

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

**ANÁLISIS DE LA REDUCCIÓN DE LA RESISTENCIA A
FLEXIÓN Y DEFLEXIÓN MÁXIMA PRODUCTO DEL
INCREMENTO DE LA TEMPERATURA POR ACCIÓN DIRECTA
DEL FUEGO EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO, CUSCO 2025**

PRESENTADO POR:

Br. ALVARO PAUCAR MENA

Br. JOSE RAFAEL QUISPE CCORAHUA

**PARA OPTAR AL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

ASESOR:

Ing. JOSÉ FELIPE APILCUETA
CARBONELL

CUSCO – PERÚ

2026



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el **Asesor** ING. JOSE FELIPE AZPILCUETA CARBONELL quien aplica el software de detección de similitud al trabajo de investigación/tesis titulada:

“ANÁLISIS DE LA REDUCCIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN Y DEFLEXIÓN MÁXIMA PRODUCTO DEL INCREMENTO DE LA TEMPERATURA POR ACCIÓN DIRECTA DEL FUEGO EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO, CUSCO 2025”.

Presentado por: ALVARO PAUCAR MENA, DNI N°: 72627793

presentado por: JOSE RAFAEL QUISPE CCORAHUA, DNI N° 72651963;

Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO CIVIL

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de **7%**.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 15 de junio de 2026



Firmado digitalmente por:
AZPILCUETA CARBONELL JOSE
FELIPE FIR 23881345 hard
Motivo: Soy el autor del
documento
Fecha: 15/06/2026 12:50:40-0500

.....
Firma

Post firma: Ing. José Felipe Azpilcueta Carbonell

Nro. de DNI: 23881345

ORCID del Asesor: 0000-0003-3954-4737

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid: 27259: 600258581**
3. <https://unsaac.turnitin.com/viewer/submissions/oid:27259:600258581?locale=es-MX>

ALVARO - RAFAEL PAUCAR - QUISPE

ANÁLISIS DE LA REDUCCIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN Y DEFLEXIÓN MÁXIMA PRODUCTO DEL INCREMENTO DE LA ...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:600258581

Fecha de entrega

15 jun 2026, 12:09 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

15 jun 2026, 12:14 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

ANÁLISIS DE LA REDUCCIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN Y DEFLEXIÓN MÁXIMA PRODUCTO DE....pdf

Tamaño del archivo

11.5 MB

190 páginas

30.664 palabras

172.906 caracteres

7% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 12 palabras)

Fuentes principales

- 6%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 6%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**
47 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

Dedicado a mi madre Elizabeth, cuyo amor incondicional, fortaleza y apoyo han sido mi mayor impulso, y quien me enseñó que cada sacrificio siempre vale la pena.

A mi padre Oswaldo, por su ejemplo, su apoyo constante y por recordarme siempre el valor de la perseverancia.

A mis hermanos, compañeros de vida, por su afecto, por sus palabras que me impulsan y por acompañarme en cada logro de este recorrido.

Alvaro Paucar Mena

Dedicado a mi madre querida Rodi, mi padre Antonio y hermano Jose Antonio quienes fortalecen mi existencia.

A mi compañera de vida Alina

Gracias a tu apoyo continuo, por incentivar me a lograr mis metas y coincidir en el camino de la vida. *“Porque a la ausencia no hay quien se acostumbre. Otro sol no es tu sol, aunque te alumbre”*

Jose Rafael Quispe Ccorahua

AGRADECIMIENTO

Agradecimiento sincero a nuestro Asesor el Ingeniero Jose Felipe Azpilcueta Carbonell por el apoyo decidido, los conocimientos impartidos desde el inicio de la realización de esta tesis y por las alegrías que direccionaron nuestro camino y desarrollo.

A todos los amigos que nos brindó la vida universitaria, quienes posterior a ella nos proporcionaron una amistad incondicional y fomentaron nuestra vida profesional.

Agradecemos a nuestro equipo ObraYA por compartir las ideas y augurar un futuro con mucha prosperidad recordando que los éxitos nacen desde la constancia y el empeño en equipo.

Alvaro Paucar Mena y Jose Rafael Quispe Ccorahua

RESUMEN

La investigación evalúa el comportamiento de vigas de concreto armado expuestas a fuego directo, con el fin de determinar la reducción de su resistencia a flexión, el incremento de su deflexión máxima y los factores que pueden conducir al colapso post-incendio. El estudio surge ante la ausencia en el Perú de investigaciones y normativa específica sobre el desempeño de vigas sometidas a temperaturas entre 250 °C y 1000 °C. Se desarrolló un estudio experimental y cuantitativo con 15 vigas diseñadas según la norma E.060, expuestas a cinco niveles térmicos: Temperatura ambiente, 250 °C, 500 °C, 750 °C y 1000 °C. Tras fabricación, curado y exposición controlada en horno, las vigas fueron ensayadas a flexión; el deterioro del acero se evaluó mediante ensayos de tracción, módulo de elasticidad y estricción. Los resultados evidencian una reducción progresiva de la resistencia a flexión: pérdida moderada a 250 °C, degradación marcada a 500 °C, daño severo con desprendimientos a 750 °C y resistencia residual mínima a 1000 °C. Las deflexiones máximas aumentan críticamente desde los 500 °C, superando los límites de servicio. El acero experimenta caídas significativas en fluencia, ductilidad y módulo de elasticidad, anulándose casi su capacidad estructural a 1000 °C. Se concluye que el fuego directo reduce significativamente la resistencia a flexión e incrementa la deflexión máxima, especialmente desde los 500 °C, donde se supera el estado límite de servicio y se pierde la rigidez estructural.

Palabras clave: Flexión, Deflexión, Fuego, Concreto

ABSTRACT

This research evaluates the behavior of reinforced concrete beams exposed to direct fire, in order to determine the reduction of their flexural strength, the increase of their maximum deflection, and the factors that may lead to post-fire collapse. The study arises from the absence in Peru of research and specific regulations on the performance of beams subjected to temperatures between 250 °C and 1000 °C. An experimental and quantitative study was conducted using 15 beams designed according to standard E.060, exposed to five thermal levels: room temperature, 250 °C, 500 °C, 750 °C, and 1000 °C. After controlled fabrication, curing, and oven exposure, the beams were tested in flexure; steel deterioration was assessed through tensile tests, elastic modulus, and necking. The results show a progressive reduction in flexural strength: moderate loss at 250 °C, marked degradation at 500 °C, severe damage with spalling at 750 °C, and minimal residual strength at 1000 °C. Maximum deflections increase critically from 500 °C onwards, exceeding serviceability limits. Steel undergoes significant drops in yield strength, ductility, and elastic modulus, with its structural capacity nearly nullified at 1000 °C. It is concluded that direct fire significantly reduces the flexural strength of reinforced concrete beams and progressively increases maximum deflection, especially from 500 °C, where the serviceability limit state is exceeded and structural stiffness is lost.

Keywords: Flexure, Deflection, Fire, Concrete.

ÍNDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
ÍNDICE.....	v
CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....	1
1.1 Planteamiento del Problema	1
1.2 Formulación del problema	3
1.2.1 Problema General.....	3
1.2.2 Problemas Específicos.....	3
1.3 Justificación e importancia de la Investigación	3
1.3.1 Justificación Metodológica.	3
1.3.2 Justificación Teórica.....	4
1.3.3 Justificación Práctica.....	5
1.3.4 Relevancia Social	5
1.3.5 Conveniencia.....	6
1.4 Determinación de Objetivos	7
1.4.1 Objetivo General	7
1.4.2 Objetivos Específicos.....	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	8
2.1 Antecedentes del Problema.....	8
2.1.1 Antecedentes internacionales	8
2.1.1.1 Primer Antecedente Internacional:	8
2.1.1.2 Segundo Antecedente Internacional:	9
2.1.2 Antecedentes nacionales.....	10
2.1.2.1 Primer Antecedente Nacional:	10
2.1.2.2 Segundo Antecedente Nacional:	11
2.1.2.3 Tercer Antecedente Nacional:	12
2.1.3 Antecedentes Regionales.....	12
2.2 Bases Teóricas.....	13
2.2.1 Escenarios de fuego.....	13
2.2.2 Tipos de fuego	14
2.2.3 Niveles de temperatura en un incendio	14

2.2.4 El Concreto.....	14
2.2.5 Componentes del Concreto	15
2.2.6 Efecto de altas temperaturas.....	17
2.2.6.1 Resistencia.....	17
2.2.6.2 Módulo de elasticidad.....	17
2.2.6.3 Ductilidad	18
2.2.6.4 Durabilidad	18
2.2.7 Comportamiento del Concreto Frente a Altas Temperaturas	19
2.2.8 Comportamiento de Vigas de Concreto Armado.....	21
2.2.9 Comportamiento o patología del acero.	23
2.2.9.1 Propiedades del Acero a altas temperaturas	23
2.2.9.2 Degradación de las Propiedades del Acero.....	26
2.2.9.3 Parámetros de diseño estructural – Cuantía.....	26
2.2.9.3.1 Cálculo de la cuantía de refuerzo en concreto armado	28
2.2.10 Comportamiento del concreto armado.	29
2.2.10.1 Resistencia a flexión en Vigas	31
2.2.11 Efectos respuestas y alteraciones físicas.	32
2.2.11.1 Interacción del Concreto y Acero	33
CAPÍTULO III: HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	34
3.1 Hipótesis	34
3.1.1 Hipótesis General	34
3.1.2 Hipótesis Específicas.....	34
3.2 Variables.....	35
3.2.1 Identificación de Variables	35
3.2.1.1 Variable 1	35
3.2.1.2 Variable 2	35
3.2.2 Operacionalización de Variables	36
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	37
4.1 Tipo y Nivel de Investigación	37
4.2 Diseño de la investigación	37
4.3 Población y Muestra	38
4.3.1 Población.....	38
4.3.2 Muestra.....	39
4.4 Técnicas e Instrumentos.....	41
4.4.1 Técnicas.....	41

4.4.1.1 Ensayos de Resistencia Mecánica:	42
4.4.1.2 Métodos Estadísticos:	42
4.4.2 Instrumentos	42
4.4.2.1 Equipos con Incidencia de Fuego:	42
4.4.2.2 Equipos de Medición de Deflexión:	43
4.4.2.3 Cámaras de Ensayo:	43
4.4.2.4 Software de Análisis de Datos:	43
4.5 Validez y Confiabilidad de Instrumentos.	43
4.5.1 Validación de Instrumentos	43
4.5.2 Confiabilidad de Instrumentos	44
4.6 Procedimientos experimentales	44
4.6.1 Ensayos de laboratorio	44
4.6.1.1 Muestreo y traslado de materiales	44
4.6.1.2 Cantidad de material fino que pasa el tamiz de 75 μm (nº 200) por lavado	44
4.6.1.3 Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos.....	44
4.6.1.4 Peso unitario suelto y compactado, vacío de los agregados	45
4.6.1.5 Peso específico y absorción de Agregados Finos	46
4.6.1.6 Peso específico y absorción de Agregados Gruesos	47
4.6.1.7 Contenido de humedad de los Agregados.....	47
4.6.2 Diseño y fabricación de briquetas	48
4.6.2.1 Diseño de mezclas	48
4.6.3 Diseño y fabricación de vigas de concreto armado.....	49
4.6.3.1 Procedimiento en base a normativa	49
4.6.3.2 Cálculos de resistencia esperada.....	51
4.6.3.3 Consideraciones en la etapa de diseño	53
4.6.3.3.1 Generación de modelados.	53
4.6.3.3.2 Modelado de encofrados	55
4.6.3.3.3 Fabricación de encofrados	56
4.6.3.4 Consideraciones en la etapa de colado	59
4.6.3.4.1 Posicionamiento y colocación del acero de refuerzo	59
4.6.3.4.2 Mezclado de materiales.....	61
4.6.3.5 Consideraciones en la etapa de curado	65
4.6.4 Exposición a fuego controlado.....	71
4.6.4.1 Exposición de vigas a 250 °C	77

4.6.5 Ensayos a flexión de vigas de concreto armado.....	79
4.6.5.1 Ensayos de vigas a temperatura ambiente	82
4.6.5.2 Ensayos de vigas a 250 °C.....	84
4.6.5.3 Ensayos de vigas a 500 °C.....	85
4.6.5.4 Ensayos de vigas a 750 °C.....	87
4.6.5.5 Ensayos de vigas a 1000 °C.....	88
4.6.6 Ensayos a tracción de aceros grado 60.....	91
4.6.6.1 Aceros a temperatura ambiente.....	91
4.6.6.2 Aceros a 250 °C	92
4.6.6.3 Aceros a 500 °C	93
4.6.6.4 Aceros a 750 °C	94
4.6.6.4 Aceros a 1000 °C	94
CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIONES	97
5.1 Ensayos de laboratorio.....	97
5.1.1 Cantidad de material fino que pasa el tamiz de 75 µm (nº 200) por lavado ..	97
5.1.2 Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos	98
5.1.2.1 Resultados agregado fino.....	98
5.1.2.1 Resultados agregado grueso	99
5.1.3 Peso unitario suelto y compactado, vacío de los agregados.....	100
5.1.3.1 Resultados para el agregado fino.....	100
5.1.3.2 Resultados para el agregado grueso.....	100
5.1.4 Peso específico y absorción de agregados finos.....	101
5.1.5 Peso específico y absorción de agregados grueso	101
5.1.6 Contenido de humedad de los agregados	102
5.2 Diseño de Mezclas	102
5.2.1 Proporcionamiento final de la investigación en m ³	102
5.3 Resistencia a compresión de briquetas	103
5.3.1 Resistencia a compresión a los 7 días	103
5.3.2 Resistencia a compresión a los 14 días	103
5.3.3 Resistencia a compresión a los 21 días	104
5.3.4 Resistencia a compresión a los 28 días	104
5.3.4 Evaluación global de comportamiento a compresión	105
5.4 Vigas de concreto armado	105
5.4.1 Ensayos a flexión	105
5.4.1.1 Resultados de las vigas sin exposición al fuego.....	106

5.4.1.2 Resultados de las vigas expuestas a 250 °C	107
5.4.1.3 Resultados de las vigas expuestas a 500 °C	112
5.4.1.4 Resultados de las vigas expuestas a 750 °C	117
5.4.1.5 Resultados de las vigas expuestas a 1000 °C	122
5.4.1.5 Análisis comparativo de ensayos a flexión de vigas de concreto armado.	127
5.4.2 Estudio de deflexiones	130
5.4.2.1 Resultados de vigas a temperatura ambiente	131
5.4.2.2 Resultados de vigas a 250°C	132
5.4.2.3 Resultados de vigas a 500°C	133
5.4.2.4 Resultados de vigas a 750°C	134
5.4.2.5 Resultados de vigas a 1000°C	135
5.5 Acero grado 60 de 3/8”	136
5.5.1 Ensayos a tracción	136
5.5.1.1 Resultados de acero a 250°C	136
5.5.1.2 Resultados de acero a 500°C	137
5.5.1.3 Resultados de acero a 750°C	139
5.5.1.4 Resultados de acero a 1000°C	140
5.5.2 Comparación de resultados finales del acero	141
5.5.2.1 Modulo de elasticidad de aceros (250, 500, 750 y 1000 °C).....	141
5.5.2.2 Resistencia a tracción de aceros (250, 500, 750 y 1000 °C)	142
5.5.2.3 Estricción, diámetros (250, 500, 750 y 1000 °C)	143
5.6 Discusión de resultados	144
5.6.1 Respecto a los antecedentes	144
5.6.1.1 Vigas de concreto armado.....	144
5.6.1.2 Acero grado 60 de 3/8”	145
5.6.2 Respecto a los objetivos	146
5.6.2.1 Vigas de concreto armado.....	146
5.6.2.2 Acero grado 60 de 3/8”	147
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	148
6.1 Conclusiones	148
6.2 Recomendaciones	150
REFERENCIAS	151
ANEXOS	153
Anexo 01: Matriz de Consistencia.....	153
Anexo 02: Diseño de Mezclas, método ACI	154

Anexo 03: Planos	155
Anexo 04: Calibración de equipos	158
Anexo 05: Certificado de uso de laboratorio	161
Anexo 06: Hojas de ensayo en laboratorio	162

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Componentes del Concreto (Sanchez, 2001)	16
Figura 2 Comportamiento del Concreto Frente a Altas Temperaturas (Faller , 2004).20	
Figura 3 Curva estándar tiempo - temperatura (ASTM, 2020).	20
Figura 4 Comportamiento de vigas de concreto armado ante carga creciente (Nilson & Darwin, 1999).	23
Figura 5 Afección de la temperatura en el acero (Interempresas, 2021).	25
Figura 6 Representación gráfica de la evolución del módulo de elasticidad con la temperatura (Interempresas, 2021).	25
Figura 7 Zona transversal de viga de concreto armado – Unidades en m.	29
Figura 8 Proceso total de la influencia del fuego en estructuras de concreto armado (SciELO, 2016).	30
Figura 9 Procedimiento completo del ensayo de peso unitario suelto y compactado... 45	
Figura 10 Procedimiento completo del ensayo de peso específico y absorción de agregados finos	46
Figura 11 Procedimiento completo del ensayo de peso específico y absorción de agregados gruesos	47
Figura 12 Modelo de probeta para ensayos a compresión (Aceros Arequipa, 2025)... 48	
Figura 13 Imagen referencial del modelo de probeta real usado	49
Figura 14 Vista en elevación, diseño preliminar viga de concreto	53
Figura 15 Vista en corte, diseño preliminar viga de concreto	54
Figura 16 Vista en perspectiva, diseño preliminar viga de concreto	54
Figura 17 Vista en elevación, diseño preliminar de encofrado	55
Figura 18 Vista en corte, diseño preliminar de encofrado	55
Figura 19 Vista en perspectiva, diseño preliminar de encofrado	56
Figura 20 Fabricación de encofrados – Paso 1	57
Figura 21 Fabricación de encofrados – Paso 2	57
Figura 22 Fabricación de encofrados – Paso 3	58
Figura 23 Fabricación de encofrados – Paso 4.....	58
Figura 24 Colocación de acero de refuerzo, vista superior	59
Figura 25 Colocación de acero de refuerzo, vista transversal	60
Figura 26 Posicionamiento del acero de refuerzo	60
Figura 27 Pesaje y dosificación de materiales.....	62

Figura 28 Máquina mezcladora utilizada en la investigación	62
Figura 29 Vibrado de mezcla de materiales – Día 1	63
Figura 30 Vigas de concreto almacenadas en laboratorio	64
Figura 31 Vibrado de mezcla de materiales – Día Final	64
Figura 32 Elementos para el curado in situ – yute industrial	66
Figura 33 Primera semana de curado – Riego de día y tarde	67
Figura 34 Primera semana de curado – Riego de noche	67
Figura 35 Segunda semana de curado – Riego de día y tarde	68
Figura 36 Segunda semana de curado – Riego de noche	68
Figura 37 Tercera semana de curado – Riego de día y noche	69
Figura 38 Tercera semana de curado – Riego de noche	69
Figura 39 Cuarta semana de curado – Riego de día y noche	70
Figura 40 Cuarta semana de curado – Riego de noche	70
Figura 41 <i>Esquema de exposición de las vigas en el horno</i>	71
Figura 42 Horno industrial para la fabricación de ladrillos de la empresa LATESA	72
Figura 43 Panel electrónico para control de temperaturas	72
Figura 44 Horno industrial para la fabricación de ladrillos de la empresa LATESA	73
Figura 45 Colocación de las vigas N°13, 14 y 15 en el vagón de carga para ser quemadas	75
Figura 46 Temperatura máxima registrada en la zona de ubicación de las vigas N°13, 14 y 15 en el proceso de quemado	76
Figura 47 Viga extraída del horno para enfriar a temperatura ambiente	77
Figura 48 Control y registro de la temperatura de las vigas con pirómetro infrarrojo (250°C)	77
Figura 49 Control y registro de la temperatura de las vigas con pirómetro infrarrojo (500°C)	78
Figura 50 Control y registro de la temperatura de las vigas con pirómetro infrarrojo (750°C)	78
Figura 51 Control y registro de la temperatura de las vigas mediante termocuplas y paneles electrónicos (1000°C)	79
Figura 52 Máquina Universal utilizada en el ensayo a tracción por flexión de las vigas	80
Figura 53 Marcado de los puntos de apoyo y carga de las vigas para el ensayo a tracción	80

Figura 54 Máquina Universal utilizada en el ensayo a tracción por flexión de las vigas (NTP 339.078, 2012).....	81
Figura 55 Ensayo a tracción por flexión de vigas	82
Figura 56 Modo de falla dúctil – flexión pura de la viga N°01 ensayada sin exposición al fuego	83
Figura 57 Modo de falla dúctil – flexión pura de la viga N°02 ensayada sin exposición al fuego	83
Figura 58 Modo de falla dúctil – flexión pura de la viga N°03 ensayada sin exposición al fuego	83
Figura 59 Modo de falla por cortante de la viga N°04 expuesta a 250 °C	84
Figura 60 Modo de falla por cortante de la viga N°05 expuesta a 250 °C	84
Figura 61 Modo de falla dúctil – flexión pura de la viga N°06 expuesta a 250 °C.....	85
Figura 62 Modo de falla por cortante de la viga N°07 expuesta a 500 °C	86
Figura 63 Modo de falla por cortante de la viga N°08 expuesta a 500 °C	86
Figura 64 Modo de falla por cortante de la viga N°09 expuesta a 500 °C	86
Figura 65 Modo de falla por cortante de la viga N°10 expuesta a 750 °C	87
Figura 66 Modo de falla por cortante de la viga N°11 expuesta a 750 °C	88
Figura 67 Modo de falla dúctil – flexión pura de la viga N°12 expuesta a 750 °C.....	88
Figura 68 Modo de falla por cortante de la viga N°13 expuesta a 1000 °C	89
Figura 69 Modo de falla por cortante de la viga N°14 expuesta a 1000 °C	89
Figura 70 Modo de falla por cortante de la viga N°15 expuesta a 1000 °C	90
Figura 71 Varillas de acero a 250 °C antes y después del ensayo.....	92
Figura 72 Varillas de acero a 500 °C antes y después del ensayo.....	93
Figura 73 Varillas de acero a 750 °C antes y después del ensayo.....	94
Figura 74 Acero expuesto a 1000 °C.....	95
Figura 75 Desconchamiento de Acero expuesto a 1000 °C	95
Figura 76 Varillas de acero a 1000 °C antes y después del ensayo.....	96
Figura 77 Curva granulométrica del agregado fino – cantera de Cunyac	98
Figura 78 Curva granulométrica del agregado grueso – cantera de Vicho	99
Figura 79 Evaluación global del comportamiento a compresión de briquetas en la investigación.....	105
Figura 80 Gráfico resistencia respecto a la deformación en vigas no expuestas a fuego	106

Figura 81 Gráfico resistencia máxima respecto a la ductilidad en vigas no expuestas a fuego	107
Figura 82 Gráfico de resistencia respecto a la deformación en vigas expuestas a 250 °C	108
Figura 83 Gráfico de resistencia máxima respecto a la ductilidad en vigas expuestas a 250 °C	108
Figura 84 Fisuración Superficial producto del daño en vigas expuestas a 250 °C	109
Figura 85 Desprendimiento Superficial producto del daño en vigas expuestas a 250 °C	110
Figura 86 Coloración producto del daño en vigas expuestas a 250 °C	111
Figura 87 Retracción por Enfriamiento producto del daño en vigas expuestas a 250 °C	111
Figura 88 Gráfico de resistencia respecto a la deformación en vigas expuestas a 500 °C	112
Figura 89 Gráfico de resistencia máxima respecto a la ductilidad en vigas expuestas a 500 °C	113
Figura 90 Fisuración Superficial producto del daño en vigas expuestas a 500 °C	114
Figura 91 Desprendimiento Superficial producto del daño en vigas expuestas a 500 °C	115
Figura 92 Coloración producto del daño en vigas expuestas a 500 °C	115
Figura 93 Retracción por Enfriamiento producto del daño en vigas expuestas a 500 °C	116
Figura 94 Gráfico de resistencia respecto a la deformación en vigas expuestas a 750 °C	117
Figura 95 Gráfico de resistencia máxima respecto a la ductilidad en vigas expuestas a 750 °C	118
Figura 96 Fisuración Superficial producto del daño en vigas expuestas a 750 °C	119
Figura 97 Desprendimiento Superficial producto del daño en vigas expuestas a 750 °C	120
Figura 98 Coloración producto del daño en vigas expuestas a 750 °C	120
Figura 99 Retracción por Enfriamiento producto del daño en vigas expuestas a 750 °C	121
Figura 100 Gráfico de resistencia respecto a la deformación en vigas expuestas a 1000 °C	122

