tavárez Fadul, J. T. (2016). *Análisis Estático y Dinámico Incremental de una Estructura de Muros de Hormigon Armado en Republica Dominicana*. Barcelona: Escola de Camins.
- Vamvatsikos D. y Cornell C.A. (2002). *Incremental dynamic analysis. Earthquake eng. Struct Dynam.* Moscu: -----.
- Vargas, I. J. (2006). *Estimación de pérdidas por sismo en edificios peruanos*. Lima-Perú: PUCP.
- Vargas, I. J. (2006). *Estimación de pérdidas por sismo en edificios peruanos*. Lima: PUCP.
- VARGAS, Y. F., PUJADES, L. G., BARBAT, A. H., & HURTADO, J. E. (2013). EVALUACION PROBABILISTICA DE LA CAPACIDAD, FRAGILIDAD Y DAÑO SISMICO DE EDIFICIOS DE HORMIGON ARMADO . *REVISTA INTERNACIONAL DE METODOS NUMERICOS PARA INGENIERIA*, 63-78.

- Vega Catalan, L., & Burón Maestro, M. (2007). Seguridad Frente al Fuego de las Estructuras de Hormigón. *Hormigón*, 44-51.
- Vega Guillen , V., Padilla, E., & Gonzalez Reynoso, O. (1999). Tabla Tecnología de un Acero Grado 60. *Instituto de investigacion (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM*, 1-19.
- Vielma J.C., Barbat A.H. y Oller S. (2010). *Non-linear structural analysis*. New York: Nova Science Publishers,.
- Vielma J.C., Barbat A.H., y Oller S. (. (2011). *Seismic response of RC framed buildings designed according to Eurocodes. Computational Methods in Earthquake Engineering, Springer, M. Papadrakakis, M. Fragiadakis y N.D.* New York: Lagaros Editores.
- Vielma, J. C. (2014). *Contribuciones a la evaluación a la evaluacion de la vulnerabilidad sismica de edificios*. 08034 Barcelona, España: Editor A.H. Barbat.
- Vielma, J.C., Barbat, A.H. y Oller, S. (2011b). (2011). *Seismic safety of RC framed buildingsdesigned according modern codes. Journal of Civil Engineering and Architecture. Vol. 5 N°7, 567-575. David Publishing Company. Chicago, United States of America*. Chicago: David Publishing Company.
- VILLEGAS, A. V. (2011). *VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL DE LOS EDIFICIOS PRINCIPALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA*. LIMA: UNI.
- VKR, K., & Ankit, A. (2015). An approach for evaluating residual capacity of reinforced concrete beams exposed to fire. *Engineering Structures*, 293–306.
- W. Fitzgerald, R. (1996). *MECANICA DE MATERIALES* . MEXICO: ALFAOMEGA.
- Welch, S., Torero, J., & Usmani, A. (2007). Behavior of concrete Structures in fire. *Behavior of concrete Structures in fire*. ResearchGate, --.

- Yong, Y., Shiqiang , F., Yicong, X., Yunlong, Y., Hanying, W., & Yang, C. (2019). Experimental Study on shear behavior of Fire-Damage Reinforced Concrete T-Beams Retrofitted with Prestressed steel Straps. *Construction and Building Materials*, 644-654.
- Zabaleta G., H. (1992). *Compendio de Tecnologia del Hormigon*. Santiago de Chile: Instituto Chileno del Cemento y del Hormigon.
- Zemanzky, M. W., & Dittman, R. H. (1985). *Calor Y termodinamica Sexta Edición*. Mexico: Calypso .