Figura 101 Gráfico de resistencia máxima respecto a la ductilidad en vigas expuestas a 1000 °C.....	123
Figura 102 Fisuración Superficial producto del daño en vigas expuestas a 1000 °C .	124
Figura 103 Desprendimiento Superficial producto del daño en vigas expuestas a 1000 °C.....	125
Figura 104 Coloración producto del daño en vigas expuestas a 1000 °C	125
Figura 105 Retracción por Enfriamiento producto del daño en vigas expuestas a 1000 °C.....	126
Figura 106 Gráfico de resistencia respecto a la deformación en todas las vigas ensayadas.....	127
Figura 107 Gráfica resistencia a flexión respecto a la temperatura.....	128
Figura 108 Gráfico de resistencia máxima respecto a la ductilidad en todas las vigas ensayadas.....	128
Figura 109 Gráfica representativa de deflexiones a temperatura ambiente	131
Figura 110 Gráfica representativa de deflexiones a 250°C	132
Figura 111 Gráfica representativa de deflexiones a 500°C	133
Figura 112 Gráfica representativa de deflexiones a 750°C	134
Figura 113 Gráfica general de deflexiones a 1000°C.....	135
Figura 114 Gráfica esfuerzo respecto a la deformación para aceros a 250°C.....	137
Figura 115 Gráfica esfuerzo respecto a la deformación para aceros a 500°C.....	138
Figura 116 Gráfica esfuerzo respecto a la deformación para aceros a 750°C.....	139
Figura 117 Gráfica esfuerzo respecto a la deformación para aceros a 1000°C.....	140
Figura 118 Gráfica de variación del módulo de elasticidad vs temperatura	141
Figura 119 Gráfica de variación de la resistencia a tracción vs temperatura	142
Figura 120 Gráfica de variación de la estricción vs temperatura	143

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tabla de relación temperatura–tiempo del incendio (ASTM, 2020).....	20
--	----

Tabla 2 Tabla de operacionalización de variables completo	36
Tabla 3 Tabla de combinaciones totales de la investigación.....	40
Tabla 4 Pasos para un correcto diseño de mezclas ACI 211.1 (2019).....	48
Tabla 5 Proporcionamiento de materiales para 1 viga.....	61
Tabla 6 Registro de quemado del primer bloque de vigas.....	74
Tabla 7 Registro de quemado del segundo bloque de vigas	76
Tabla 8 Hoja técnica fierro corrugado grado 60 (Aceros Arequipa, 2025)	91
Tabla 9 Cantidad de material fino que pasa el tamiz N° 200 del agregado fino – cantera de Cunyac	97
Tabla 10 Cantidad de material fino que pasa el tamiz N° 200 del agregado grueso – cantera de Vicho	97
Tabla 11 Resultados de ensayo de granulometría del agregado fino – cantera de Cunyac	98
Tabla 12 Resultados de ensayo de granulometría del agregado grueso – cantera de Vicho	99
Tabla 13 Resultados de peso unitario suelto y compactado del agregado fino	100
Tabla 14 Resultados de peso unitario suelto y compactado del agregado grueso	100
Tabla 15 Resultados de peso específico y absorción del agregado fino.....	101
Tabla 16 Resultados de peso específico y absorción del agregado grueso.....	101
Tabla 17 Resultados de contenido de humedad de los agregados fino y grueso	102
Tabla 18 Diseño de mezclas para un m ³	102
Tabla 19 Resistencia a compresión de briquetas a los 7 días	103
Tabla 20 Resistencia a compresión de briquetas a los 14 días	103
Tabla 21 Resistencia a compresión de briquetas a los 21 días	104
Tabla 22 Resistencia a compresión de briquetas a los 28 días	104
Tabla 23 Resistencia a flexión de vigas sin exposición al fuego	106
Tabla 24 Resistencia a flexión de vigas expuestas a 250 °C	107
Tabla 25 Resistencia a flexión de vigas expuestas a 500 °C	112
Tabla 26 Resistencia a flexión de vigas expuestas a 750 °C	117
Tabla 27 Resistencia a flexión de vigas expuestas a 1000 °C	122
Tabla 28 Análisis comparativo de ensayos a flexión de Vigas de Concreto Armado .	127
Tabla 29 Porcentajes de reducción de resistencia a flexión de Vigas de Concreto Armado	129
Tabla 30 Deflexiones en vigas a temperatura ambiente	131

Tabla 31	Deflexiones en vigas a 250 °C.....	132
Tabla 32	Deflexiones en vigas a 500 °C.....	133
Tabla 33	Deflexiones en vigas a 750 °C.....	134
Tabla 34	Deflexiones en vigas a 1000 °C.....	135
Tabla 35	Resultados del estudio de estricción de aceros a 250°C.....	136
Tabla 36	Resultados del estudio de estricción de aceros a 250°C.....	136
Tabla 37	Resultados del estudio de estricción de aceros a 500°C.....	137
Tabla 38	Resultados del estudio de estricción de aceros a 500°C.....	138
Tabla 39	Resultados del estudio de estricción de aceros a 750°C.....	139
Tabla 40	Resultados del estudio de estricción de aceros a 750°C.....	139
Tabla 41	Resultados del estudio de estricción de aceros a 1000°C.....	140
Tabla 42	Resultados del estudio de estricción de aceros a 1000°C.....	140
Tabla 43	Tabla comparativa general de módulo de elasticidad.....	141
Tabla 44	Tabla comparativa general de resistencia a tracción	142
Tabla 45	Tabla comparativa general de la estricción	143

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1 Planteamiento del Problema

El fuego representa uno de los riesgos más significativos y comunes a los que una estructura de concreto armado puede estar expuesta durante su vida útil. Los elementos esenciales de concreto armado que forman parte innata del sistema estructural, como son las vigas y columnas, pueden sufrir alteraciones considerables en sus propiedades mecánicas y térmicas cuando se ven expuestas a temperaturas elevadas. El comportamiento de estas estructuras ante el fuego es complejo debido a la influencia de diversos factores, como el aumento paulatino de la temperatura; así como, la disminución de humedad, las deformaciones térmicas y las alteraciones químicas que ocurren en el material. La seguridad estructural contra incendios se puede abordar desde dos perspectivas fundamentales. Primero, el sistema estructural debe ser idóneo para resistir los incrementos excesivos de temperatura durante la duración estipulada, lo que implica una resistencia adecuada tanto al fuego directo como a sus efectos térmicos. Segundo, tras la exposición al fuego, es esencial evaluar la capacidad de reutilización de la estructura, ya que puede experimentar una pérdida significativa de capacidad de carga y cambios en su comportamiento estructural, los cuales deben ser evaluados para determinar su estabilidad a largo plazo (Lakhani & Ožbolt, 2019).

Las vigas de concreto armado son particularmente vulnerables a los efectos del fuego debido a su exposición directa a corrientes convectivas y llamas. Estos elementos horizontales experimentan una degradación significativa de su resistencia estructural durante un incendio, lo que puede reducir su capacidad de carga y provocar deflexiones máximas que comprometen la estabilidad de la estructura. A pesar de que las normativas de resistencia al fuego buscan minimizar el riesgo de colapso, el análisis de daño global de las vigas de concreto armado después del fuego sigue siendo incierta. La mayoría de

los estudios previos no han considerado adecuadamente la fase de enfriamiento posterior al incendio ni las deformaciones residuales, lo que limita la comprensión del comportamiento de estos elementos tras la exposición al fuego (Agrawal & Kodur, 2020).

En nuestro país, uno de los principales desafíos que enfrentan las construcciones de concreto armado es la vulnerabilidad de las vigas estructurales ante los incendios, un fenómeno que puede comprometer gravemente la seguridad y estabilidad de las edificaciones. El concreto armado es ampliamente utilizado en el país debido a sus propiedades de resistencia y durabilidad, sin embargo, se sabe que este material pierde gran parte de su capacidad estructural cuando se expone a altas temperaturas, lo que puede generar deflexiones significativas que podrían comprometer la integridad de la estructura. En Perú, la Norma E.060 (MVCS, 2009) establece los parámetros para el diseño de estructuras de concreto armado, pero no aborda de manera detallada el comportamiento de las vigas de concreto bajo condiciones de incendio, especialmente en un contexto como el del Perú, que se caracteriza por factores sísmicos y un alto riesgo de incendios en áreas urbanas.

La falta de estudios específicos sobre la reducción de la capacidad de carga y la deflexión máxima de las vigas de concreto armado en condiciones de incendio en el Perú limita la capacidad de los ingenieros para diseñar infraestructuras seguras y adecuadas para este tipo de escenarios. Aunque existen investigaciones internacionales sobre las disposiciones y comportamiento del concreto armado ante la afección del fuego, estas no consideran las diferentes particularidades locales como la altitud, el clima y la actividad sísmica que caracterizan al país. Esta brecha de conocimiento genera incertidumbre en el diseño estructural, lo que podría poner en riesgo la estabilidad de los edificios existentes y la seguridad de los nuevos proyectos de construcción.

Ante esta situación, es crucial realizar un análisis detallado sobre la reducción de la capacidad de carga y la deflexión máxima de las vigas de concreto armado debido al incremento de temperatura por acción directa del fuego. Este estudio proporcionará datos clave y permitirá mejorar las prácticas de diseño estructural y la normativa nacional, garantizando una mayor seguridad frente a incendios en las construcciones del país.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema General

¿Cuál es la reducción de la resistencia a flexión y deflexión máxima producto del incremento de la temperatura por acción directa del fuego en vigas de concreto armado, Cusco 2025?

1.2.2 Problemas Específicos

¿Cómo es la variación de las propiedades físicas de la estructura producto del incremento de la temperatura por acción directa del fuego en vigas de concreto armado, Cusco 2025?

¿Cuál es la disminución de la resistencia a flexión producto del incremento de la temperatura por acción directa del fuego en vigas de concreto armado, Cusco 2025?

¿Cuáles son las deflexiones excesivas que causan agrietamientos y comprometen la estabilidad estructural producto del incremento de la temperatura por acción directa del fuego en vigas de concreto armado, Cusco 2025?

1.3 Justificación e importancia de la Investigación

1.3.1 Justificación Metodológica.

La presente investigación tiene como propósito evaluar el comportamiento de las vigas de concreto armado sometidas a elevadas temperaturas debido a la acción directa del

fuego, con el fin de determinar la reducción de la capacidad de carga y la deflexión máxima de las mismas, conforme a la Norma E.060 (MVCS, 2009).

La metodología empleada en esta investigación combina un enfoque experimental con el análisis estadístico. Se realizaron ensayos experimentales con la finalidad de evaluar el comportamiento de las vigas de concreto armado bajo condiciones de exposición prolongada a fuego, con el objetivo de determinar la reducción de su capacidad de carga y la deflexión máxima a distintas temperaturas.

Los ensayos consistieron en someter las vigas a cuatro niveles de temperatura producto del fuego y a temperatura ambiente, midiendo sus deformaciones y la capacidad de carga residual en cada caso. Una vez obtenidos los datos experimentales, se aplicó métodos estadísticos para analizar las variaciones en los resultados en función de los diferentes factores de temperatura y de las características de las vigas. Este enfoque permitió comparar la influencia de los distintos factores en el comportamiento de las vigas y determinar si las diferencias observadas en la capacidad de carga y la deflexión son estadísticamente significativas.

1.3.2 Justificación Teórica.

La presente investigación aporta al campo del conocimiento de un tema clave de la ingeniería estructural sobre el comportamiento del concreto armado frente a elevadas temperaturas. Aunque existen estudios previos, muchos no profundizan en los efectos específicos y puntuales que aborda la temperatura sobre la capacidad de carga, resistencia a flexión in situ y la deflexión máxima de las vigas, especialmente bajo la normativa E.060 (MVCS, 2009). Este estudio proporciona datos experimentales y análisis que mejoran el entendimiento de cómo el concreto y el acero de refuerzo responden a la exposición a elevadas temperaturas, lo cual es crucial para el diseño estructural en situaciones de incendio. Además, los resultados ayudan a validar y mejorar la Norma

E.060 (MVCS, 2009), proporcionando evidencia empírica para optimizar los criterios de seguridad en edificaciones expuestas al fuego.

1.3.3 Justificación Práctica.

Este estudio proporciona una solución a un problema real relacionado con la seguridad estructural de edificaciones expuestas a incendios. En particular, se enfoca en la vulnerabilidad de las vigas de concreto armado ante las altas temperaturas provocadas por la acción directa del fuego. Dado que los incendios pueden comprometer seriamente la capacidad de carga y la estabilidad de las estructuras, este estudio ofrece recomendaciones prácticas para mejorar la resistencia y seguridad de las vigas de concreto armado en escenarios post - incendio.

Los análisis en gabinete de este estudio permiten a la comunidad ingenieril optimizar los criterios de seguridad estructural en edificaciones. Además, las conclusiones derivadas de los ensayos experimentales sirven como guía para mejorar las normativas de diseño, asegurando que las vigas mantengan un comportamiento adecuado después de un incendio, reduciendo así el riesgo de colapsos y protegiendo tanto la integridad de los ocupantes como la de la infraestructura. Esta investigación contribuye a la construcción desde la etapa de pre factibilidad, factibilidad y estudios definitivos de edificaciones más resistentes y seguras contra el abatimiento del fuego, mejorando la seguridad pública en general.

1.3.4 Relevancia Social

La relevancia social de esta investigación radica en su capacidad para reducir la vulnerabilidad estructural ante incendios en edificaciones. El estudio se enfoca en analizar cómo las vigas de concreto armado, posterior a la exposición al fuego, mantienen su capacidad de carga y estabilidad, lo cual es crucial para evitar colapsos y garantizar la seguridad de los ocupantes en caso de un incendio. Esta investigación beneficia

directamente a los residentes de edificios y viviendas, proporcionando lineamientos prácticos para mejorar la seguridad estructural en situaciones de incendio, reduciendo así los riesgos de pérdidas humanas y materiales.

Además, a nivel comunitario, ayuda a mitigar los costos económicos y sociales asociados a los desastres por incendio, promoviendo un entorno urbano más seguro y resiliente. Los profesionales del sector de la construcción pueden aplicar estos lineamientos para diseñar estructuras más seguras y resistentes al fuego, elevando los estándares de construcción en la región y ofreciendo un modelo que puede ser replicado en otras áreas con riesgos similares, contribuyendo al bienestar social y la seguridad pública.

1.3.5 Conveniencia

La conveniencia de esta investigación se sustenta en su capacidad para llenar un vacío crítico en la normativa y el conocimiento técnico de nuestro territorio nacional. Ante la ausencia de investigaciones específicas sobre el comportamiento de las vigas de concreto armado bajo el impacto del fuego en el Perú, este trabajo es oportuno y necesario para adaptar las prácticas constructivas a las realidades locales. Además, la implementación de mejoras basadas en los resultados de este estudio incrementará la seguridad en futuras construcciones, lo que reducirá costos a largo plazo al evitar daños estructurales graves en caso de incendio.

A nivel institucional, la investigación sirve para actualizar la Norma E.060 (MVCS, 2009) y brindar recomendaciones que mejoren las prácticas de ingeniería y diseño estructural. Por lo tanto, este estudio resulta útil no solo para el ámbito académico, sino también para los profesionales del área y las autoridades responsables de la regulación de las construcciones en el país.

1.4 Determinación de Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Analizar la reducción de la resistencia a flexión y deflexión máxima producto del incremento de la temperatura por acción directa del fuego en vigas de concreto armado, Cusco 2025.

1.4.2 Objetivos Específicos

Determinar la variación de las propiedades físicas de la estructura producto del incremento de la temperatura por acción directa del fuego en vigas de concreto armado, Cusco 2025.

Determinar la disminución de la resistencia a flexión producto del incremento de la temperatura por acción directa del fuego en vigas de concreto armado, Cusco 2025.

Determinar las deflexiones excesivas que causan agrietamientos y comprometen la estabilidad estructural producto del incremento de la temperatura por acción directa del fuego en vigas de concreto armado, Cusco 2025.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del Problema

2.1.1 Antecedentes internacionales

2.1.1.1 Primer Antecedente Internacional:

Ureña & Alvarado (2018) presentan el artículo titulado “Efecto del tiempo de exposición al fuego en la resistencia a flexión de vigas de hormigón armado”, publicado en Gaceta Técnica, con el fin de determinar la reducción de la resistencia a flexión y de la capacidad de carga de vigas de concreto armado. Se fabricaron 21 vigas de concreto armado de perfil transversal cuadrada de 15x15x75 cm y un recubrimiento de 2.5 cm reforzadas longitudinal y transversalmente con acero corrugado de 420 MPa de fluencia, de las cuales se expusieron 18 al fuego en un horno de fundición en tiempos de 30, 60, 90, 120, 150 y 180 minutos midiendo la temperatura con un pirómetro, y los 3 restantes fueron ensayadas sin exponerlas al fuego. Los resultados revelaron que ante una exposición de 900 °C la resistencia a flexión y de la capacidad de carga de las vigas de concreto armado se redujeron en un 50 % en relación a las que no fueron expuestas. Por otro lado, cuando la temperatura alcanzó los 1050 °C, la reducción fue del 90,7 %.

La deflexión máxima disminuye con el incremento de la temperatura siendo la máxima disminución de 70.9 % en comparación al de las vigas que no fueron sometidas al fuego. Obtuvieron una resistencia máxima a la flexión de 14.2 MPa para especímenes a temperatura ambiente, mientras que para vigas que llegaron a una temperatura de 900 °C durante 90 minutos la resistencia fue de 7.5 MPa que se traduce con un decremento del 47.4 % en relación a la resistencia máxima, después de este punto esta resistencia experimentó un descenso casi lineal hasta que las vigas alcanzaron 1050 °C durante 180 minutos llegando a su valor mínimo de 1.3 MPa el cual representa un decremento del 90.7 % de su resistencia. El estudio concluye que el aumento de la temperatura reduce la

resistencia a la flexión y la capacidad de carga, además que genera fisuras que pueden llegar a causar fallas estructurales.

2.1.1.2 Segundo Antecedente Internacional:

Alvarado (2016) sustenta la tesis titulada “Estudio del comportamiento del concreto estructural expuesto al fuego”, a la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, para optar el título de Ingeniero Civil, con el objetivo de determinar los cambios de resistencia a la flexión en vigas de concreto armado expuestas a fuego y en condiciones no afectadas por fuego. Se fabricaron 20 vigas de concreto armado de sección cuadrada de 15x15x75 cm y un recubrimiento de 2.5 cm, con una resistencia a la compresión del concreto de f'_c de 210 kg/cm², reforzadas longitudinal y transversalmente con acero corrugado de 4200 Kg/cm² de fluencia, de las cuales 18 fueron expuestas al fuego en un horno formado por un crisol circular y un venterol que permitía llegar a temperaturas oscilantes entre 700 °C a 1100 °C, se quemaron 3 vigas en cada intervalo de 30 minutos, de tal forma que se obtuvo muestras cuyos periodos de exposición al fuego fueron de 30, 60, 90, 120, 150 y 180 minutos, y las 2 restantes fueron ensayadas sin exponerlas al fuego.

Los resultados mostraron que ante una exposición al fuego de 30 minutos la temperatura superó los 750 °C, alterando las propiedades físicas de los agregados, lo cual causó una disminución del 17 % de la resistencia a flexión en comparación a la de las vigas no expuestas al fuego, sin embargo, el comportamiento del concreto y acero tuvieron el mismo comportamiento. En las vigas expuestas durante 60 minutos las temperaturas bordearon los 800 °C, la reducción de la resistencia a la flexión fue del 25 % afectando sus propiedades físicas y mecánicas. Por otro lado, cuando con una exposición al fuego fue de 90 minutos y 120 minutos la temperatura experimentó una variación entre 900 °C

a 1000 °C, la resistencia de las vigas descendió en un 37 % y 46 % respectivamente y en ambos casos la sección se vio afectada perdiendo 10 mm de recubrimiento.

Con una exposición de 150 minutos la temperatura oscilo entre 1000 °C y 1050 °C, la resistencia a la flexión disminuyo en un 70 % y el comportamiento de las deformaciones se alteraron. En la etapa final la exposición al fuego fue de 180 minutos con cambios de temperatura entre 1050 °C a 1100 °C, siendo la reducción de la resistencia un 75 % y la capacidad de deformación disminuyó.

2.1.2 Antecedentes nacionales

2.1.2.1 Primer Antecedente Nacional:

Navarro & Colque (2021) sustentan la tesis titulada “Comportamiento del concreto reforzado sometido a altas temperaturas por incidencia del fuego directo en la región Tacna, 2020”, a la Universidad Privada de Tacna, Facultad de Ingeniería, para optar el título profesional de Ingeniero Civil.

El objetivo principal es determinar las alteraciones de las propiedades mecánicas de resistencia del concreto armado expuesta a altas temperaturas, la resistencia de diseño fue de f'_c de 210 kg/cm² y se utilizó acero con una resistencia de fluencia del acero de f_y de 4200 kg/cm². Se fabricaron 24 vigas de dimensiones de 180x15x10 cm con recubrimiento de 2.5 cm, de las cuales se expusieron al fuego en 8 grupos de 2 de forma progresiva, cada 15 minutos, con un aumento de temperatura de 100 °C para cada grupo, en un total de 180 minutos llegando a una temperatura máxima de 750 °C, las 8 vigas restantes se utilizaron de muestras de control que fueron ensayadas a condiciones normales. Los autores concluyen en que la resistencia a flexión de las vigas de concreto reforzado se reducen significativamente con el aumento de la temperatura, de los análisis finales se obtuvo que las vigas sometidas bajo fuego fallan ejerciendo un 60 % de la carga que

soporta una no expuesta al fuego y a una deformación baja, así mismo, la pérdida del peso varía entre 5 % al 10 %.

2.1.2.2 Segundo Antecedente Nacional:

Meza (2019) presenta la tesis de grado “Evaluación de las propiedades mecánicas del concreto armado expuesto al fuego en intervalos de tiempos, Lambayeque. 2018”, realizada en la Universidad Señor de Sipan, Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo, para optar el título de Ingeniero Civil, con el objetivo de estudiar el efecto de la exposición directa al fuego de un elemento de concreto reforzado en sus propiedades mecánicas, con resistencias de diseño del concreto de $f'c$ de 210 kg/cm², 245 kg/cm² y 280 kg/cm², y esfuerzo de fluencia del acero de f_y de 4200 kg/cm².

Se elaboraron 36 testigos cilíndricos de 6"x12" para determinar su resistencia a compresión y 24 vigas de 12x16x50 cm con recubrimiento de 1 cm para determinar su resistencia a flexión, de las cuales 9 testigos cilíndricos y 6 vigas fueron estudiadas sin exponerlas al fuego, y las demás fueron sometidas a fuego de forma directa en un horno artesanal, alcanzando temperaturas que variaron de 550 °C a 850 °C durante periodos de tiempo de 15, 30 y 60 minutos y de forma agrupada para cada intervalo, en caso de las probetas se colocaron en grupos de 9 y en el de las vigas en grupos de 6. La máxima disminución de la resistencia a compresión para una mezcla de diseño $f'c$ de 280 kg/cm² resultó de 20.99 %, así también para $f'c$ de 245 kg/cm² fue de 20.99 % y para un diseño $f'c$ de 210 kg/cm² fue de 26.70 %. El estudio concluye que el mejor comportamiento a la flexión y compresión se da en el concreto con resistencia de diseño $f'c$ de 280 kg/cm² comprobando que la relación a/c de la mezcla de diseño influye en las propiedades mecánicas del concreto.

2.1.2.3 Tercer Antecedente Nacional:

Aréstegui (2022) presenta la tesis de grado “Ensayos físicos y efectos de los niveles de fuego por incendio en las propiedades mecánicas del concreto armado en edificaciones”, realizada en la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, para optar el título profesional de Ingeniero Civil, con el objetivo de estudiar la afección de diferentes niveles de fuego en las propiedades mecánicas de las estructuras de concreto armado, la resistencia de diseño a la compresión del concreto utilizado fue f'_c de 210 kg/cm². Se elaboraron dos clases de especímenes, por un lado, 8 probetas, de las cuales 2 fueron utilizadas como patrón y ensayadas sin someterlas al fuego y los 6 restantes se expusieron al fuego en grupos de 2, cada grupo fue sometida a 300 °C, 500 °C y 700 °C respectivamente; así mismo, fueron fabricadas 7 vigas de concreto armado de 100x25x25 cm con un recubrimiento de 5 cm, uno se utilizó como patrón y se ensayó en condiciones normales, los 6 restantes fueron sometidas a acción directa del fuego agrupados en grupos de 2, la temperatura de cada grupo fue de 300 °C, 500 °C y 700 °C respectivamente. Finalmente, el autor concluye en que las capacidades mecánicas del concreto con refuerzo de acero son impactados negativamente al estar expuestas al fuego y tienen diferentes niveles de afección de acuerdo a la magnitud de la temperatura, siendo la más crítica a la mayor. Los resultados del estudio revelan que la resistencia a compresión tuvo una máxima disminución del 26 % y la resistencia a flexión tuvo una reducción máxima del 33.5 % a 700 °C.

2.1.3 Antecedentes Regionales

Cachi & Espinoza (2019) sustentan la tesis titulada “Análisis comparativo de las propiedades físico mecánicas del concreto f'_c de 210 kg/cm², reforzado con alambre negro recocido n°8 en forma vertical con un recubrimiento de 5 cm con referencia a un concreto patrón, sometida a variación de temperatura a 800°C, 900°C y 1000°C”, a la

Universidad Andina del Cusco, Facultad de Ingeniería, para optar el título profesional de Ingeniero Civil. "El propósito central de la investigación es evaluar el comportamiento del concreto reforzado con alambre negro recocido N.º 8 cuando es sometido a altas temperaturas. El concreto utilizado tuvo una resistencia de diseño a compresión f'_c de 210 kg/cm². Para el estudio se elaboraron 192 probetas cilíndricas de 10 × 20 cm; 12 de ellas se emplearon como muestra de referencia y fueron ensayadas en condiciones térmicas normales. Las demás se agruparon en conjuntos de 12 unidades y se expusieron de manera gradual a temperaturas de 800 °C, 900 °C y 1000 °C, incrementando el tiempo de calentamiento cada 30 minutos hasta alcanzar 180 minutos. Posteriormente, las probetas se dejaron enfriar durante 24 horas a temperatura ambiente antes de realizar los ensayos de compresión. El alambre recocido N.º 8 también fue sometido a pruebas de tracción.

Los autores señalan que, a medida que la temperatura se incrementa, las propiedades físico-mecánicas del concreto reforzado con este tipo de alambre se ven claramente afectadas. Los resultados muestran que la resistencia a compresión del concreto puede reducirse hasta en un 55 %, mientras que la resistencia a tracción del alambre presenta una disminución máxima del 30 % a 1000 °C. Asimismo, se registró una pérdida de peso de hasta el 10 %, un aumento volumétrico del 10 % y un incremento de densidad del 20 % en comparación con las probetas de referencia."

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Escenarios de fuego

Los escenarios de fuego presentan un comportamiento térmico caracterizado por tres fases principales: la fase de desarrollo que marca la combustión inicial y la expansión del fuego, en el cual la temperatura se incrementa de forma acelerada, luego está presente la fase de incendio plenamente desarrollado, durante la cual la intensidad del fuego llega a

la condición de máxima carga térmica, finalmente se da la fase de declinación, durante el cual se consume en combustible remanente (Lakhani & Ožbolt, 2019).

2.2.2 Tipos de fuego

Los fuegos se clasifican según el tipo de material que se consume en la combustión. La Clase A incluye sólidos como papel, madera y textiles, generando brasas al quemarse. La Clase B abarca líquidos inflamables y sólidos que se funden con el calor, como alcoholes, hidrocarburos y parafinas. La Clase C involucra equipos eléctricos energizados, mientras que la Clase D se relaciona con metales alcalinos altamente reactivos como sodio y magnesio. Finalmente, la Clase K comprende incendios de aceites y grasas en cocinas. Cada tipo de fuego se identifica con un símbolo y color específico para su fácil reconocimiento (NFPA, 2024).

2.2.3 Niveles de temperatura en un incendio

Los niveles de temperatura en un incendio varían según la fase en la que se encuentre. Los incendios con combustibles sólidos alcanzan temperaturas máximas de entre 800°C y 1000°C. En la fase incipiente, que corresponde al inicio del incendio, la temperatura es mayor a los 54°C y el aire conserva aproximadamente un 20% de oxígeno. Durante la fase de libre combustión, la temperatura se incrementa hasta alrededor de 700°C, con una reducción continua del oxígeno en el ambiente. Finalmente, en la fase latente, la temperatura supera los 700°C y la concentración de oxígeno en el aire cae por debajo del 15% (Huincho, 2017).

2.2.4 El Concreto

Es un material conglomerado, cuya característica peculiar es de ser monolítico. quiere decir que toda la estructura de la construcción es de un solo material permitiendo una unión perfecta, es un material de fácil manipulación y de mantenimiento económico por ejemplo comparado con el acero. (Zapata, 2021).

El concreto es un material utilizado en la construcción que se elabora a partir de la mezcla de cemento, agregados gruesos (Grava), agregados finos (Arena) y agua. La combinación de cemento, agua y arena forma el mortero, cuya función esencial es unir las partículas del agregado grueso y rellenar los vacíos existentes entre ellas. En condiciones ideales, el volumen del mortero debería ser suficiente para ocupar únicamente estos vacíos; sin embargo, en las construcciones reales, suele emplearse un mayor volumen para garantizar la ausencia de vacíos en la estructura. La calidad del concreto depende de la calidad de los materiales empleados, de su empleo en proporciones correctas de acuerdo al diseño de mezclas, así también de aspectos clave en su proceso de producción, como el mezclado, transporte, colocación o vaciado y el adecuado curado del material (Harmsen, 2005).

2.2.5 Componentes del Concreto

El concreto constituye un material esencial en la construcción y se forma a partir de la mezcla de un aglomerante, agregados, agua y aditivos; la interacción de estos componentes define su comportamiento mecánico, su durabilidad y su facilidad de manejo. El medio conglomerante está constituido principalmente por cemento, el cual, al reaccionar con el agua, desarrolla propiedades adherentes que permiten la cohesión de los agregados. Dentro de esta categoría, el cemento portland es el más utilizado debido a su composición basada en silicatos de calcio, los cuales garantizan la estabilidad y resistencia del material en el medio líquido de la mezcla.

Los agregados representan el mayor volumen dentro de la mezcla y se clasifican en agregados finos y gruesos. Los agregados finos comprenden partículas con tamaños menores a 4.75 mm, como la arena natural, mientras que las partículas de los agregados gruesos tienen tamaños mayores a 4.75 mm, tales como grava, piedra triturada o escoria

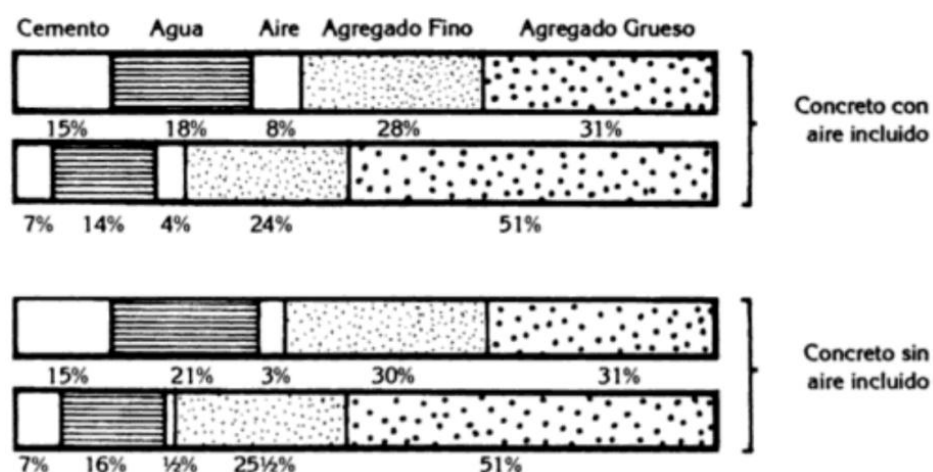
de alto horno. Su función principal es proporcionar resistencia y estabilidad estructural al concreto.

El agua, además de ser el agente que desencadena la hidratación del cemento, cumple un rol clave en la trabajabilidad y fraguado del concreto. Es fundamental emplear una cantidad controlada para evitar efectos negativos en la resistencia y capacidad resiliente del material.

Los aditivos son componentes que se incorporan con el propósito de modificar las propiedades del concreto fresco o endurecido. Según la función que cumplan, pueden aumentar la manejabilidad de la mezcla, adelantar o retrasar el proceso de fraguado y mejorar la resistencia frente a ciclos de congelación y descongelación, o reducir la permeabilidad. Entre los aditivos más comunes se encuentran los reductores de agua, incorporadores de aire y puzolanas, los cuales optimizan el desempeño del concreto en distintas condiciones de servicio (Mehta & Monteiro, 2014).

Figura 1

Componentes del Concreto (Sanchez, 2001)



2.2.6 Efecto de altas temperaturas

El concreto es un material ampliamente utilizado en ingeniería estructural debido a sus propiedades mecánicas y su durabilidad. Para su aplicación en distintas estructuras, es fundamental comprender su comportamiento frente a esfuerzos y deformaciones, así como los factores que influyen en su desempeño a lo largo del tiempo (Mehta & Monteiro, 2014).

2.2.6.1 Resistencia

La resistencia constituye una de las propiedades más importantes del concreto, pues define su capacidad para soportar cargas sin llegar a fallar. La resistencia a la compresión es la más representativa y suele especificarse en el diseño estructural, dado que el concreto es un material que trabaja mejor bajo esfuerzos de compresión que bajo tensión o flexión.

Esta resistencia depende del proceso de hidratación, que es relativamente lento, razón por la cual las pruebas estándar de resistencia se realizan comúnmente a los 28 días de curado. En aplicaciones estructurales usuales, el concreto presenta resistencias a la compresión entre 20 y 40 MPa, y los concretos de alta resistencia pueden alcanzar valores de hasta 130 MPa. Por otro lado, la resistencia a tensiones generales del concreto suele representar aproximadamente el 10% de su resistencia a la compresión mientras que la resistencia a la flexión puede alcanzar el 15% de dicho valor. Esta diferencia se debe a la estructura heterogénea del material (Mehta & Monteiro, 2014).

2.2.6.2 Módulo de elasticidad

Describe cómo se vincula el esfuerzo ejercido con la deformación unitaria elástica que experimenta el material. A diferencia de materiales uniformes como el acero, el módulo de elasticidad del concreto está condicionado por cómo interactúan la pasta cementicia y los agregados que lo conforman. En compresión, el módulo de elasticidad del concreto

puede variar entre 14,000 y 40,000 MPa. Este valor es importante conocer ya que influye directamente en la rigidez de los elementos de concreto (Mehta & Monteiro, 2014).

2.2.6.3 Ductilidad

El concreto presenta un comportamiento inelástico bajo altos niveles de carga. Cuando la deformación unitaria es proporcional al esfuerzo aplicado, se dice que el material está en su fase elástica. Sin embargo, a medida que la carga aumenta, se generan deformaciones permanentes, conocidas como deformaciones plásticas o inelásticas. La ductilidad del concreto se puede medir con la cantidad de deformación plástica que ocurre antes de la falla. En este sentido, el concreto es un material relativamente frágil, ya que presenta una baja ductilidad y tiende a fracturarse sin experimentar grandes deformaciones plásticas. La tenacidad, que mide la energía absorbida antes de la falla, es menor en concretos de alta resistencia, ya que estos materiales suelen ser más frágiles. El concreto experimenta deformaciones a largo plazo bajo cargas sostenidas, un fenómeno conocido como flujo plástico. Este efecto se manifiesta cuando el material está sometido a un esfuerzo constante durante un período prolongado, lo que genera una deformación progresiva (Mehta & Monteiro, 2014).

2.2.6.4 Durabilidad

La durabilidad es un aspecto fundamental del concreto, porque influye en la durabilidad de las estructuras y en los costos asociados a su mantenimiento y reparación. Se define como la capacidad del material para resistir la acción de agentes ambientales sin deteriorarse significativamente. En general, los concretos densos y con baja permeabilidad tienden a ser más duraderos, mientras que los concretos con alta porosidad son más susceptibles a la degradación. La capacidad del concreto para permitir el paso de fluidos está influenciada por diversos aspectos, entre ellos la proporción entre el agua y el cemento empleada en su elaboración, el grado de compactación y el curado. Los ciclos

de humedecimiento y la temperatura pueden generar microgrietas que afecten la durabilidad del concreto. Asimismo, el concreto es susceptible a la retracción, que ocurre cuando pierde humedad con el tiempo. Esta retracción puede generar fisuras si el material está restringido, afectando la durabilidad de la estructura. De igual manera, los cambios de temperatura pueden inducir deformaciones térmicas, especialmente en estructuras masivas donde la disipación del calor de hidratación del cemento es limitada (Mehta & Monteiro, 2014).

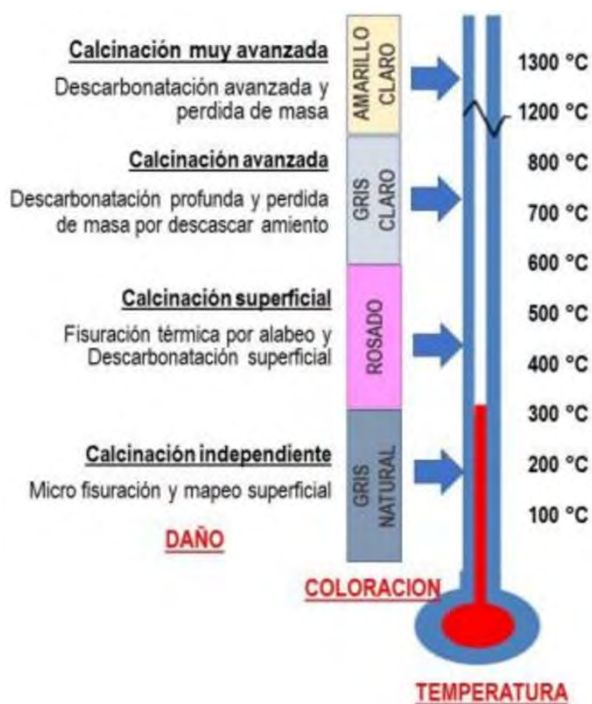
2.2.7 Comportamiento del Concreto Frente a Altas Temperaturas

El concreto exhibe un desempeño favorable frente a la exposición al fuego, debido a su baja conductividad térmica y su naturaleza incombustible. No obstante, a medida que la temperatura se incrementa, sus propiedades físicas y mecánicas pueden alterarse, generando en algunos casos grietas en la superficie y desprendimiento o desintegración del material este comportamiento depende de la duración de la exposición y el nivel térmico alcanzado.

Entre 200°C y 300°C ocurre la evaporación del agua capilar sin afectar la estructura del concreto; entre 300°C y 400°C se elimina el contenido de agua del cemento, generando una coloración rosácea; desde 400°C hasta aproximadamente los 600°C se produce la descomposición de la cal viva, manifestándose un tono rojizo; y entre 600°C y 950°C los áridos experimentan expansión térmica. Debido a los distintos coeficientes de dilatación de sus componentes, se presenta un proceso de disgregación del material, adquiriendo una tonalidad grisácea (Faller , 2004)

Figura 2

Comportamiento del Concreto Frente a Altas Temperaturas (Faller , 2004).



Según la norma ASTM E 119 (2020) los parámetros de temperatura en relación al tiempo para llevar a cabo pruebas de fuego son los que se muestran en el siguiente cuadro:

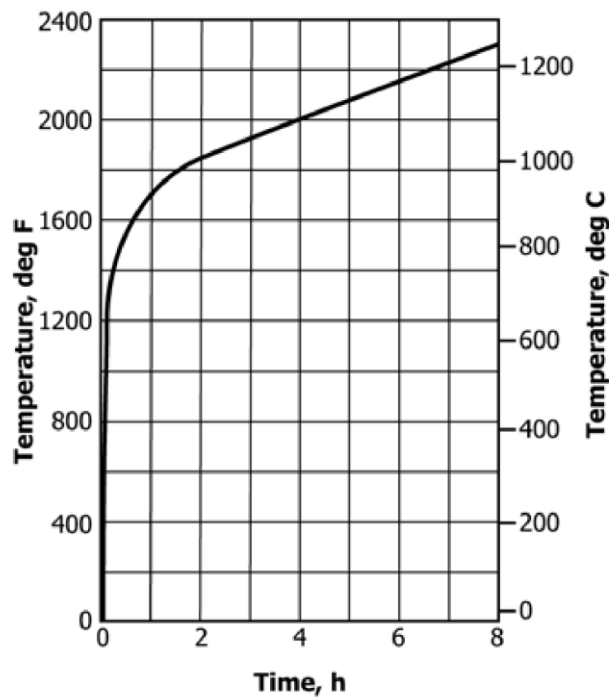
Tabla 1

Tabla de relación temperatura–tiempo del incendio (ASTM, 2020)

Temperatura (°C)	Tiempo
538°	a los 5 min
704°	a los 10 minutos
843°	a 30 min
927°	a 1 h
1010°	a 2h
1093°	a 4h
1260°	a 8 h a más

Figura 3

Curva estándar tiempo - temperatura (ASTM, 2020).



2.2.8 Comportamiento de Vigas de Concreto Armado

En las vigas de concreto reforzado, el acero absorbe la tensión generada por los momentos flectores, mientras que el concreto se comprime. La interacción entre ambos materiales es crucial y se refuerza mediante barras corrugadas que incrementan la adherencia en la interfaz acero-concreto.

Cuando la carga aplicada a la viga aumenta de manera gradual, se pueden identificar distintas etapas en su comportamiento. Inicialmente, con cargas bajas, es decir, cuando el máximo esfuerzo de tensión en el concreto es inferior al módulo de rotura, el concreto es capaz de resistir los esfuerzos de compresión a un lado y de tensión al otro lado del eje neutro, estos esfuerzos son proporcionales a las deformaciones, así mismo, el refuerzo soporta esfuerzos de tensión y deformaciones iguales al concreto adyacente como se muestra en la figura 4.c. Sin embargo, a medida que la carga se incrementa, aparecen grietas de tracción en la zona sometida a tensión, propagándose progresivamente como se observa en la figura 4.d.

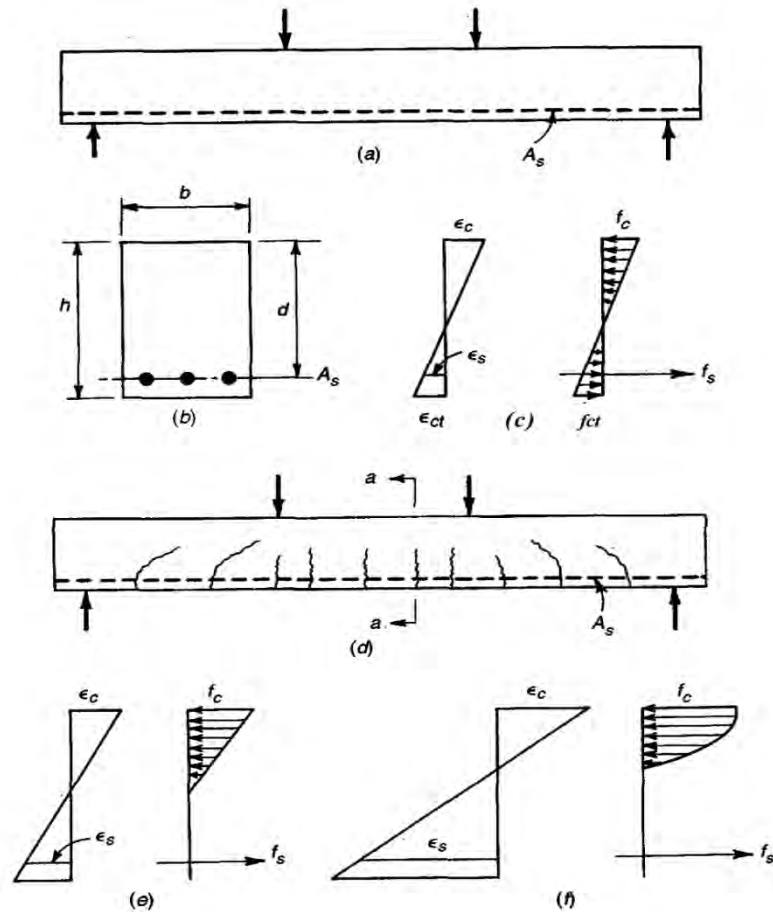
Asimismo, en la sección a-a, se observa una grieta en el concreto que impide la transmisión de esfuerzos de tensión, los cuales son absorbidos por el acero. En vigas diseñadas correctamente, estas grietas suelen ser pequeñas y no comprometen la durabilidad del elemento. Ante cargas moderadas el esfuerzo no es superior a $f'_c/2$, es constante y proporcional a las deformaciones unitarias, tal como se muestra en la sección fisurada de la figura 4.e.

Para cargas mayores, el esfuerzo en el concreto y las deformaciones unitarias ya no son proporcionales, se convierte en una relación no lineal definida por la curva esfuerzo-deformación, la curva del lado de compresión de la viga tiene la misma forma que la distribución de esfuerzos que actúan en el concreto tal como se muestra en la figura 4.f. Finalmente, al alcanzar su capacidad máxima de carga, la viga puede fallar de dos maneras. Si la cantidad de acero de refuerzo es adecuada, este llega a desarrollar su límite de fluencia, generando grandes deformaciones y una mayor apertura de grietas antes del colapso, esta falla es gradual. Por otro lado, si la viga tiene un refuerzo excesivo, el concreto en compresión puede alcanzar su límite antes de que el acero fluya, lo que puede provocar una falla brusca y explosiva.

Para reducir este comportamiento y prevenir este tipo de colapso, se recomienda dimensionar las vigas de manera que la falla ocurra por fluencia del acero en lugar de aplastamiento del concreto (Nilson & Darwin, 1999).

Figura 4

Comportamiento de vigas de concreto armado ante carga creciente (Nilson & Darwin, 1999).



2.2.9 Comportamiento o patología del acero.

2.2.9.1 Propiedades del Acero a altas temperaturas

El acero al contacto directo con temperaturas elevadas o fuego presentan características específicas que reducen los estándares de resistencia.

a) Deformación y Fluencia

A altas temperaturas, el acero tiende a experimentar mayor fluencia y deformación, lo que se traduce de manera real en un aumento de la deflexión y una reducción de la capacidad de carga de las vigas de concreto armado.

b) Resistencia a la Tracción

Teóricamente a medida que la temperatura del acero aumenta, su resistencia a la tracción disminuye de manera significativa. Por ejemplo, la resistencia a la tracción del acero empieza a reducirse de manera apreciable a partir de los 300°C y se reduce a la mitad de su capacidad original a temperaturas alrededor de 500°C.

c) Módulo de Elasticidad

El módulo de elasticidad del acero también es afectado por las altas temperaturas, disminuyendo conforme aumenta la temperatura, lo que representa pérdida de capacidad del material para resistir deformaciones elásticas.

d) Estricción

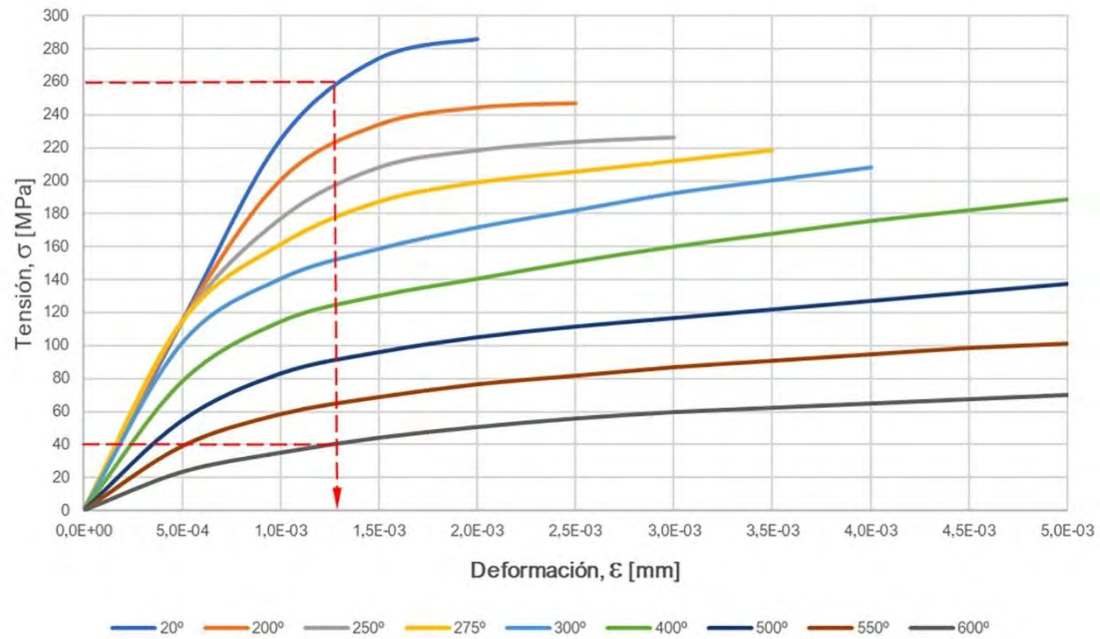
Para explicar el concepto de estricción en el acero estructural Grado 60, es necesario recordar primero el ensayo de tracción. La etapa de estricción comienza después de superar el límite de fluencia, momento en el cual la sección del material empieza a reducirse progresivamente en la zona donde finalmente ocurrirá la rotura.

Esta deformación permanente continúa hasta producirse el fallo total. La estricción es la causa del tramo descendente en la curva tensión–deformación y provoca que la rotura se produzca con una carga menor a la carga máxima alcanzada, diferencia que aumenta según la tenacidad del material. Mismos datos correspondidos y agrupados en la ecuación 1.

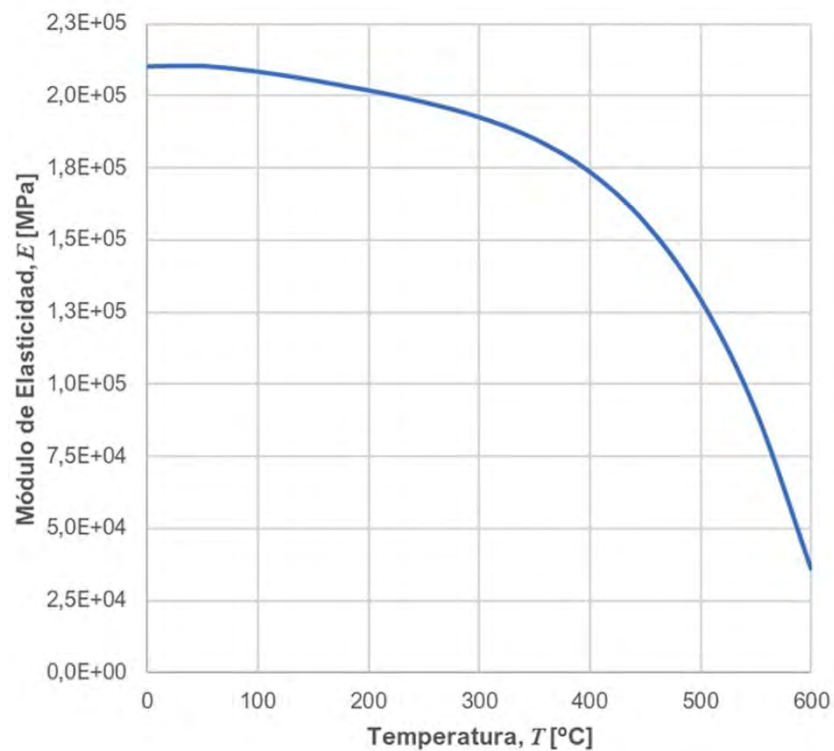
$$Z(\%) = \left(1 - \frac{D_f^2}{D_o^2}\right) * 100 \quad (1)$$

Figura 5

Afección de la temperatura en el acero (Interempresas, 2021).

**Figura 6**

Representación gráfica de la evolución del módulo de elasticidad con la temperatura (Interempresas, 2021).



2.2.9.2 Degradación de las Propiedades del Acero

a) Fragilidad

En algunos casos, la exposición a altas temperaturas puede hacer que el acero se vuelva frágil, lo que significa que la estructura de concreto armado pueda romperse de manera abrupta y sin mostrar señales latentes de falla.

b) Oxidación y Corrosión

La exposición extendida al fuego puede llevar a la oxidación y corrosión de las barras de acero, especialmente si estas han quedado expuestas tras el desprendimiento del concreto. Mientras que la corrosión merma la sección efectiva de las barras y, por lo tanto, su capacidad de carga ante la presencia de problemas de similar naturaleza.

No obstante, el presente estudio puede llegar a mitigar los problemas visualizados, ante ello Arellano (2019) nos puntualiza y afirma lo siguiente:

“Además de la resistencia, una característica importante de los materiales es la capacidad de deformación. Con las nuevas tecnologías de fabricación, se puede obtener acero de refuerzo de alta resistencia sin que se reduzca en forma importante la capacidad de deformación.”

2.2.9.3 Parámetros de diseño estructural – Cuantía

La cuantía del acero es fundamental para el diseño de una viga de concreto armado y rige su importancia en los criterios de resistencia y servicio. Para eventualidades, tales como incendios la normativa peruana no aborda específicamente escenarios para determinar la cuantía de refuerzo.

Sin embargo, desglosa escenarios de cuantía mínima, balanceada y máxima; así como, cálculo de acero mínimo con el objetivo de garantizar un comportamiento adecuado frente a sollicitaciones normales, como flexión y cortante.

La ecuación 2 nos brinda la cuantía según normativa en flexión:

$$\text{Cuantía Mínima} = \rho_{min} = \frac{0.70 \sqrt{f'_c}}{f_y} \quad (2)$$

Para la cuantía balanceada se nos brinda la ecuación 3 según normativa en flexión:

$$\text{Cuantía Balanceada} = \rho_b = 0.85 \beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \times \left(\frac{6000}{f_y + 6000} \right) \quad (3)$$

La cuantía balanceada normativa en flexión para las ecuaciones 4 y 5:

Cuantía Máxima:

$$\rho_{max} = 0.75 \rho_b \rightarrow \text{Estructuras con Sismo} \quad (4)$$

$$\rho_{max} = 0.50 \rho_b \rightarrow \text{Estructuras sin Sismo} \quad (5)$$

La ecuación 6 nos facilita el cálculo de acero mínimo en flexión:

$$A_s = \frac{0.70 \sqrt{f'_c}}{f_y} \times b_w \times d \quad (6)$$

Este parámetro no es considerado una propiedad intrínseca del acero de refuerzo, sino más bien un criterio de diseño que relaciona la cantidad del material con la sección transversal de la viga de concreto armado. A lo largo de la información brindada en capítulos anteriores las cualidades estructurales al contacto con fuego, las propiedades mecánicas tanto del concreto como del acero se ven inflexiblemente afectadas; la resistencia del acero se degrada significativamente debido a la alta temperatura, mientras que el concreto pierde capacidad de compresión y cohesión interna.

En este contexto, la cuantía asegura que se disponga de suficiente refuerzo para soportar las cargas residuales, mitigando el impacto negativo del calor en los materiales.

Asimismo, la cuantía adecuada contribuye al confinamiento del concreto, controlando la aparición de grietas y manteniendo la integridad estructural bajo condiciones extremas.

La proporción entre concreto y acero debe ser equilibrada con la finalidad de evitar problemas de dilataciones diferenciales, cuestiones que podrían comprometer la adherencia de los materiales y por ende acelerar el desgaste de la estructura. También, la cuantía influye directamente en la rigidez de la viga, que es esencial para limitar las deflexiones generadas por las altas temperaturas. Esto asegura que la estructura mantenga su funcionalidad durante y después de un incendio.

2.2.9.3.1 Cálculo de la cuantía de refuerzo en concreto armado

Para el cálculo de la cuantía nos valemos de las fórmulas generales, que nos presentan una esquematización puntual.

Para ejemplos puntuales de investigación, tengamos en consideración un acero de refuerzo comercial de ($\frac{3}{8}$ ") y una sección transversal de 15x20 cm. Analizando la cuantía se nos detalla lo siguiente, para determinar la eficiencia y viabilidad de lo esquematizado:

1. Cálculo de la cuantía mínima: Acero de $\frac{3}{8}$ "

$$\text{Cuantía Mínima} = \rho_{min} = \frac{0.70 \sqrt{210}}{4200} = 0.002415 = 0.24 \%$$

2. Cálculo de la cuantía balanceada: Acero de $\frac{3}{8}$ "

$$\rho_b = 0.85 \times 0.85 \times \frac{210}{4200} \times \left(\frac{6000}{4200 + 6000} \right) = 0.02125$$

3. Cálculo de la cuantía máxima: Acero de $\frac{3}{8}$ "

$$\rho_{max} = 0.50 \rho_b \rightarrow \text{Estructuras sin Sismo}$$

$$\rho_{max} = 0.50 \times 0.02125 = 0.010625 = 1.06 \%$$

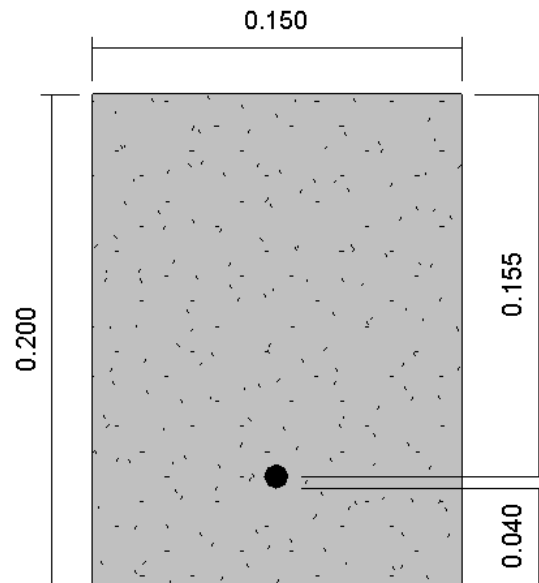
4. Cálculo del acero mínimo:

$$A_s = \frac{0.70 \sqrt{f'_c}}{f_y} \times b_w \times d$$

Donde: la imagen referencial nos indica:

Figura 7

Zona transversal de viga de concreto armado – Unidades en m.



$$A_s = \frac{0.70 \sqrt{210}}{4200} \times 0.15 \times 0.155 = 0.562 \text{ cm}^2$$

Utilizando los datos de la investigación:

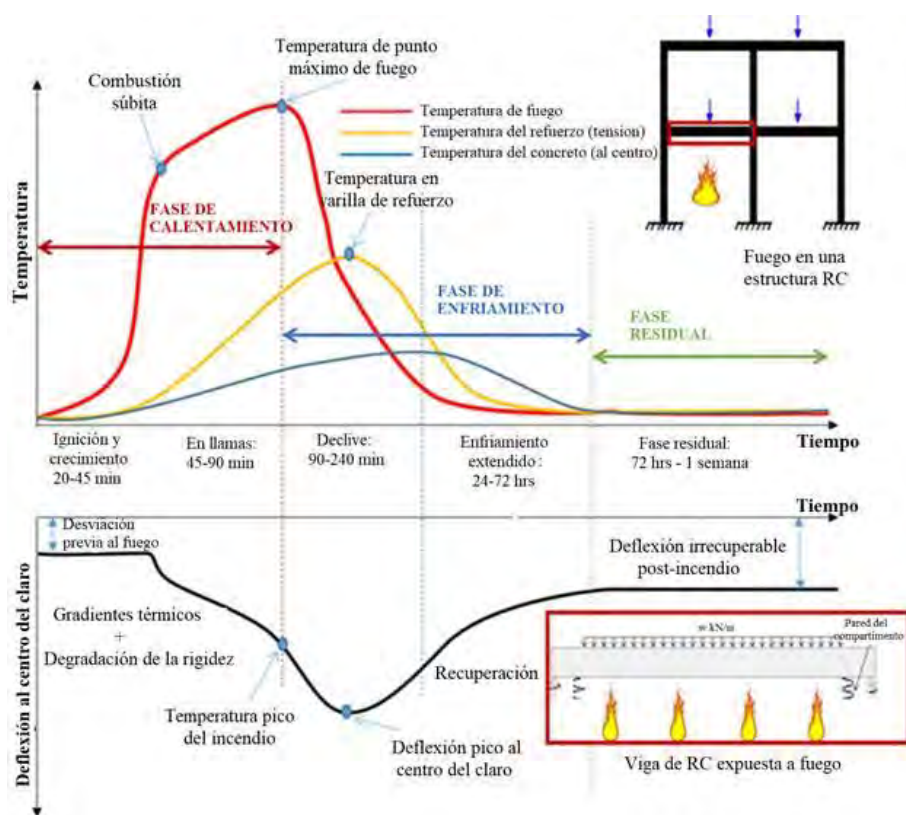
$$\text{Área de Varilla de } 3/8" = 0.71 \text{ cm}^2$$

2.2.10 Comportamiento del concreto armado.

El comportamiento del concreto armado se ha venido desarrollando a lo largo de la presente investigación. A continuación, se descifra y prevé la interacción que tienen el concreto – acero donde se destaca la situación experimental inducida por las altas temperaturas. El concreto armado se comporta de manera característica cuando se enfrenta a situaciones de fuego o incendio debido a sus propiedades intrínsecas.

Figura 8

Proceso total de la influencia del fuego en estructuras de concreto armado (SciELO, 2016).



En primer lugar, la baja conductividad térmica del concreto permite que el calor se transfiera lentamente desde la superficie expuesta al fuego hacia el núcleo de la estructura, donde se ubica el acero de refuerzo. El comportamiento inicial ante esta situación es crucial porque proporciona tiempo adicional para la evacuación y la implementación de medidas de control del incendio, disipando así el riesgo de colapso inmediato.

A medida que el fuego progresa, la diferencia de temperatura entre la superficie caliente y la parte central más fría puede generar tensiones internas dentro del concreto, provocando la formación de fisuras que se manifiestan superficialmente. Estas fisuras representan una manifestación del comportamiento del material sometido a estrés térmico, pero no necesariamente indican una pérdida inmediata de la integridad estructural.

Al respecto, en el congreso realizado en Uruguay por la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción (ALCONPAT), Helene (2010) en el documento de relacionado al Comportamiento de las Estructuras de Concreto Frente al Fuego nos indica que:

La capacidad del concreto para mantener su estructura interna a pesar de estas fisuras es una de las razones por las que se utiliza ampliamente en la construcción de edificios resistentes al fuego. Además, la sinergia entre el concreto y las armaduras de acero juega un papel fundamental en su comportamiento frente al fuego. El concreto proporciona una capa protectora que reduce la exposición directa del acero al calor intenso, mientras que el acero refuerza la estructura, ayudando a soportar las cargas y mantener la integridad durante el incendio. Esta combinación de materiales permite que el concreto armado resista altas temperaturas durante un periodo prolongado sin perder su capacidad estructural esencial.

2.2.10.1 Resistencia a flexión en Vigas

Para la resistencia a flexión del concreto armado es correcto un análisis por partes. Tomando de referencia los análisis estructurales estáticos y la normativa E.060 específicamente el capítulo de estudio de resistencias de diseño; así como, los factores de reducción para las calibraciones previas a los ensayos y cualificación de resultados.

El concreto armado sometido a cargas transversales presenta características específicas que permiten evaluar su resistencia, rigidez y capacidad de deformación. El ensayo de flexión es fundamental para determinar el comportamiento estructural de las vigas bajo esfuerzos flectores. Es ahí donde captamos datos primordiales para el estudio de una masa crítica de vigas.

a) Deflexiones y deformaciones

Durante el ensayo, la viga experimenta una curvatura progresiva producto de la flexión. La deflexión máxima en el centro de la luz es un indicador directo de la rigidez estructural. A medida que la carga aumenta, la deformación deja de ser proporcional y aparecen fisuras en la zona traccionada del concreto, mientras el acero de refuerzo absorbe los esfuerzos de tensión.

b) Resistencia a flexión

Bajo un análisis estático completo de la estructura, la apreciación de fórmulas deviene del uso de una normativa específica en la prueba. En cuestiones de ensayos la resistencia última de la viga se define por el momento flector máximo que puede soportar antes de la falla. En una viga apoyada a los tercios de los tramos, se detalla en base a la ecuación 7 correspondiente al siguiente arquetipo:

$$M_{max} = \left(\frac{P*L}{6} \right) \quad (7)$$

Considerando:

- Que no existe normativa que manifieste un cuidado y manejo del concreto armado (Concreto y acero en conjunto) para ensayos de flexión.
- La normativa establece los límites de resistencia mínimos para diseñar y considerar la viabilidad de las estructuras portantes.

2.2.11 Efectos respuestas y alteraciones físicas.

La incidencia de fuego, se visualiza de manera clara en la superficie externa de la estructura de concreto armado. Es por ello, que puntualizamos los efectos representativos del concreto con la parte de refuerzo que caracteriza a este tipo de estructura.

2.2.11.1 Interacción del Concreto y Acero

a) Tensiones Internas

Los diferentes coeficientes de expansión térmica innatos del concreto y el acero pueden generar tensiones internas adicionales cuando se exponen a altas temperaturas, como resultado de ello puede evidenciarse fisuras y deterioro estructural.

b) Pérdida de Adherencia

El aumento de temperatura afecta la adherencia entre el concreto y las barras de acero de refuerzo. A temperaturas elevadas, esta adherencia se reduce, comprometiendo la capacidad de transferencia de carga entre ambos materiales.

Al respecto Ureña & Alvarado (2018) nos brindan alcances a raíz de la investigación relacionada al “Efecto del tiempo de exposición al fuego en la resistencia a flexión de vigas de hormigón armado”:

“Cuando el concreto se calienta, sus propiedades mecánicas disminuyen: pierde resistencia, sufre deformaciones, tensiones térmicas y deterioro en la adherencia con el acero. Su baja conductividad hace que el calor se transmita lentamente.”

CAPÍTULO III: HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis General

La exposición directa al fuego provoca una disminución significativa de la resistencia a flexión y un incremento de la deflexión máxima en vigas de concreto armado, debido a la degradación de las propiedades mecánicas del concreto y del acero de refuerzo, conforme a los criterios de análisis establecidos en la Norma E.060

3.1.2 Hipótesis Específicas

Las propiedades físicas de la estructura son afectadas significativamente producto del incremento de la temperatura por acción directa del fuego en vigas de concreto armado, Cusco 2025.

La resistencia a flexión disminuye en un porcentaje significativo producto del incremento de la temperatura por la acción directa del fuego en vigas de concreto armado, Cusco 2025.

Las deflexiones excesivas que causan agrietamientos y comprometen la estabilidad estructural incrementan en porcentajes significativos producto del incremento de temperatura por acción directa del fuego en vigas de concreto armado, Cusco 2025.

3.2 Variables

3.2.1 Identificación de Variables

Para el actual tema investigativo de características empíricas contemplamos las variables con relación de causalidad. Referenciando a la Variable 1 como dependiente y a la Variable 2 como independiente, según los criterios puntualizados a continuación.

3.2.1.1 Variable 1

X1: Análisis de la reducción de la resistencia a flexión y deflexión máxima.

- **Dimensiones:**

X11: Precisión de Deflexión Máxima.

X12: Resistencia a la Flexión.

X13: Resistencia a tracción.

3.2.1.2 Variable 2

Y1: El incremento de la Temperatura por acción directa del fuego

- **Dimensiones:**

Y11: Duración de incidencia del fuego.

Y12: Temperatura.

3.2.2 Operacionalización de Variables

Tabla 2

Tabla de operacionalización de variables completo

Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos de Medición	Items
El incremento de la Temperatura por acción directa del fuego	Este estudio analiza cómo el fuego afecta las propiedades mecánicas del concreto armado, como la resistencia a la compresión, flexión y tracción. El objetivo es determinar el grado de afección y el impacto del calor extremo en el desempeño y la durabilidad de estos materiales.	Duración de Incidencia del Fuego	Tiempo en Minutos	Cronómetro o temporizador de alta precisión	min
			Tiempo en Segundos		s
		Temperatura	Temperatura Máxima	Termopar de alta temperatura o pirómetro óptico	°C
			Temperatura Promedio		°C
Análisis de la reducción de la resistencia a flexión y deflexión máxima	Estudia el impacto del fuego en la deflexión de vigas de concreto armado y en la resistencia a flexión. Mediante estudios de caso y análisis de datos experimentales, se investigan los cambios en las propiedades mecánicas y estructurales debido a altas temperaturas.	Precisión de Deflexión	Deflexión en milímetros	LVDT (Transductor de Desplazamiento Lineal Variable) o micrómetro	mm
			Angulo de la deflexión		(°)
		Resistencia a la Flexión	Carga puntual	Prensa hidráulica o máquina de ensayo de flexión	MPa
			Pérdida de Capacidad de carga		MPa

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Tipo y Nivel de Investigación

La investigación a realizar, debido a sus características inherentes, está orientada a la resolución de problemas de carácter estructural y de seguridad en la construcción, en nuestro país. Se centra en la evaluación crítica de las deficiencias mencionadas en capítulos previos, relacionadas con la resistencia al fuego de las vigas de concreto armado.

Asimismo, la investigación tiene un enfoque práctico con objetivos claros y plazos definidos, buscando resultados que contribuyan al progreso paulatino en la normativa y las prácticas de construcción, mejorando así la seguridad y la durabilidad de las estructuras frente a incendios.

4.2 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación se clasifica como **Experimental**, y **Correlativo** gracias a las siguientes características:

- Datos precisos y detallados. El estudio se enfoca en registrar de forma minuciosa la información relacionada con cómo la exposición al fuego afecta la resistencia a flexión y la deflexión máxima de vigas de concreto armado, de acuerdo con lo establecido en la Norma E.060.
- Emplea técnicas de observación. Aunque se trata de un estudio experimental, la observación juega un papel importante. Las pruebas de incendio se realizarán con cuidado para no alterar el fenómeno estudiado ni intoxicar los datos.
- La información no será alterada. Los datos se registrarán tal como se presentan en su contexto original, sin intervenir de manera intencional en las variables o en las condiciones del entorno, garantizando así la exactitud y la validez de los resultados.

- Usa distintas técnicas de recogida de datos. Se utilizarán herramientas como sensores de temperatura, LVDT (Transductor de Desplazamiento Lineal Variable), cámaras térmicas y otras técnicas de observación directa para obtener la información detallada necesaria.
- Necesaria en las etapas preliminares de un estudio. Este tipo de investigación se emplea en las etapas iniciales para evaluar la hipótesis de que el fuego afecta significativamente la deflexión máxima de las vigas de concreto armado.

Además, este diseño es óptimo porque utiliza estudios comparativos, herramientas estandarizadas y análisis cuantitativos para generar consenso sobre nuestras hipótesis causales basadas en observaciones cuantitativas de registros conservados en el campo. La caracterización experimental nos permitirá evaluar el comportamiento de la viga en condiciones de incendio controlado, mientras que la caracterización de correlación ayudará a determinar la relación entre la exposición al fuego y la deflexión máxima de la viga.

4.3 Población y Muestra

4.3.1 Población

Según Metodología de la investigación (2014) se entiende por población:

“La población en un estudio de investigación se refiere al conjunto total de individuos, objetos o elementos que comparten características comunes y sobre los cuales se desea hacer inferencias”

Para el presente trabajo investigativo **La población** abarca **todas las vigas de concreto armado** que pueden ser sometidas a pruebas de resistencia a la flexión y exposición al fuego según las condiciones establecidas. Comprende todas las vigas de concreto armado que cumplen con los criterios y parámetros definidos a lo largo del

estudio, representando así a todas las vigas de concreto armado que podrían encontrarse en aplicaciones prácticas similares.

4.3.2 Muestra

Para el análisis de la muestra del tema de investigación recurriremos a información brindada por las normativas nacionales e internacionales que nos indican lo siguiente:

Por un lado la Norma E.060 (MVCS, 2009) y las Normas Técnicas Peruanas 339.078 y 339.079 (INACAL, 2012) no especifican el número de muestras a ensayar en las diversas pruebas de resistencia planteadas en el trabajo investigativo.

Sin embargo, la Normativa Internacional ISO 7438 (2016) (Testing of Concrete - Methods of Test for Flexural Strength of Concrete) también proporciona lineamientos para la prueba de resistencia a la flexión del concreto. Que dentro de sus recomendaciones generales nos aclara que:

“Aunque las normas específicas pueden no establecer un número exacto de especímenes, es común utilizar al menos 3 a 5 especímenes por cada condición de prueba para obtener resultados estadísticamente significativos”.

Para los escenarios nos basamos en el libro “Diseño y Análisis de Experimentos” (Montgomery, 2004). Teniendo en consideración la Fórmula factorial a utilizar y la cantidad de factores controlables tenemos:

a) Factores Controlables

Factor A: Temperatura

Niveles: 4 niveles

Cualidades: TA (Temp. Ambiente), 250°C, 500 °C, 750 °C y 1000 °C

Factor B: Recubrimiento

Niveles: 1 nivel

Cualidades: Según normativa (4.0 cm)

Factor C: Cuantía del Acero

Niveles: 1 nivel (0.24 %)

Cualidades: Acero de (3/8")

La Cuantía según normativa:

- $Cuantía\ Mínima = \rho_{min} = \frac{0.70\sqrt{f'c}}{f_y} = 0.24\%$
- $Cuantía\ Balanceada = \rho_b = 0.85\beta_1\frac{f'_c}{f_y} \times \left(\frac{6000}{f_y+6000}\right) = 0.02125$
- $Cuantía\ Máxima = \rho_{max} = 0.50\rho_b = 1.06\%$
- $A_s = \frac{0.70\sqrt{f'c}}{f_y} \times b_w \times d = 0.562\text{ cm}^2$

Para el Proyecto: Área de Varilla de 3/8" = 0.71 cm²

b) Combinaciones: 5 Combinaciones

Tabla 3

Tabla de combinaciones totales de la investigación

Escenario	Factor A: Temperatura (°C)	Factor B: Recubrimiento (cm)	Factor C: Cuantía (0.24%)
1	TA (Temperatura Ambiente)	4	1 Varilla de 3/8"
2	250	4	1 Varilla de 3/8"
3	500	4	1 Varilla de 3/8"
4	750	4	1 Varilla de 3/8"
5	1000	4	1 Varilla de 3/8"

c) Pruebas

Número de Pruebas = Número de Combinaciones x Repeticiones

Al considerar a vigas enteras como parte muestral. El análisis de este resultado nos menciona la cantidad de vigas que se ensayarán en nuestra investigación.

$$\text{Número de Pruebas} = 5 \times 3 = \mathbf{15 \text{ Vigas de Concreto Armado}}$$

4.4 Técnicas e Instrumentos

Para el análisis de datos de la investigación sobre el "Análisis de la reducción de la resistencia a flexión y deflexión máxima producto del incremento de la temperatura por acción directa del fuego en vigas de concreto armado, Cusco 2025", se utilizarán diversas técnicas e instrumentos. En particular, se utilizarán "métodos estadísticos inferenciales" para probar las hipótesis propuestas a lo largo del estudio. Esta técnica es fundamental para interpretar los datos obtenidos y evaluar el efecto del fuego sobre la deflexión máxima de la viga.

Del mismo modo, los instrumentos utilizados en las pruebas serán rigurosamente comprobados para garantizar la exactitud y fiabilidad de las mediciones. Esto incluye calibración inicial, evaluación comparativa, validación periódica y análisis estadístico de repetibilidad y reproducibilidad. Estos pasos son esenciales para garantizar que los resultados obtenidos sean válidos y reproducibles, proporcionando una base sólida para la implementación de nuevas tecnologías en el campo de la construcción en la Ingeniería Civil.

4.4.1 Técnicas

Las Técnicas a utilizar en la investigación se rigen a criterios ingenieriles; así como la puesta en práctica a través del uso de laboratorios y mecanizando el progreso por medios digitales con el manejo de Softwares y modelos matemáticos. Detallaremos las técnicas y su respectiva aplicación o propósito específico.

4.4.1.1 Ensayos de Resistencia Mecánica:

Este punto nos detalla las pruebas para evaluar cómo las propiedades mecánicas del concreto y el acero de refuerzo en una viga se comportan bajo distintas condiciones que exigen al material.

Propósito Determinado:

Pruebas de flexión y capacidad de carga. Ensayos cruciales para determinar cómo las vigas soportarán las cargas en condiciones normales y después de una exposición al fuego.

4.4.1.2 Métodos Estadísticos:

Este tópico nos informa sobre la utilización de técnicas estadísticas especificadas como “métodos estadísticos inferenciales” para analizar los datos experimentales y establecer relaciones significativas entre las variables estudiadas.

Propósito Determinado: Para la presente investigación es correcto el desarrollo a través de los métodos de Análisis de Varianza y Regresión Lineal.

4.4.2 Instrumentos

Análogamente las técnicas empleadas en esta investigación están fundamentadas en criterios propios de la ingeniería, implementándose mediante el uso de laboratorios y el aprovechamiento de herramientas digitales, como softwares especializados y modelos matemáticos. A continuación, se describirán las herramientas utilizadas.

4.4.2.1 Equipos con Incidencia de Fuego:

Es oportuno aclarar que para la implementación de estos equipos se planteó 1 escenario de características Mecánicas - Industriales.

Equipos Mecánicos Industriales: Dispositivo que permite simular condiciones de incidencia de Fuego.

- Cronómetro de alta precisión.

- Termopar o pirómetro óptico.

4.4.2.2 Equipos de Medición de Deflexión:

Se puntualizan a las herramientas utilizadas para medir el desplazamiento o deflexión y el ángulo que arrastran de vigas bajo carga. LVDT (Transductor de Desplazamiento Lineal Variable) o micrómetro

4.4.2.3 Cámaras de Ensayo:

Estructura donde se realizan las pruebas mecánicas bajo condiciones controladas. Para contemplar y comparar la Resistencia de la compresión residual, Pérdida de Resistencia, Módulo de Elasticidad, Coeficiente de rigidez, Carga máxima soportada y Resistencia de la carga en el tiempo. Máquina Universal de Ensayos. Modelo: INSTRON 600DX

4.4.2.4 Software de Análisis de Datos:

Programas utilizados para procesar y analizar los datos recogidos durante los experimentos. MATLAB, Python, Excel.

4.5 Validez y Confiabilidad de Instrumentos.

En este punto respondemos a la interrogante ¿Cómo validamos y generamos confiabilidad a nuestra Investigación?

4.5.1 Validación de Instrumentos

La validación se refiere al proceso de confirmar un instrumento de medición, para que este mida lo que se supone que debe medir con exactitud. En el contexto de la investigación con respecto a la deflexión de vigas de concreto armado, esto implica garantizar que los equipos utilizados para medir la deflexión bajo condiciones de fuego proporcionen datos precisos e indefectiblemente fiables.

Examinamos los pasos para una correcta validación de instrumentación:

- a) Calibración Inicial a través de documentación solicitada en laboratorio.

- b) Pruebas de Comparativas de lecturas del instrumento o equipo con las de un instrumento de referencia o patrón, especificada en la hoja de calibración.
- c) Directrices Operativas, que rige las verificaciones continuas.

4.5.2 Confiabilidad de Instrumentos

La confiabilidad de los instrumentos y técnicas utilizadas, para obtener resultados consistentes y repetibles bajo condiciones similares en laboratorio.

Analizamos las etapas necesarias para asegurar la confiabilidad de los instrumentos:

- a) Análisis Estadísticos de varianza y Regresión Lineal.
- b) Se realizaron mediciones repetidas bajo las mismas condiciones de ensayo para verificar la repetibilidad de los resultados.
- c) Se efectuó un registro sistemático y ordenado de los procedimientos y resultados, garantizando la trazabilidad del experimento.

4.6 Procedimientos experimentales

4.6.1 Ensayos de laboratorio

4.6.1.1 Muestreo y traslado de materiales

Según recomendaciones de la NTP 400.010 (INACAL, 2016), cuyo procedimiento es el muestreo de los agregados finos y gruesos.

4.6.1.2 Cantidad de material fino que pasa el tamiz de 75 μm (n° 200) por lavado

Según recomendaciones de la NTP 400.018 (INACAL, 2013), cuyo procedimiento es el cálculo de material fino que pasa el tamiz N° 200 para los agregados finos y gruesos.

4.6.1.3 Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos

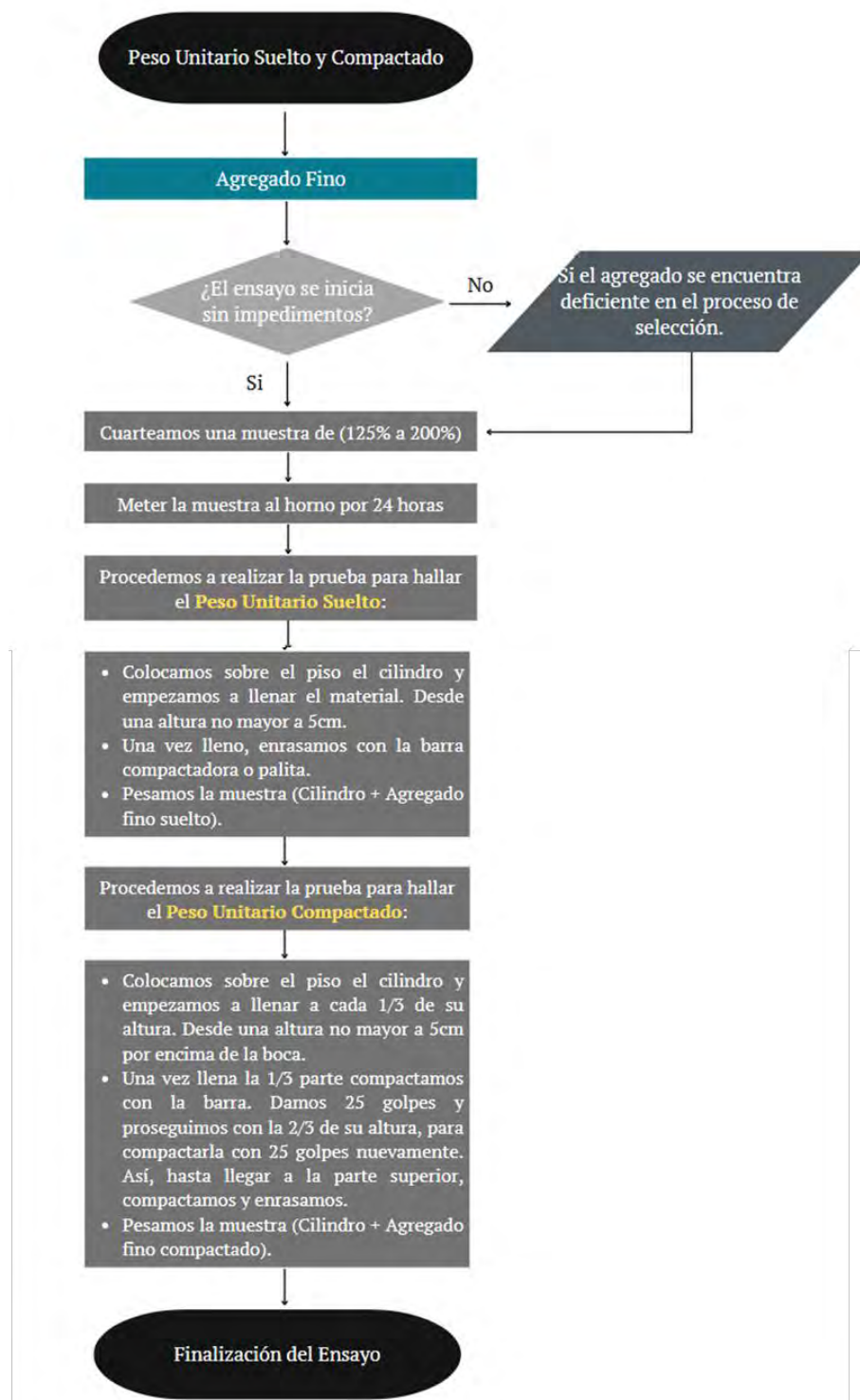
Según recomendaciones de la NTP 400.012 (INACAL, 2013).

4.6.1.4 Peso unitario suelto y compactado, vacío de los agregados

Según recomendaciones de la NTP 400.017 (INACAL, 2011).

Figura 9

Procedimiento completo del ensayo de peso unitario suelto y compactado

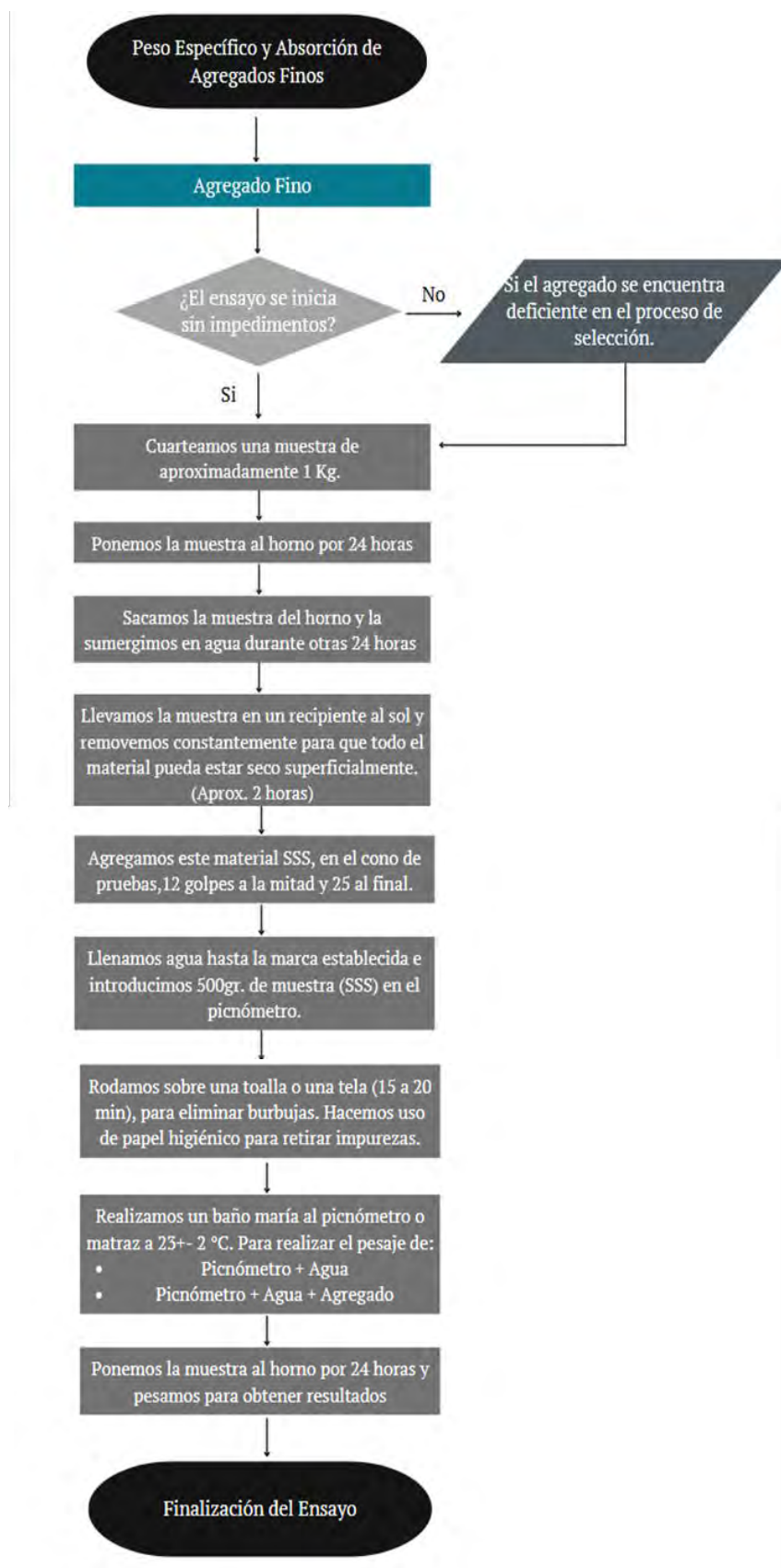


4.6.1.5 Peso específico y absorción de Agregados Finos

Según recomendaciones de la NTP 400.022 (INACAL, 2013)

Figura 10

Procedimiento completo del ensayo de peso específico y absorción de agregados finos

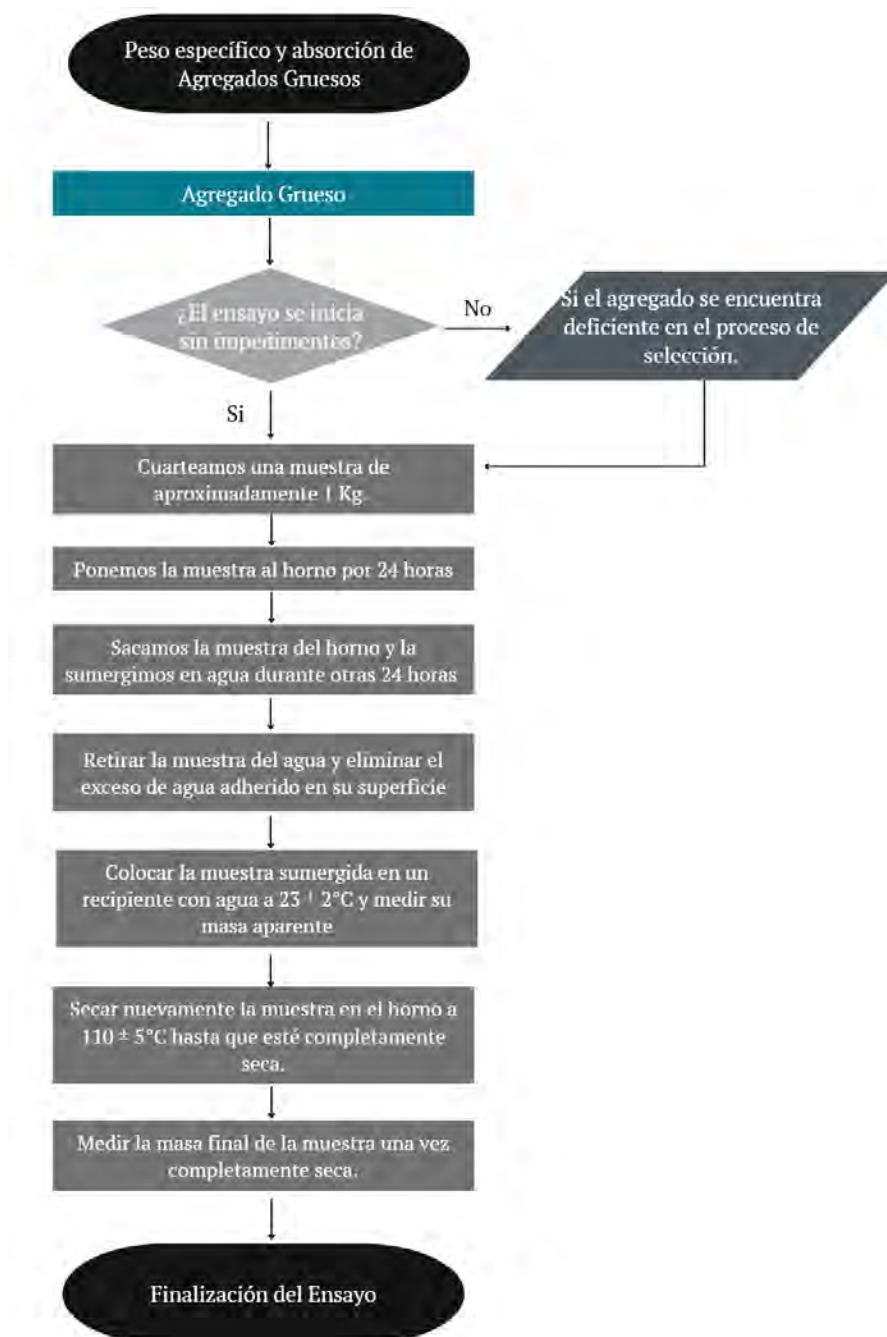


4.6.1.6 Peso específico y absorción de Agregados Gruesos

Según recomendaciones de la NTP 400.021 (INACAL, 2013)

Figura 11

Procedimiento completo del ensayo de peso específico y absorción de agregados gruesos



4.6.1.7 Contenido de humedad de los Agregados

Según recomendaciones de la NTP 339.185 (INACAL, 2002).

4.6.2 Diseño y fabricación de briquetas

4.6.2.1 Diseño de mezclas

Para el cálculo de las dosificaciones y uso correcto de los materiales.

Tabla 4

Pasos para un correcto diseño de mezclas ACI 211.1 (2019)

Pasos	Descripción según norma ACI 211.1
1	Determinar la resistencia requerida
2	Determinar el contenido de aire
3	Determinar el contenido de agua
4	Determinar la relación (a/c)
5	Determinar el contenido de cemento
6	Determinar el peso de agregado grueso
7	Determinar el volumen absoluto
8	Determinar el volumen y peso de a. Fino
9	Proporcionamiento del diseño en estado seco
10	Corrección por humedad de los agregados
11	Determinar el aporte de agua
12	Determinar el agua efectiva
13	Proporcionamiento de diseño para m ³

Se trabajo inicialmente con probetas de concreto, para comprobar los diseños de resistencia especificados en (f'_c de 210 kg/cm²), para esta labor se consideró el siguiente modelo y dimensiones reglamentados.

Figura 12

Modelo de probeta para ensayos a compresión (Aceros Arequipa, 2025)



Dimensiones:		
Diametro	10	cm
Alto	20	cm
Radio	5	cm
Volumen	1570.796	cm ³
	0.001571	m³

Figura 13

Imagen referencial del modelo de probeta real usado



4.6.3 Diseño y fabricación de vigas de concreto armado

4.6.3.1 Procedimiento en base a normativa

Para iniciar con el diseño de vigas de concreto armado, debemos guiarnos de la normativa nacional: NTP 339.183 (INACAL, 2013) que nos da alcances respecto a la “Elaboración y curado de especímenes de concreto”.

Para proceder con el ensayo de los especímenes, se debe tener en cuenta la manera correcta de elaboración, cuidado y curado de los mismos.

Datos preliminares:

a) Preparación de las muestras:

- Temperatura Ambiente: 20 °C a 30 °C.

- Cemento: Deberá pasar el tamiz N° 20.
- Agregados: Por lo general deberán tener una condición “Saturada Superficialmente Seca”.

b) Procedimiento:

- Mezclado: En tandas que permitan un 10% de exceso después del moldeado de los especímenes de prueba.

Para la presente investigación:

- Dimensiones $\rightarrow 15 \times 20 \times 120 \text{ cm}$
- Volumen $\rightarrow 0.036 \text{ m}^3$
- Cantidad de mezclado por tanda $\rightarrow 0.0396 \text{ m}^3$
- Cuando el concreto no esté siendo remezclado o muestreado, cubrirlo para prevenir la evaporación.
- Asentamiento: Inmediatamente después de mezclarlo.
- Contenido de Aire: En base a la Normativa NTP 339.083.
- Temperatura: En base a la Normativa NTP 339.184 y teniendo en cuenta la utilización del dispositivo (Termómetro Digital)

c) Elaboración de muestras:

Consideraciones específicas que aclara la normativa:

- Lugar $\rightarrow$ Moldear donde estarán las próximas 24 horas siguientes.
- Vibración $\rightarrow$ Para realizar la consolidación simplemente.
 - Ojo: Una sobre vibración puede causar segregación.

- Generalmente se vibra (Por capa) 5 s por cada intersección para concretos con un asentamiento mayor a 75 mm. Para asentamientos menores se pueden dar 10 s de vibración.
- Evitar que el vibrador toque el fondo del molde.

4.6.3.2 Cálculos de resistencia esperada

Los cálculos de resistencias preliminares se efectuaron con la finalidad de respetar las necesidades de la máquina universal y referenciando la normativa nacional NTP 339.079 (INACAL, 2012).

En la presente investigación se utilizó la fórmula general de “Momento nominal resistente” que nos brinda resultados en base a la resistencia de fluencia del acero, área de refuerzo en tracción, la altura efectiva de la viga y la profundidad del bloque a compresión. Este diseño virtual constituye una herramienta fundamental para la planificación, el análisis y la validación previa del comportamiento esperado de la viga.

1. CUALIDADES DE LA VIGA DE CONCRETO ARMADO PARA LA INVESTIGACIÓN

1.1. Dimensionamiento:

· <i>Altura</i>	· <i>Base</i>	· <i>Longitud Total</i>
$h := 20 \text{ cm}$	$b := 15 \text{ cm}$	$L_t := 120 \text{ cm}$

1.2. Concreto:

· <i>Resistencia a compresión</i>	· <i>Recubrimiento</i>
$f'_c := 210 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$	$r := 4 \text{ cm}$

1. Acero:

· <i>Diámetro nominal 3/8"</i>	· <i>Cuantía</i>	· <i>Área nominal</i>
$D_n := 0.95 \text{ cm}$	$q := 0.24 \%$	$A_s := \pi \cdot \left(\frac{D_n}{2} \right)^2 = 0.7088 \text{ cm}^2$
· <i>Límite de fluencia</i>	· <i>Cantidad</i>	
$f_y := 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$	$n := 1$	

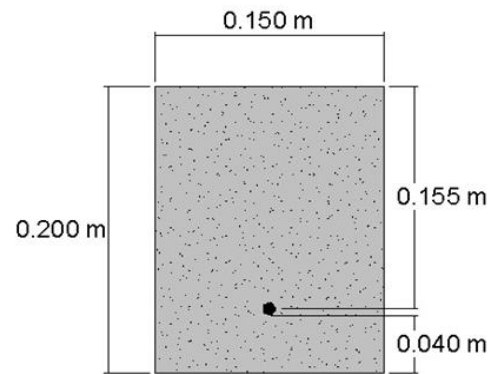
2. CÁLCULOS DE RESISTENCIA

2.1. Fórmula General:

· Momento nominal resistente

$$M_n := A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

Donde: M_n =Momento nominal resistente
 A_s =Área de refuerzo en tracción
 f_y =Resistencia a fluencia del acero
 d =Altura efectiva de la viga
 a =Profundidad del bloque a compresión



2.2. Cálculo de la altura efectiva "d":

$$d := h - r - \frac{D_n}{2} = 15.525 \text{ cm}$$

2.3. Cálculo de profundidad de bloque a compresión "a"

$$a := \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f'_c \cdot b} = 1.1119 \text{ cm}$$

Donde: El factor 0.85 se usa una aproximación rectangular, conocida como el bloque de Whitney.

2.4. Brazo de palanca efectivo:

$$B_e := d - \frac{a}{2} = 14.9691 \text{ cm}$$

$$\text{tonnef} = 1000 \text{ kgf}$$

$$\text{kgf} = 9.8066 \text{ N}$$

2.5. Momento nominal resistente "Mn"

$$M_n := A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = 44563.67 \text{ kgf cm}$$

$$M_n = 4.3702 \text{ kN m}$$

$$M_n = 0.4456 \text{ tonnef m}$$

2.6. Resistencia de diseño "Rd"

$$R_d := M_n = 0.4456 \text{ tonnef m}$$

4.6.3.3 Consideraciones en la etapa de diseño

Para esta etapa, previa al trabajo en campo bajo consideraciones de la normativa nacional NTP 339.183 (INACAL, 2013) diseñemos las cualidades de la viga a experimentar valiéndonos del software “Autodesk – Revit”.

Mismo que nos permite visualizar de manera real las cualidades del encofrado y de la viga propiamente, previa a su elaboración. Gracias a la capacidad de Revit para integrar parámetros estructurales, materiales y normativas locales, se logra una simulación con un grado de precisión del 100%.

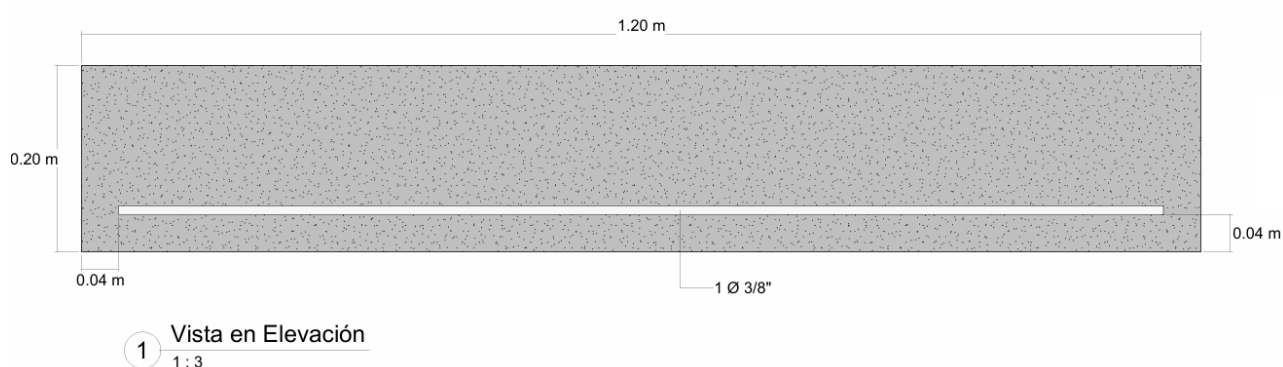
4.6.3.3.1 Generación de modelados.

En los alcances presentados se distinguen 3 campos de visión exclusivos, que generan una visibilidad real de las vigas previas a su concepción:

- a) Vista en elevación.

Figura 14

Vista en elevación, diseño preliminar viga de concreto



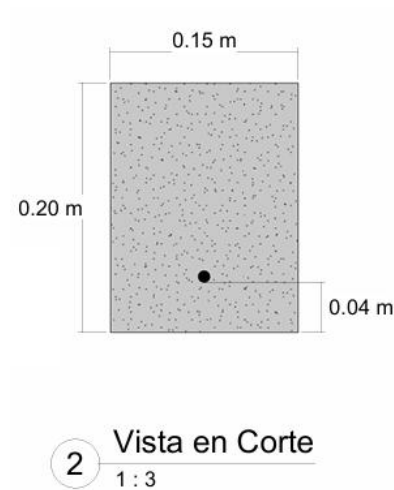
Esta vista nos permite observar de manera detallada.

- Longitud total de la viga y el acero de refuerzo.
- Recubrimientos laterales.

b) Vista en corte.

Figura 15

Vista en corte, diseño preliminar viga de concreto



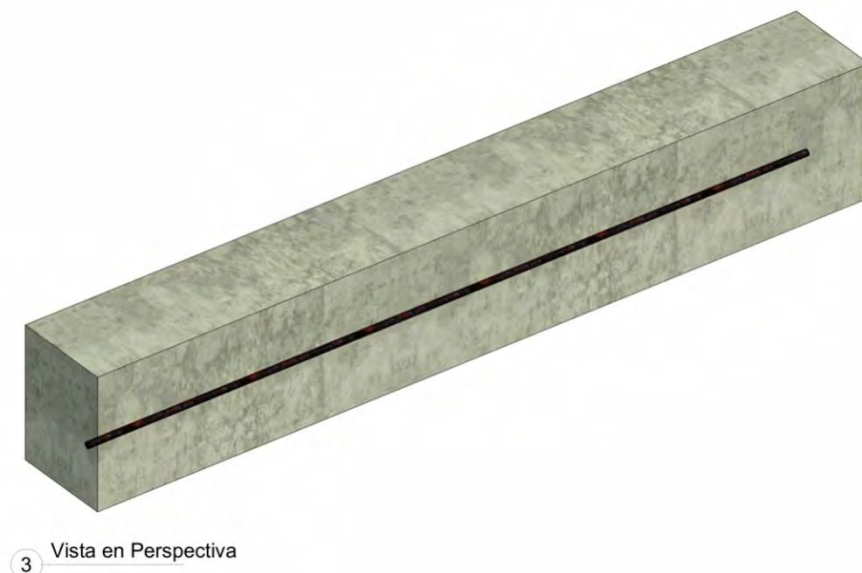
Esta vista nos permite observar de manera detallada:

- Dimensiones totales de base y altura de la viga.
- Posicionamiento del acero de refuerzo.
- Recubrimientos de la base.

c) Vista en perspectiva.

Figura 16

Vista en perspectiva, diseño preliminar viga de concreto



4.6.3.3.2 Modelado de encofrados

En esta etapa se realizó el modelado de los encofrados en el software “Revit” para tener un grado de precisión más óptimo al momento de la fabricación, teniendo las 3 consideraciones de visualización presentado anteriormente:

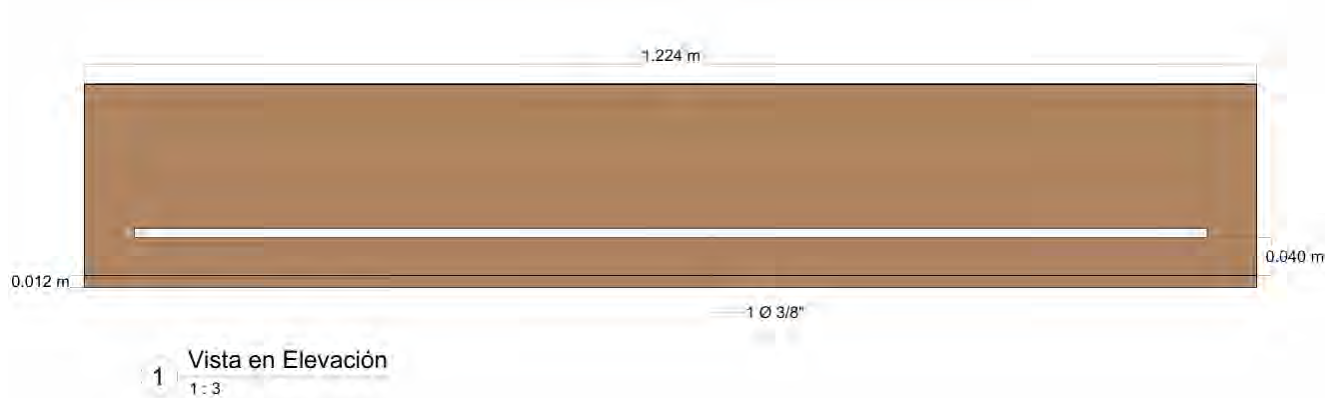
Adicionalmente:

$$\text{Espesor del encofrado} = 1.2 \text{ cm}$$

a) Vista en elevación.

Figura 17

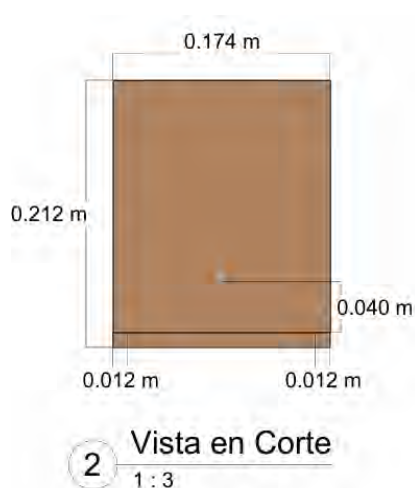
Vista en elevación, diseño preliminar de encofrado



b) Vista en corte.

Figura 18

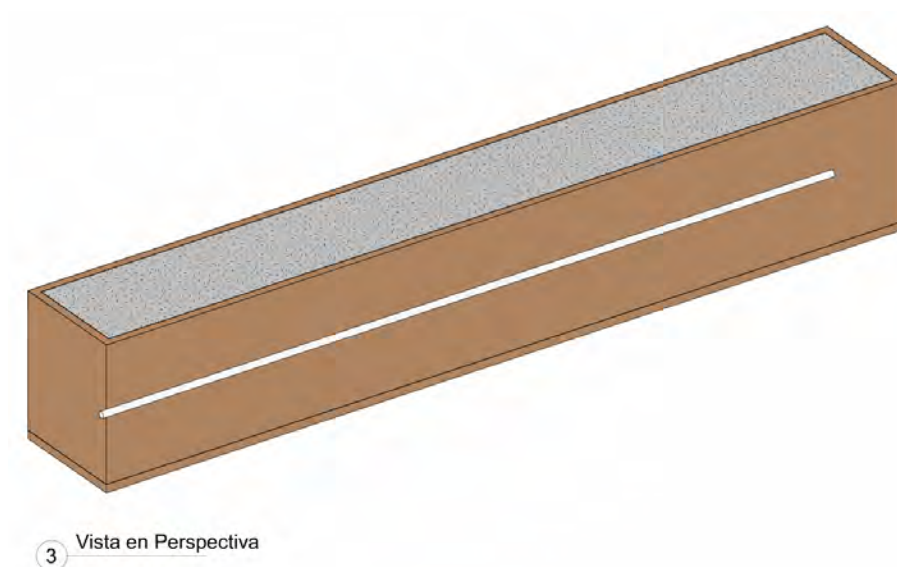
Vista en corte, diseño preliminar de encofrado



c) Vista en perspectiva.

Figura 19

Vista en perspectiva, diseño preliminar de encofrado



4.6.3.3.3 Fabricación de encofrados

Para la fabricación de los encofrados se optó por su obtención a base de triplay fenólico de espesor (1.2 cm) teniendo en consideración las aclaraciones de la normativa nacional NTP 339.183 (INACAL, 2013) con referencia a la construcción de encofrados y Norma E.060 (MVCS, 2009):

- Los elementos a considerar dentro del encofrado deberán estar hechos de acero u otro material no absorbente.
- El interior de los moldes deberá estar libres de hendiduras.
- Los ángulos de los costados y fondo deben ser recto.
- La diferencia máxima permitida en la dimensión nominal de la sección transversal no debe ser mayor a 3 mm. Para la presente investigación:

Altura $H = 20 \text{ cm}$

Rango de valores según normativa:

$$H = 19.7 \text{ cm (197 mm)} - 20.3 \text{ cm (203 mm)}$$

Base $b = 15 \text{ cm}$

Rango de valores según normativa:

$$H = 14.7 \text{ cm (147 mm)} - 15.3 \text{ cm (153 mm)}$$

a) Medición del fenólico en base al pre dimensionamiento.

Figura 20

Fabricación de encofrados – Paso 1



b) Seccionamiento y cortado del material.

Figura 21

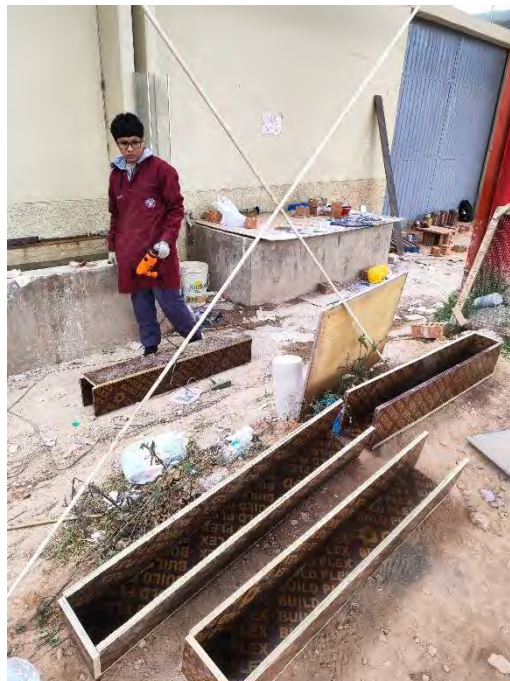
Fabricación de encofrados – Paso 2



c) Perforación y colocación de fijadores.

Figura 22*Fabricación de encofrados – Paso 3*

d) Organización y almacenaje.

Figura 23*Fabricación de encofrados – Paso 4*

4.6.3.4 Consideraciones en la etapa de colado

En esta etapa se recopila todo el proceso de elaboración de vigas de concreto armado, considerando las concepciones como el pesaje de material con el porcentaje adicional estipulado, el posicionamiento del acero de refuerzo y demás.

4.6.3.4.1 Posicionamiento y colocación del acero de refuerzo

Partimos desde las consideraciones precedentes, que indican los dimensionamientos para el recubrimiento y tener en cuentas los factores controlables de la investigación.

Por ello, la Norma E.060 (MVCS, 2009) nos indica que:

“El recubrimiento para Concreto no preesforzado construido en sitio: Expuesto a la intemperie o en contacto con el suelo: Barras de 5/8” y menores → 40 mm” (Pg. 149)

Además, para el posicionamiento correcto del acero de refuerzo y realizar la medición de recubrimiento para todos los ángulos y lados correspondientes se realizaron “Elementos de soporte o burrito estructurales”. Diseñados para mantener el acero a la altura correcta dentro del concreto cumpliendo con su función principal la cual es garantizar el recubrimiento adecuado del acero.

- a) Ubicación del acero de refuerzo

Figura 24

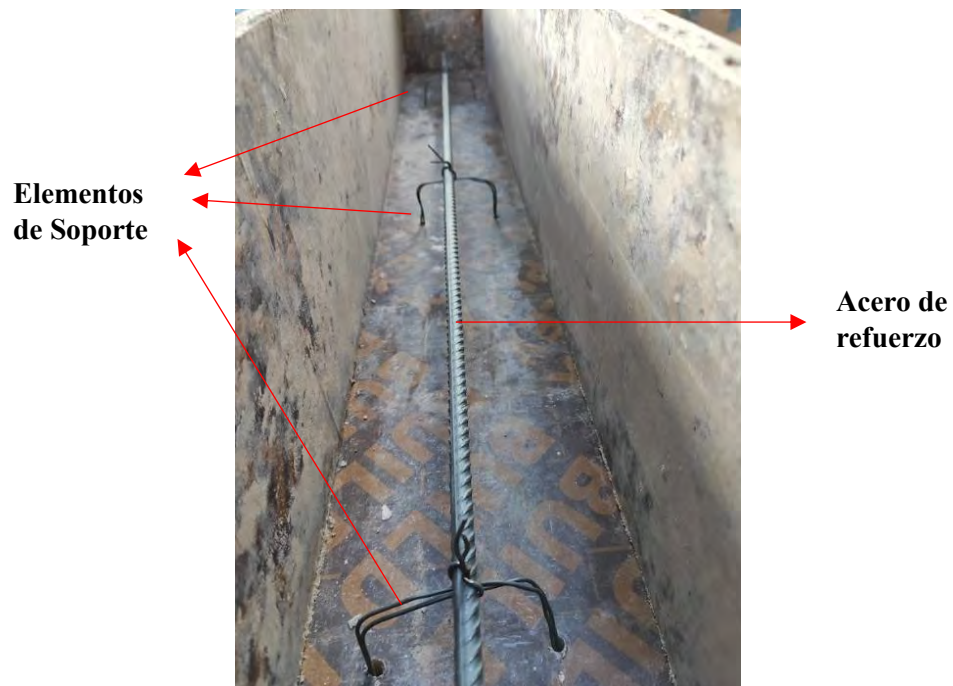
Colocación de acero de refuerzo, vista superior



b) Designación de elementos

Figura 25

Colocación de acero de refuerzo, vista transversal



c) Mediciones y posicionamiento

Figura 26

Posicionamiento del acero de refuerzo



4.6.3.4.2 Mezclado de materiales

Para el mezclado de los materiales es necesaria la dosificación y rememorar el diseño de mezclas para la presente investigación y con la finalidad de generar un modelo controlado de principio a fin.

a) Dosificación y pesado de materiales

En el diseño de mezclas se cuenta con la correspondencia de diseño para una viga de concreto armado con las dimensiones:

- *Altura* = $H = 20\text{ cm}$
- *Base* = $b = 15\text{ cm}$
- *Largo* = $L = 120\text{ cm}$

Por ende, tiene el siguiente proporcionamiento.

Tabla 5

Proporcionamiento de materiales para 1 viga

Material	Unidad	Cantidad	m3
Cemento	kg	16.66	0.005
Agregado fino	kg	33.73	0.013
Agregado grueso	kg	46.6	0.018
Agua efectiva	L	9.433	0.009

Para el pesado de los materiales se utilizó una balanza con el grado de precisión estipulado por la normativa nacional NTP 339.183 (INACAL, 2013).

Figura 27

Pesaje y dosificación de materiales



b) Mezclado y vibrado del concreto

Para el mezclado de materiales, en busca de un concreto que cumpla las condiciones de diseño, utilizamos la Mezcladora de Concreto proporcionada por el laboratorio de nuestra facultad.

Figura 28

Máquina mezcladora utilizada en la investigación



Donde la NTP 339.183 (INACAL, 2013) nos especifica que:

“La mezcladora de concreto tipo trompo debe operar a una velocidad de entre 14 y 20 revoluciones por minuto, y el concreto debe mezclarse durante al menos 1.5 minutos después de que todos los materiales estén en el tambor.” (Pg. 9)

Figura 29

Vibrado de mezcla de materiales – Día 1



Donde la NTP 339.183 (INACAL, 2013) nos especifica que:

“Al compactar el espécimen no se deberá permitir que el vibrador toque el fondo o los lados del molde o golpee elementos embebidos tales como medidores de deformación en el caso de especímenes para escurrimiento plástico.” (Pg. 20)

El desarrollo y realización de vigas se dio de igual manera en todos los especímenes, cumpliendo con los requerimientos en base a normativa y salvaguardando nuestra integridad al usar los elementos de protección.

Figura 30

Vigas de concreto almacenadas en laboratorio



Figura 31

Vibrado de mezcla de materiales – Día Final



Los miramientos a tomar en cuenta son los cuidados que se tuvo en el proceso de generación de vigas de concreto armado, desde la etapa de pesado de materiales hasta el proceso final del acabo superficial.

4.6.3.5 Consideraciones en la etapa de curado

Una vez finalizado el proceso de colado y enrazado de las vigas de concreto armado, se inicia la etapa de curado, la cual es fundamental para garantizar el desarrollo adecuado de las propiedades mecánicas del concreto. Esta fase busca mantener condiciones óptimas de humedad y temperatura que favorezcan la hidratación del cemento, evitando la pérdida prematura de agua y la aparición de fisuras superficiales.

El curado debe iniciarse inmediatamente después del fraguado inicial, siguiendo las recomendaciones establecidas por la NTP 339.183 (INACAL, 2013) que indica:

- a) Desmoldado → Debe tener las indicaciones siguientes:
 - Desmoldar el espécimen, después de $24\text{ h} \pm 8\text{ h}$ después del vaciado.
- b) Almacenamiento Inicial → Debe tener las indicaciones siguientes:
 - Envolver una vez finalizado el moldeado, con un material no absorbente e impermeable.
 - Usar cartón para proteger el molde en todas las direcciones.
 - Usar Yute mojado para cubrir todo (Envolver).
- c) Ambiente de Curado → Debe tener las indicaciones siguientes:

Durante esta etapa, se debe controlar que no haya exposición directa al sol, viento fuerte o temperaturas extremas, ya que estos factores pueden acelerar el secado superficial y comprometer la resistencia final del elemento estructural.

Asimismo, se debe evitar cualquier tipo de carga o esfuerzo sobre las vigas hasta que el concreto haya alcanzado una resistencia suficiente, según lo especificado en el programa de obra.

- Prueba Patrón: Curado Tradicional

- a) Es crucial que las superficies no se sequen desde el momento en que se retiran del curado hasta que la prueba se haya completado. “Esto evita la pérdida de humedad, que podría afectar la precisión de los resultados y la resistencia real del material”.

Para la presente investigación, el proceso de curado del concreto se llevó a cabo utilizando un método combinado que incluyó el uso de dos capas de yute superpuestas sobre la superficie de las vigas desmoldadas a $24 \text{ h} \pm 8 \text{ h}$ después del vaciado, complementado con un riego paulatino en tres turnos diarios: mañana, tarde y noche.

Esta técnica nos permitió mantener una humedad constante sobre el concreto durante los primeros días y completando los 28 días de fraguado, favoreciendo la hidratación del cemento y evitando la evaporación prematura del agua de mezcla.

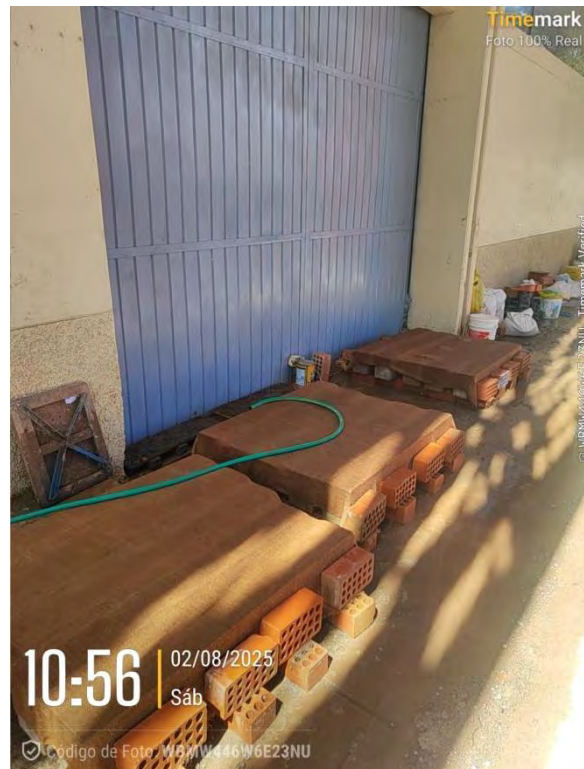
Figura 32

Elementos para el curado in situ – yute industrial



Figura 33

Primera semana de curado – Riego de día y tarde

**Figura 34**

Primera semana de curado – Riego de noche



Figura 35

Segunda semana de curado – Riego de día y tarde

**Figura 36**

Segunda semana de curado – Riego de noche



Figura 37*Tercera semana de curado – Riego de día y noche***Figura 38***Tercera semana de curado – Riego de noche*

Figura 39

Cuarta semana de curado – Riego de día y noche

**Figura 40**

Cuarta semana de curado – Riego de noche

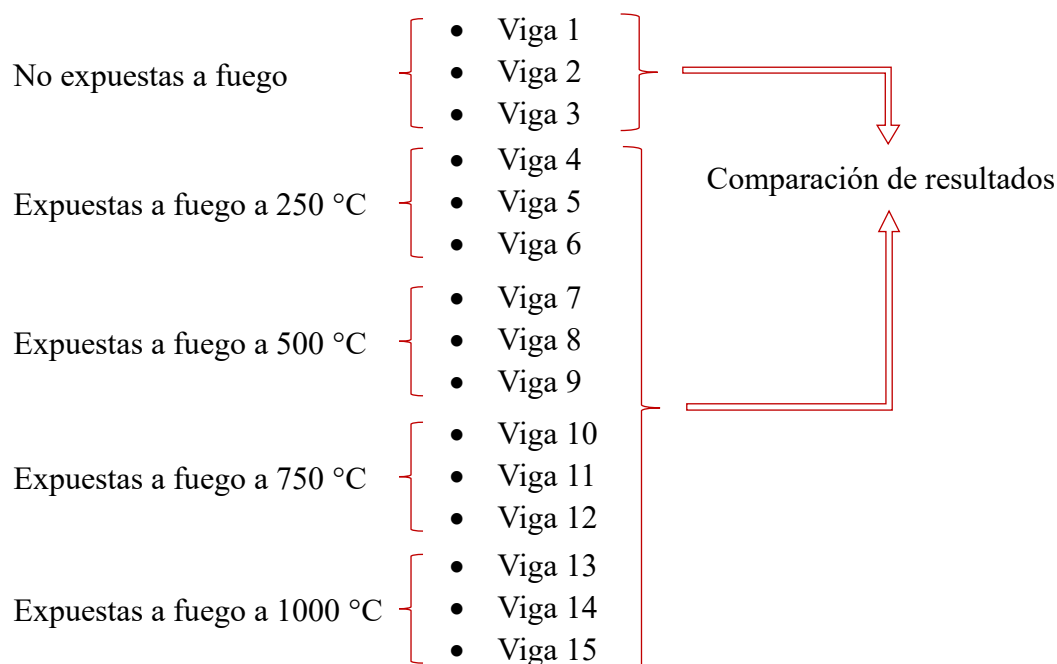


4.6.4 Exposición a fuego controlado

En el siguiente esquema se representa la distribución de los grupos de vigas según el nivel de temperatura al que fueron sometidas.

Figura 41

Esquema de exposición de las vigas en el horno



El ensayo consistió en la exposición controlada de los 15 especímenes a diferentes niveles térmicos de 250 °C, 500 °C, 750 °C y 1000 °C, alcanzados progresivamente en los hornos industriales.

Así mismo, se representa como se realizó el proceso comparativo de resultados entre las vigas expuestas y las no expuestas para analizar la reducción de la resistencia a flexión y la variación en la deflexión máxima en función del incremento de la temperatura. El proceso de exposición al fuego de las vigas de concreto armado se realizó en los hornos industriales de la empresa LATESA, dedicada a la fabricación de ladrillos. Este horno industrial es del tipo túnel y cuenta con 6 bocas de fuego en la parte frontal, estas sirven para introducir las leñas que sirven de combustible.

Figura 42

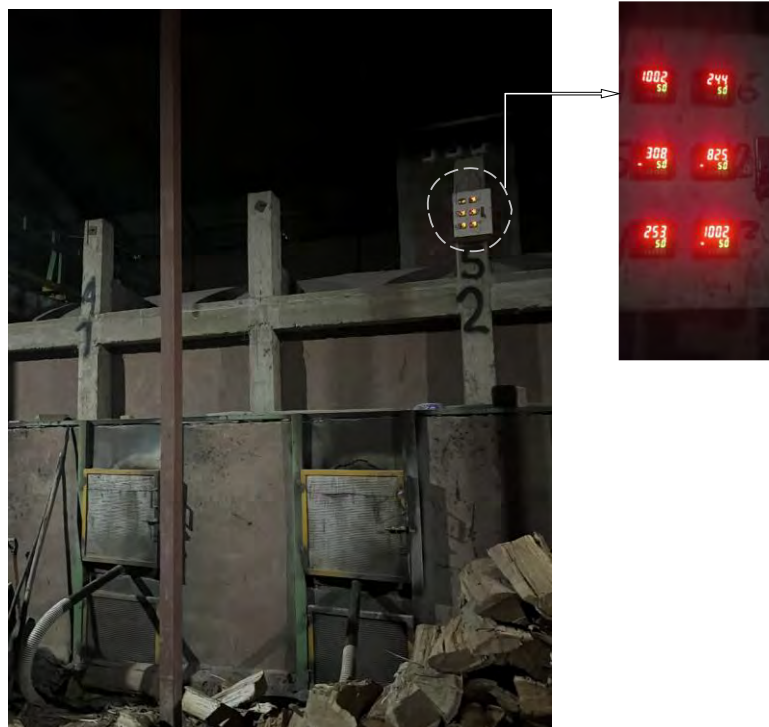
Horno industrial para la fabricar ladrillos de la empresa LATESA



Estos hornos están diseñados para alcanzar temperaturas por encima de los 1000 °C, estas temperaturas son captadas por las 6 termocuplas instaladas en zonas estratégicas en el interior del horno para asegurar que la temperatura sea distribuida uniformemente en todo el horno industrial, luego estas mediciones son registradas en tiempo real en un panel de control electrónico.

Figura 43

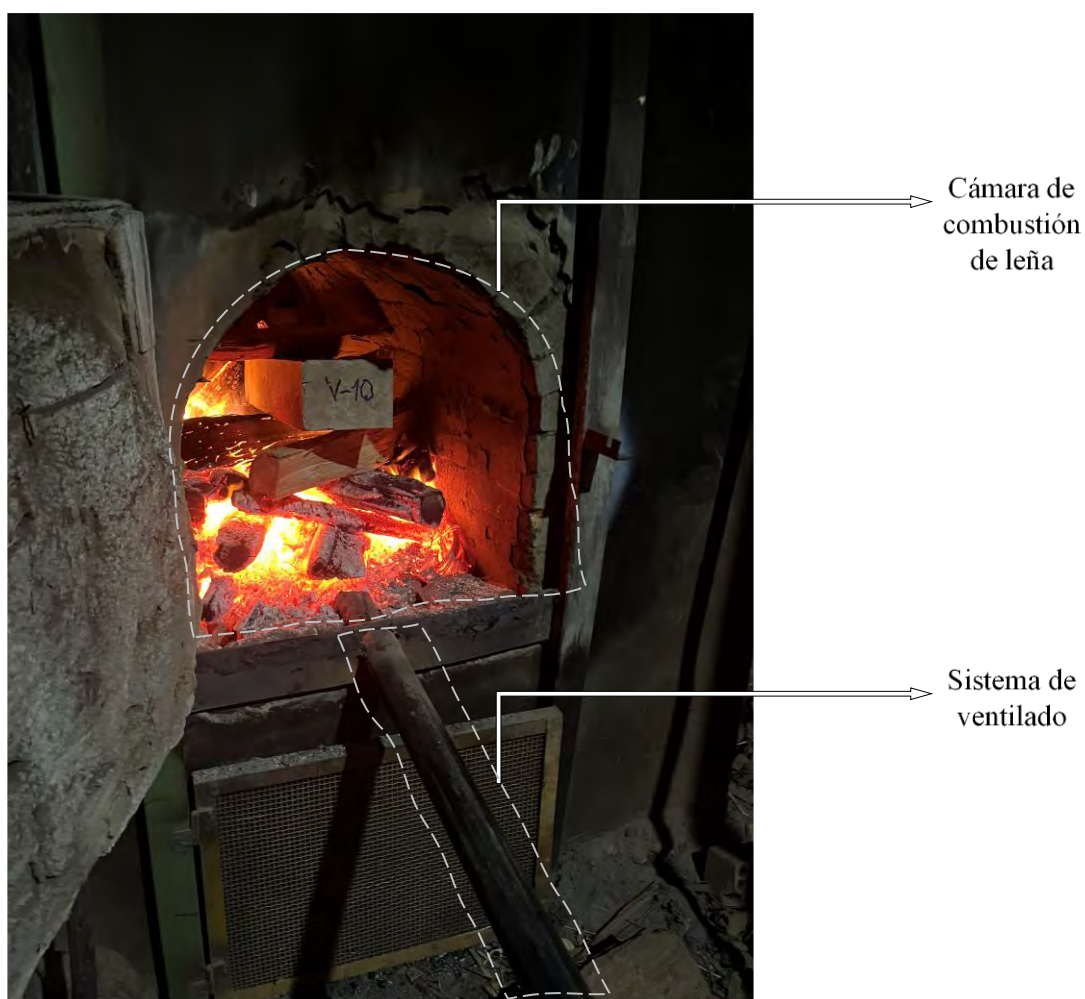
Panel electrónico para control de temperaturas



El incremento de temperatura durante el proceso de quemado de las vigas de concreto fue regulado mediante la combustión controlada de leña y un sistema de ventilación acoplado a las compuertas de alimentación de combustible. Este sistema permite avivar la llama, intensificar el flujo de aire y ajustar la potencia térmica del horno en cada etapa del calentamiento. De esta forma fue posible reproducir un régimen térmico progresivo y controlado, similar a las condiciones de un incendio de alta severidad, garantizando una distribución uniforme del calor tanto en las cámaras de combustión como en el interior del vagón de carga, que son los lugares donde se ubicaron las vigas ensayadas.

Figura 44

Horno industrial para la fabricación de ladrillos de la empresa LATESA



Las vigas comprendidas desde la Viga N°4 hasta la Viga N°12 fueron expuestas al fuego directo en las cámaras de alimentación de leña. Para el control de la temperatura de este grupo de vigas emplearon pirómetros infrarrojos digitales, calibrados previamente, los cuales permitieron registrar en tiempo real las temperaturas de las vigas durante todo el proceso de quemado.

Cada grupo de los diferentes niveles de temperatura fue introducido secuencialmente en los hornos, manteniendo la exposición hasta alcanzar la temperatura objetivo, la cual se verificó mediante lecturas periódicas del pirómetro.

Una vez alcanzada la temperatura deseada, las vigas permanecieron en el horno durante el tiempo suficiente para garantizar una distribución térmica uniforme en toda su sección. Posteriormente, fueron retiradas y se dejaron enfriar de manera natural durante 48 horas, antes de ser sometidas a los ensayos de flexión correspondientes.

A continuación, se muestra el registro de quemado de este primer bloque de vigas.

Tabla 6

Registro de quemado del primer bloque de vigas

Viga	Temperatura (°C)	Tiempo de exposición en el fuego a la temperatura esperada	Temperatura promedio °C	Temperatura máxima °C
V4	250	1 horas 30 min	257	273
V5		1 horas 30 min	254	256
V6		1 horas 30 min	251	254
V7	500	2 horas 00 min	508	524
V8		2 horas 00 min	505	536
V9		2 horas 00 min	502	536
V10	750	2 horas 30 min	759	777
V11		2 horas 30 min	753	768
V12		2 horas 30 min	757	782

Por otro lado, las vigas comprendidas desde la Viga N°13 hasta la Viga N°15 fueron sometidas a un proceso de quemado que se realizó en el interior del vagón de carga junto con los ladrillos, que también fueron sometidos al proceso de quemado.

Figura 45

Colocación de las vigas N°13, 14 y 15 en el vagón de carga para ser quemadas



A diferencia del grupo anterior, las temperaturas en las vigas fueron monitoreadas mediante termocuplas ubicadas en las zonas específicas dentro del vagón de carga, donde se colocaron las vigas. Estas termocuplas permitieron medir con precisión las temperaturas internas de las vigas en tiempo real, asegurando que alcanzaran los 1000°C durante el proceso.

Figura 46

Temperatura máxima registrada en la zona de ubicación de las vigas N°13, 14 y 15 en el proceso de quemado



Una vez que las termocuplas registraron que las vigas habían alcanzado la temperatura deseada, las vigas permanecieron en el horno durante el tiempo necesario para garantizar una distribución térmica uniforme en toda su sección.

A continuación, se muestra el registro de quemado de este segundo bloque de vigas.

Tabla 7

Registro de quemado del segundo bloque de vigas

Viga	Temperatura (°C)	Tiempo de exposición en el fuego	Temperatura promedio °C	Temperatura máxima °C
V13	1000	6 horas 00 min	1002	1010
V14		6 horas 00 min	1002	1010
V15		6 horas 00 min	1002	1010

Tras completar el proceso de exposición al fuego y llegar a las temperaturas esperadas, las vigas fueron retiradas del horno y se colocaron sobre carretillas de superficie plana para que se enfríen a temperatura ambiente. Estas se dejaron enfriar de manera natural durante 24 horas antes de ser sometidas a los ensayos de flexión correspondientes.

Figura 47

Viga extraída del horno para enfriar a temperatura ambiente



4.6.4.1 Exposición de vigas a 250 °C

Figura 48

Control y registro de la temperatura de las vigas con pirómetro infrarrojo (250°C)

VIGA N°04



VIGA N°05



VIGA N°06



Figura 49

Control y registro de la temperatura de las vigas con pirómetro infrarrojo (500°C)

VIGA N°07**VIGA N°08****VIGA N°09****Figura 50**

Control y registro de la temperatura de las vigas con pirómetro infrarrojo (750°C)

VIGA N°10**VIGA N°11****VIGA N°12**

Figura 51

Control y registro de la temperatura de las vigas mediante termocuplas y paneles electrónicos (1000°C)



4.6.5 Ensayos a flexión de vigas de concreto armado

El ensayo de flexión de las vigas de concreto armado se realizó bajo la adaptación del procedimiento establecido en la Norma Técnica Peruana NTP 339.078:2012 “Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo.”

Para lo cual se empleó una máquina de ensayo conforme a ASTM E4 capaz de aplicar carga continua y sin impactos. En este caso se empleó la Máquina Universal de Ensayos “INSTRON 600DX”, el cual cuenta con una capacidad de 600kN (135.000 lbf) y el software PartnerTM para el procesamiento de datos.

Figura 52

Máquina Universal utilizada en el ensayo a tracción por flexión de las vigas



Antes de ser colocadas en la máquina universal de ensayos, las vigas fueron marcadas en los puntos correspondientes a los apoyos, ubicados en las distancias de 15 cm y 105 cm de la cara más cercana al refuerzo longitudinal de acero. Asimismo, se marcaron los puntos de aplicación de las dos cargas, ubicados a 40 cm y 80 cm de la cara más alejada al refuerzo longitudinal de acero.

Figura 53

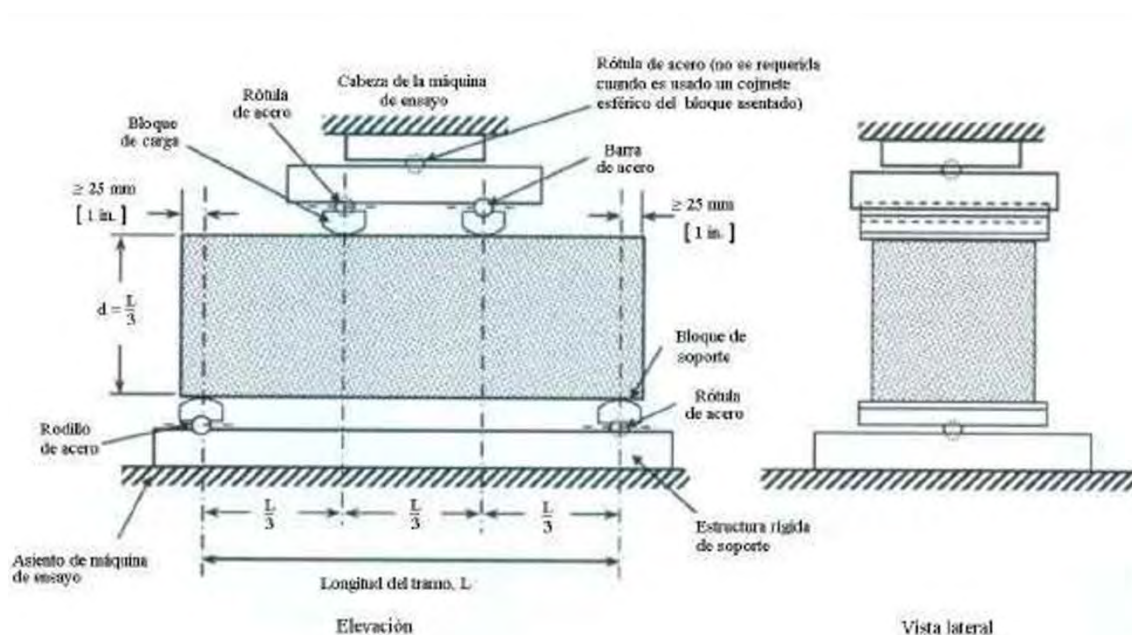
Marcado de los puntos de apoyo y carga de las vigas para el ensayo a tracción



Una vez marcas las vigas fueron colocadas con luz entre apoyos igual a 90 cm, y las placas de carga y apoyo se verificaron para asegurar contacto completo, como señala la normativa.

Figura 54

Máquina Universal utilizada en el ensayo a tracción por flexión de las vigas (NTP 339.078, 2012)



Seguidamente se aplicó una precarga del 3-6 % de la carga estimada para asegurar el asiento de los apoyos y verificar el alineamiento del sistema de carga.

Posteriormente, la norma NTP 339.078 establece que la aplicación de la carga debe efectuarse a una velocidad tal que genere en la fibra extrema un incremento de resistencia comprendida entre 0.9 y 1.2 MPa/min. No obstante, en el presente estudio se empleó una velocidad de ensayo de 0.5 MPa/min, debido a que dicha velocidad permitió registrar un mayor número de puntos de lectura en las etapas de fisuración, propagación de grietas y comportamiento no lineal, lo que mejora la precisión en la determinación de la deflexión máxima y de la resistencia a flexión experimental de las vigas de concreto armado

sometidas a diferentes niveles de temperatura. Es de esta forma como se registraron la carga y la deflexión central continuamente hasta la falla de cada una de las vigas.

Figura 55

Ensayo a tracción por flexión de vigas



4.6.5.1 Ensayos de vigas a temperatura ambiente

Al ensayar las vigas N°01, 02 y 03, las cuales no han sido sometidas a la acción directa del fuego, presentaron un patrón de falla típico de elementos de concreto armado sometidos a carga flexional. Durante el ensayo a cuatro puntos, se observó la formación de fisuras verticales en la zona de momento máximo correspondiente al tercio medio, iniciando como microfisuras en la fibra traccionada y propagándose progresivamente hacia arriba conforme aumentaba la carga. El modo de falla estuvo gobernado por la fluencia y posterior agotamiento del acero de refuerzo inferior, lo que permitió que la viga alcanzara una deformación significativa antes del colapso, caracterizándose como una falla dúctil por flexión.

Figura 56

Modo de falla dúctil – flexión pura de la viga N°01 ensayada sin exposición al fuego

**Figura 57**

Modo de falla dúctil – flexión pura de la viga N°02 ensayada sin exposición al fuego

**Figura 58**

Modo de falla dúctil – flexión pura de la viga N°03 ensayada sin exposición al fuego



4.6.5.2 Ensayos de vigas a 250 °C

En el caso de las vigas expuestas a temperaturas de 250 °C, las vigas N°04 y N°05 fallaron por cortante, presentando una fisura principal inclinada que se originó cerca del apoyo y asciende hacia la parte superior; la viga N°04 registró una inclinación de 36°, mientras que en la viga N°05 el ángulo formó 35°. Por su parte, la viga N°06 presentó una falla dúctil, caracterizada por la aparición de fisuras verticales en la zona de mayor momento, iniciándose en la parte inferior y evolucionando conforme aumentaba la carga.

Figura 59

Modo de falla por cortante de la viga N°04 expuesta a 250 °C



Figura 60

Modo de falla por cortante de la viga N°05 expuesta a 250 °C

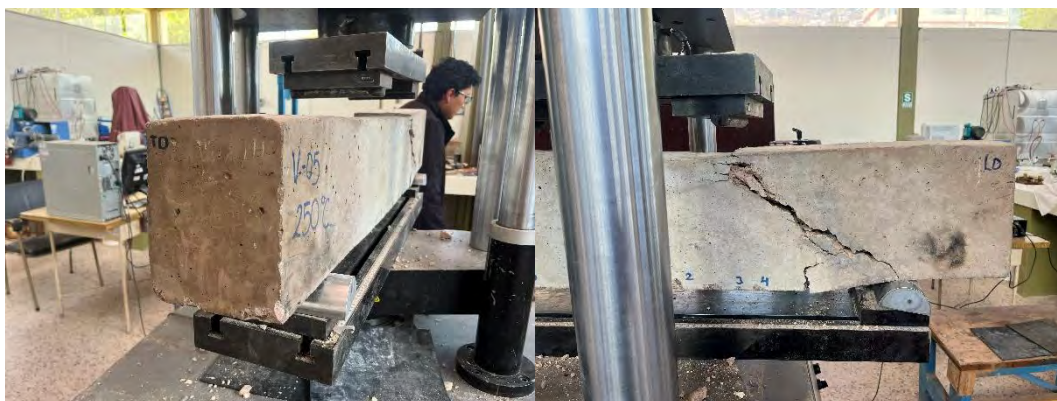


Figura 61

Modo de falla dúctil – flexión pura de la viga N°06 expuesta a 250 °C



4.6.5.3 Ensayos de vigas a 500 °C

Para las vigas expuestas a temperaturas cercanas a 500 °C, se observó que todas desarrollaron un modo de falla por cortante durante el ensayo a tracción por flexión. La fisura principal se inició en la zona inferior próxima al apoyo y se propagó de manera inclinada hacia la parte superior de la sección, manifestándose con una inclinación característica de este tipo de falla. Este comportamiento estuvo influenciado por el deterioro térmico más marcado respecto al grupo expuesto a 250 °C, particularmente por la microfisuración interna, la pérdida de cohesión pasta-árido y la reducción de la resistencia mecánica del concreto asociado a este rango térmico. Como resultado, las vigas mostraron una disminución en su capacidad para resistir esfuerzos cortantes, lo que condujo a que el colapso ocurriera antes de alcanzar una condición de flexión dominante. La viga N°07 desarrolló una fisura principal inclinada con un ángulo aproximado de 39°; de manera similar, la viga N°08 presentó una fisura con una inclinación de 35°, mientras que en la viga N°09 la fisura alcanzó un ángulo de 33°.

Figura 62

Modo de falla por cortante de la viga N°07 expuesta a 500 °C

**Figura 63**

Modo de falla por cortante de la viga N°08 expuesta a 500 °C

**Figura 64**

Modo de falla por cortante de la viga N°09 expuesta a 500 °C



4.6.5.4 Ensayos de vigas a 750 °C

En el grupo de vigas expuestas a temperaturas cercanas a 750 °C, se identificaron patrones de falla que reflejan un deterioro térmico considerablemente mayor en comparación con los grupos anteriores. Durante el ensayo a flexión, las vigas N°10 y N°11 desarrollaron un mecanismo de falla por cortante, evidenciado por la formación de una fisura inclinada de gran apertura en ambas vigas, esta fisura se inició en la zona traccionada próxima al apoyo y se propagó hacia la parte superior del elemento. La pronunciada inclinación y extensión de estas fisuras es consistente con un concreto que ha experimentado pérdida de cohesión interna, microfisuración generalizada y disminución significativa de su capacidad resistente debido al nivel térmico alcanzado. La viga N°10 presentó una fisura principal inclinada de 38°; mientras que en la viga N°11, el ángulo producido por la fisura fue de 32°. Por otro lado, la viga N°12 presentó un comportamiento distinto dentro del mismo grupo térmico, manifestando una falla dúctil gobernada por flexión. Durante la aplicación de carga, se observaron fisuras predominantemente verticales en la región central de la luz entre apoyos, las cuales se desarrollaron progresivamente desde la fibra inferior hasta alcanzar alturas mayores conforme aumentaba la carga aplicada.

Figura 65

Modo de falla por cortante de la viga N°10 expuesta a 750 °C



Figura 66

Modo de falla por cortante de la viga N°11 expuesta a 750 °C

**Figura 67**

Modo de falla dúctil – flexión pura de la viga N°12 expuesta a 750 °C



4.6.5.5 Ensayos de vigas a 1000 °C

Las vigas N°13, N°14 y N°15, expuestas a temperaturas próximas a 1000 °C, presentaron todos un mecanismo de falla por cortante. En cada ensayo se desarrolló una fisura principal inclinada que se originó en la zona traccionada próxima al apoyo y se propagó en dirección ascendente hacia la parte superior de la sección, formando un patrón característico de interacción entre momento flector y cortante. Las grietas mostraron amplia apertura. Este comportamiento indica que, en este nivel térmico, la disminución de la rigidez y la integridad superficial del concreto favoreció la activación del cortante

antes de que se alcanzara un colapso dominado exclusivamente por flexión. La viga N°13 desarrolló una fisura principal con una inclinación aproximada de 30° . De manera similar, la viga N°14 presentó una fisura dominante con un ángulo cercano a 29° . Por su parte, la viga N°15 presentó una fisura principal localizada en el lado izquierdo, con una inclinación aproximada de 32° respecto a la horizontal.

Figura 68

Modo de falla por cortante de la viga N°13 expuesta a 1000°C



Figura 69

Modo de falla por cortante de la viga N°14 expuesta a 1000°C



Figura 70

Modo de falla por cortante de la viga N°15 expuesta a 1000 °C



En conjunto, los resultados obtenidos en los distintos grupos de vigas permiten identificar con claridad la influencia de la exposición térmica en el comportamiento estructural durante el ensayo a flexión. El patrón de fallas registrado evidencia que el daño inducido por el fuego actúa principalmente sobre el concreto, afectando su cohesión interna, su rigidez y su capacidad para resistir esfuerzos combinados de flexión y cortante. Asimismo, se observó que incluso bajo un mismo nivel de temperatura las vigas pueden presentar variaciones en su modo de colapso, lo cual responde a la heterogeneidad inherente del concreto y a la variabilidad propia del deterioro térmico acumulado. Este fenómeno confirma que la degradación térmica modifica la redistribución interna de esfuerzos y condiciona la respuesta estructural durante la aplicación de carga. Finalmente, los ensayos permiten concluir que el concreto es el material más afectado por la acción del fuego, mientras que el refuerzo longitudinal experimenta un daño menor gracias al

recubrimiento que lo protege parcialmente del incremento térmico, manteniendo en mayor medida su capacidad resistente en comparación con el cemento.

4.6.6 Ensayos a tracción de aceros grado 60

Los ensayos a tracción del Acero ($\phi = 3/8"$) grado 60, se realizaron posterior a su extracción de las vigas de concreto armado sometidas a incrementos de temperatura por acción directa del fuego, las cuales fueron experimentadas a flexión.

4.6.6.1 Aceros a temperatura ambiente

El acero sin incrementos directos de temperatura ni sometimiento a pruebas de flexión, nos garantiza una resistencia a tracción y límite de fluencia, establecido en las fichas técnicas del fabricante.

- Empresa: Acero Arequipa
- Denominación: Fierro Corrugado ASTM A615-Grado 60 / NTP 341.031.
- Diámetro: $\phi = 3/8" = 9.5 \text{ mm}$
- Límite de Fluencia: $f_y = 420 \text{ MPa}$ (4,280 kg/cm²) *mínimo*
- Resistencia a tracción: $R = 620 \text{ MPa}$ (6,320 kg/cm²) *mínimo*

Tabla 8

Hoja técnica fierro corrugado grado 60 (Aceros Arequipa, 2025)

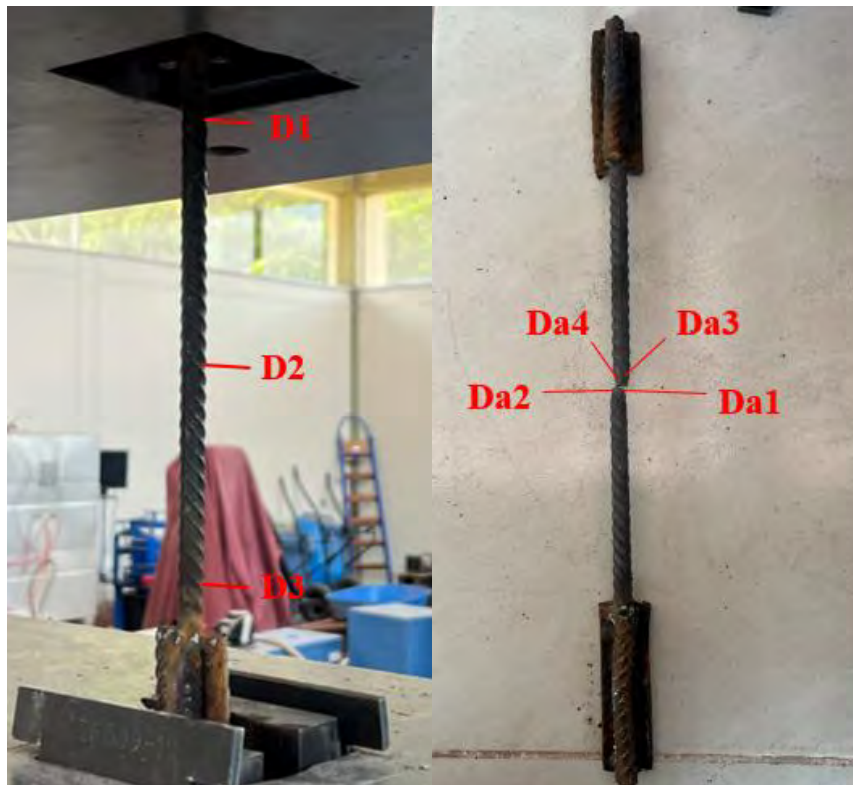
Diámetro de barra (pulg)	Diámetro (mm)	Sección (mm ²)	Perímetro (mm)	Peso nominal (kg/m)
—	6	28	18.8	0.2
—	8	50	25.1	0.4
3/8	—	71	29.9	0.6
—	12	113	37.7	0.9
1/2	—	129	39.9	1.0
5/8	—	199	49.9	1.6
3/4	—	284	59.8	2.2
7/8	—	387	69.8	3.0
1	—	510	79.8	4.0
1 3/8	—	1006	112.5	7.9

4.6.6.2 Aceros a 250 °C

El acero cuenta con las siguientes características, debido a estar sometido a un incremento de temperatura que afecta significativamente sus propiedades externas e internas.

Figura 71

Varillas de acero a 250 °C antes y después del ensayo



Fuente: Elaboración propia en base a: NTP 305.405 y NTP 341.031

Dentro del proceso experimental puntualizamos tres situaciones específicas que generaron un desarrollo correcto de la tracción de acero estructurales:

1. La Normativa nacional NTP 305.405 (INACAL, 2015) nos indica la longitud y velocidad de ensayo.
2. Medición de resistencias y límites. Esencial para las comparativas finales.

3. Medición de la Estricción, para la interpretación correcta de la Ductilidad y una comparativa en función de la capacidad de deformación.

Para la experimentación de los aceros expuestos a 250 °C utilizados en la investigación, realizamos un discernimiento y recopilación inicial de medidas.

4.6.6.3 Aceros a 500 °C

El acero cuenta con las siguientes características, debido a estar sometido a un incremento de temperatura que afecta significativamente sus propiedades externas e internas.

Figura 72

Varillas de acero a 500 °C antes y después del ensayo



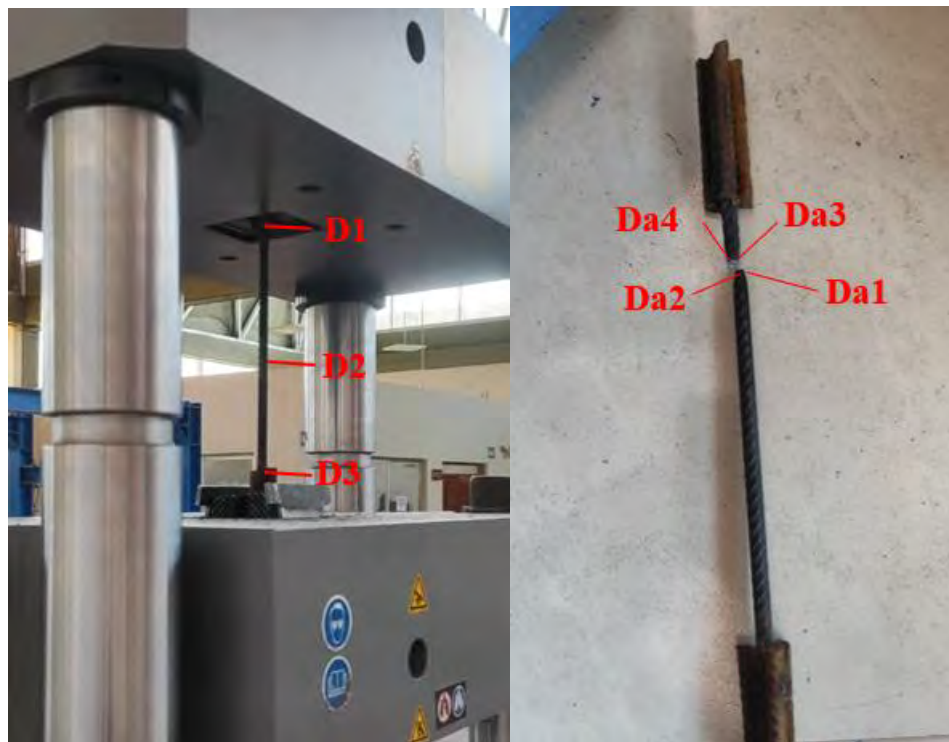
Fuente: Elaboración propia en base a: NTP 305.405 y NTP 341.031

4.6.6.4 Aceros a 750 °C

El acero cuenta con las siguientes características, debido a estar sometido a un incremento de temperatura que afecta significativamente sus propiedades externas e internas.

Figura 73

Varillas de acero a 750 °C antes y después del ensayo



Fuente: Elaboración propia en base a: NTP 305.405 y NTP 341.031

4.6.6.4 Aceros a 1000 °C

En la presente investigación enfatizamos en el estudio del acero a 1000° C, evidenciando las consecuencias palpables de mantener el acero bajo incidencias de temperaturas elevadas. Exteriorizamos las siguientes características del acero, debido a estar sometido a un incremento de temperatura que afecta significativamente sus propiedades externas e internas.

Figura 74

Acero expuesto a 1000 °C



Características:

- a) Desconchamiento, separación extrema entre acero y concreto.
- b) Pérdida del diámetro en las varillas expuestas a esta temperatura.
- c) Pérdida resaltes longitudinales y transversales (Patrón de corrugado general).

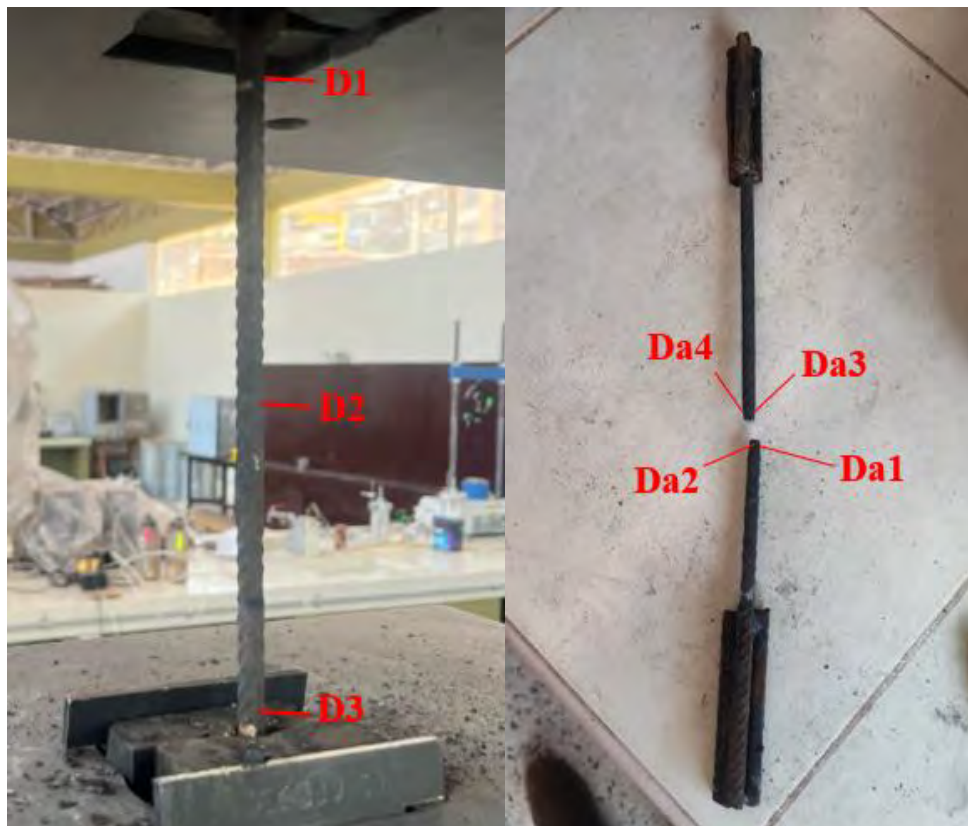
Figura 75

Desconchamiento de Acero expuesto a 1000 °C



Figura 76

Varillas de acero a 1000 °C antes y después del ensayo



Fuente: Elaboración propia en base a: NTP 305.405 y NTP 341.031

CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Ensayos de laboratorio

5.1.1 Cantidad de material fino que pasa el tamiz de 75 μm (n° 200) por lavado

Tabla 9

Cantidad de material fino que pasa el tamiz N° 200 del agregado fino – cantera de Cunyac

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	N° de Ensayo		
		1	2	3
Peso del recipiente	A (g)	298.750	299.100	297.900
Masa seca de la muestra original + recipiente	B (g)	1142.130	1103.880	1373.770
Masa seca de la muestra lavado + recipiente	C (g)	1108.590	1083.750	1343.620
Masa seca de la muestra original	D = B - A (g)	843.380	804.780	1075.870
Masa seca de la muestra luego del lavado	E = C - A (g)	809.840	784.650	1045.720
% Material que pasa el tamiz N° 200	(D-E)/D*100 %	3.977	2.501	2.802
% Material que pasa el tamiz N° 200 promedio	3.094			

Límite: 5%

Tabla 10

Cantidad de material fino que pasa el tamiz N° 200 del agregado grueso – cantera de Vicho

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	N° de Ensayo		
		1	2	3
Peso del recipiente	A (g)	298.750	299.100	297.900
Masa seca de la muestra original + recipiente	B (g)	5670.850	5501.730	5579.100
Masa seca de la muestra lavado + recipiente	C (g)	5647.280	5479.970	5560.920
Masa seca de la muestra original	D = B - A (g)	5372.100	5202.630	5281.200
Masa seca de la muestra luego del lavado	E = C - A (g)	5348.530	5180.870	5263.020
% Material que pasa el tamiz N° 200	(D-E)/D*100 %	0.439	0.418	0.344
% Material que pasa el tamiz N° 200 promedio	0.400			

Límite: 1%

5.1.2 Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos

5.1.2.1 Resultados agregado fino

Tabla 11

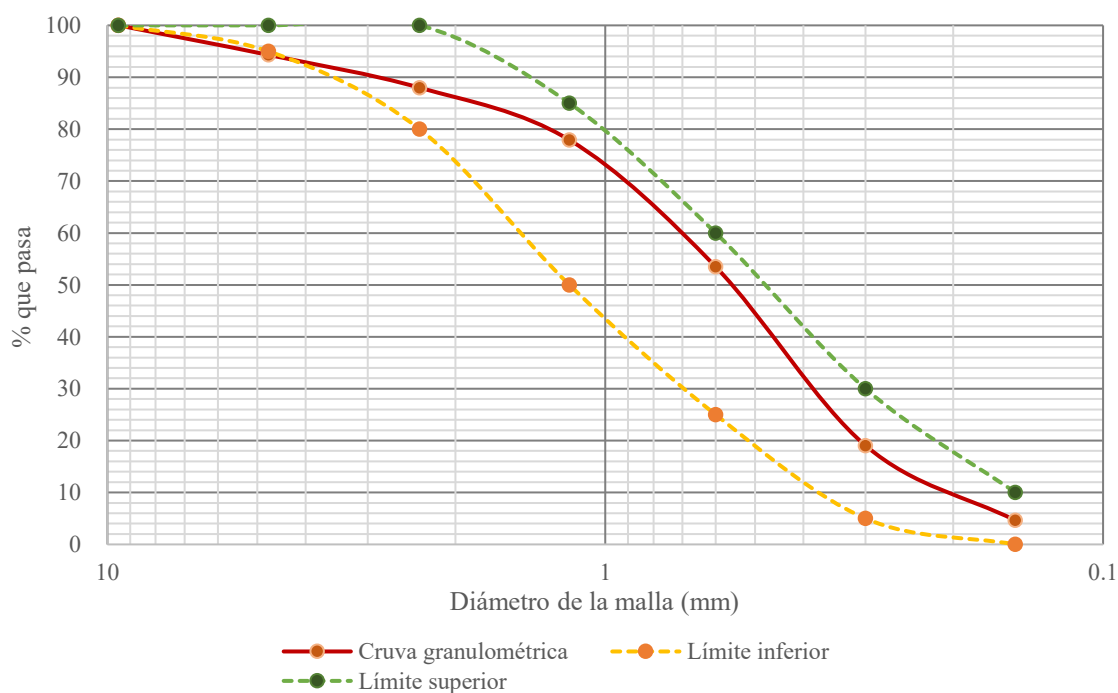
Resultados de ensayo de granulometría del agregado fino – cantera de Cunyac

Tamiz		Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	% Límites NTP		
pulg.	mm.					Inferior	-	Superior
3/8"	9.5	0.00	0.00	0.00	100.00	100	-	100
# 04	4.75	59.49	5.69	5.69	94.31	95	-	100
# 08	2.36	66.05	6.32	12.01	87.99	80	-	100
# 16	1.18	105.39	10.08	22.08	77.92	50	-	85
# 30	0.6	255.46	24.43	46.51	53.49	25	-	60
# 50	0.3	360.19	34.44	80.96	19.04	5	-	30
# 100	0.15	150.86	14.43	95.39	4.61	0	-	10
# 200	0.075	43.97	4.21	99.59	0.41			
Cazuela	0	4.28	0.41	100.00	0.00			
Peso Muestra Seca Antes		1045.72						
Peso Muestra Seca		1044.50						
Módulo de Fineza		2.63						

Variación = 0.12% CORRECTO

Figura 77

Curva granulométrica del agregado fino – cantera de Cunyac



5.1.2.1 Resultados agregado grueso

Tabla 12

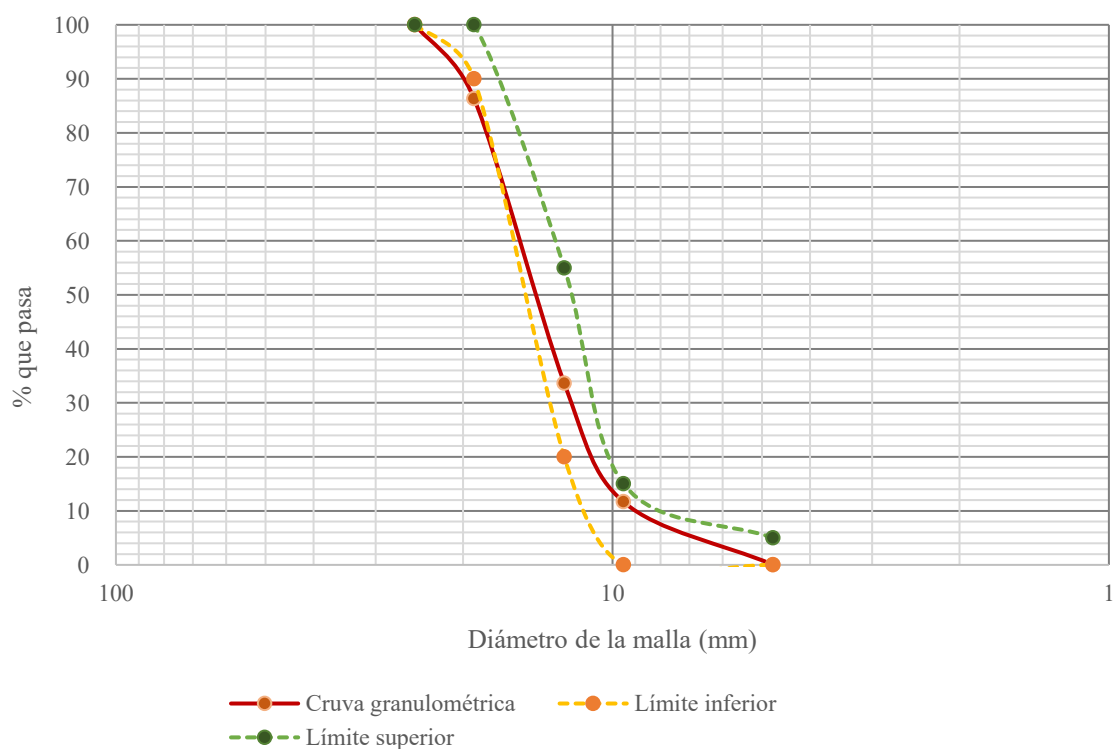
Resultados de ensayo de granulometría del agregado grueso – cantera de Vicho

Tamiz		Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	% Límites NTP - huso 6		
pulg.	mm.					Inferior		Superior
1"	25	0.00	0.00	0.00	100.00	100	-	100
3/4"	19	706.62	13.65	13.65	86.35	90	-	100
1/2"	12.5	2728.16	52.72	66.37	33.63	20	-	55
3/8"	9.5	1136.17	21.95	88.33	11.67	0	-	15
N°4	4.75	602.19	11.64	99.96	0.04	0	-	5
Cazuela	0	1.93	0.04	100.00	0.00	-	-	-
Peso Muestra Seca Antes		5175.07						
Peso Muestra Seca		5171.83						
Módulo de Fineza		7.02						

Variación = 0.06% CORRECTO
Tamaño máximo nominal: 3/4"

Figura 78

Curva granulométrica del agregado grueso – cantera de Vicho



5.1.3 Peso unitario suelto y compactado, vacío de los agregados

5.1.3.1 Resultados para el agregado fino

Tabla 13

Resultados de peso unitario suelto y compactado del agregado fino

Descripción - Peso Unitario Suelto	N° de Ensayo			UNIDAD
	1	2	3	
T= Masa del recipiente	5.3	5.3	5.3	kg
G= Masa del recipiente más agregado fino	7.4	7.4	7.4	kg
G-T= Masa del agregado fino	2.1	2.2	2.1	kg
V= Volumen del recipiente	0.0013	0.0013	0.0013	m3
M= Peso unitario suelto del agregado fino $P.U.S=(G-T)/V=$	1703.7	1715.6	1699.8	kg/m3
Peso unitario suelto del agregado fino	1706.4	kg/m3		

Descripción - Peso Unitario Compactado	N° de Ensayo			UNIDAD
	1	2	3	
T= Masa del recipiente	5.3	5.3	5.3	kg
G= Masa del recipiente más agregado fino	7.5	7.6	7.5	kg
G-T= Masa del agregado fino	2.2	2.3	2.3	kg
V= Volumen del recipiente	0.0013	0.0013	0.0013	m3
M= Peso unitario compactado del agregado fino $M.U.C=(G-T)/V=$	1783.2	1818.9	1803.0	kg/m3
Peso unitario compactado del agregado fino	1801.7	kg/m3		

5.1.3.2 Resultados para el agregado grueso

Tabla 14

Resultados de peso unitario suelto y compactado del agregado grueso

Descripción - Peso Unitario Suelto	N° de Ensayo			UNIDAD
	1	2	3	
T= Masa del recipiente	8.0	8.0	8.0	kg
G= Masa del recipiente más agregado grueso	12.2	12.2	12.3	kg
G-T= Masa del agregado grueso	4.2	4.3	4.3	kg
V= Volumen del recipiente	0.0029	0.0029	0.0029	m3
M= Peso unitario suelto del agregado grueso	1440.3	1450.5	1471.0	kg/m3
Peso unitario suelto del agregado grueso	1453.9	kg/m3		

Descripción - Peso Unitario Compactado	N° de Ensayo			UNIDAD
--	--------------	--	--	--------

	1	2	3	
T= Masa del recipiente	8.0	8.0	8.0	kg
G= Masa del recipiente más agregado fino	12.6	12.7	12.6	kg
G-T= Masa del agregado fino	4.7	4.8	4.7	kg
V= Volumen del recipiente	0.0029	0.0029	0.0029	m3
M= Peso unitario compactado del agregado fino	1588.6	1619.2	1586.9	kg/m3
Peso unitario compactado del agregado grueso	1598.2	kg/m3		

5.1.4 Peso específico y absorción de agregados finos

Tabla 15

Resultados de peso específico y absorción del agregado fino

Descripción	UNIDAD	N° de Ensayo		
		1	2	3
Peso de la muestra seca	A (g)	494.3	497.1	501.9
Peso del pignómetro aforado lleno de agua	B (g)	680.4	680.4	680.4
Peso del picnómetro aforado con muestra y lleno de agua	C (g)	993.1	994.0	997.6
Peso de la muestra saturada con superficie seca	S (g)	500.0	502.0	504.5
Peso específico de masa	A/(B+S-C) (g/cm3)	2.6	2.6	2.7
Peso específico de masa saturada	S/(B+S-C) (g/cm3)	2.7	2.7	2.7
Peso específico aparente (Pea)	A/(B+A-C) (g/cm3)	2.7	2.7	2.7
Absorción	(S-A)/A*100 (%)	1.2	1.0	0.5
Peso específico del agregado fino	2.676 g/cm3			
% de Absorción	0.9 %			

5.1.5 Peso específico y absorción de agregados grueso

Tabla 16

Resultados de peso específico y absorción del agregado grueso

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	N° de Ensayo		
		1	2	3
Peso de material seco en horno	A (g)	3321.16	3320.68	3313.30
Peso material saturado superficialmente seco	B (g)	3376.68	3375.86	3368.24
Peso del material sumergido	C (g)	2123.30	2113.90	2113.90
Peso específico de masa (Pem)	A/(B - C) (g/cm3)	2.650	2.631	2.641
Peso específico de masa saturada (Pesss)	B/(B - C) (g/cm3)	2.694	2.675	2.685
Peso específico aparente (Pea)	A/(A - C) (g/cm3)	2.773	2.752	2.762
% de absorcion = ((B - A)/A)*100	(B - A)/A (%)	1.67	1.66	1.66
Peso Específico del agregado grueso	2.641			
% de Absorción	1.664			

5.1.6 Contenido de humedad de los agregados

Tabla 17

Resultados de contenido de humedad de los agregados fino y grueso

AGREGADO FINO				
Descripción	N° de Ensayo			UNIDAD
	1	2	3	
W= Masa de la muestra húmeda original	603.33	602.03	605.06	g
D= Masa de la muestra seca	593.14	591.41	594.84	g
p= Contenido de humedad evaporable de la muestra en porcentaje	1.72	1.80	1.72	%
Contenido de humedad evaporable promedio	1.744	%		

AGREGADO GRUESO				
Descripción	N° de Ensayo			UNIDAD
	1	2	3	
W= Masa de la muestra húmeda original	5313.01	5249.9	5260	g
D= Masa de la muestra seca	5281.2	5202.63	5214.7	g
p= Contenido de humedad evaporable de la muestra en porcentaje	0.60	0.91	0.87	%
Contenido de humedad evaporable promedio	0.793	%		

5.2 Diseño de Mezclas

5.2.1 Proporcionamiento final de la investigación en m3

Posterior al diseño se contempla un cuadro con recopilaciones exactas de las dosificaciones para un m3.

Tabla 18

Diseño de mezclas para un m3

DISEÑO DE MEZCLAS - MÉTODO ACI				
Proporcionamiento Final de Diseño				
Material	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad
Cemento	366.7	Kg	0.116	m3
Agua	207.6	Lt	0.208	m3
Agregado Fino	742.4	Kg	0.277	m3
Agregado Grueso	1026.1	Kg	0.389	m3

5.3 Resistencia a compresión de briquetas

Con la finalidad de generar la comprobación del $f'c$ de 210 kg/cm²

5.3.1 Resistencia a compresión a los 7 días

Tabla 19

Resistencia a compresión de briquetas a los 7 días

Ítem	Edad (días)	Fecha de moldeo	Fecha de rotura	Resistencia de diseño (kg/cm ²)	Resistencia (Kg)	Resistencia de la briketa en (kg/cm ²)	% de resistencia hallada
B-01	7	13/06/2025	20/06/2025	210	14080	179.27	85.37
B-02	7	13/06/2025	20/06/2025	210	15030	191.37	91.13
B-03	7	13/06/2025	20/06/2025	210	13160	167.56	79.79
B-04	7	13/06/2025	20/06/2025	210	13630	173.54	82.64
B-05	7	13/06/2025	20/06/2025	210	13510	172.01	81.91

5.3.2 Resistencia a compresión a los 14 días

Tabla 20

Resistencia a compresión de briquetas a los 14 días

Ítem	Edad (días)	Fecha de moldeo	Fecha de rotura	Resistencia de diseño (kg/cm ²)	Resistencia (Kg)	Resistencia de la briketa en (kg/cm ²)	% de resistencia hallada
B-06	14	09/06/2025	23/06/2025	210	15910	202.57	96.46
B-07	14	09/06/2025	23/06/2025	210	16680	212.38	101.13
B-08	14	09/06/2025	23/06/2025	210	15670	199.52	95.01
B-09	14	09/06/2025	23/06/2025	210	17370	221.16	105.31
B-10	14	09/06/2025	23/06/2025	210	16400	208.81	99.43

5.3.3 Resistencia a compresión a los 21 días

Tabla 21

Resistencia a compresión de briquetas a los 21 días

Ítem	Edad (días)	Fecha de moldeo	Fecha de rotura	Resistencia de diseño (kg/cm2)	Resistencia (Kg)	Resistencia de la briqueta en (kg/cm2)	% de resistencia hallada
B-11	21	10/06/2025	01/07/2025	210	16350	208.17	99.13
B-12	21	10/06/2025	01/07/2025	210	17210	219.12	104.34
B-13	21	10/06/2025	01/07/2025	210	17690	225.24	107.26
B-14	21	10/06/2025	01/07/2025	210	16830	214.29	102.04
B-15	21	10/06/2025	01/07/2025	210	17460	222.31	105.86

5.3.4 Resistencia a compresión a los 28 días

Tabla 22

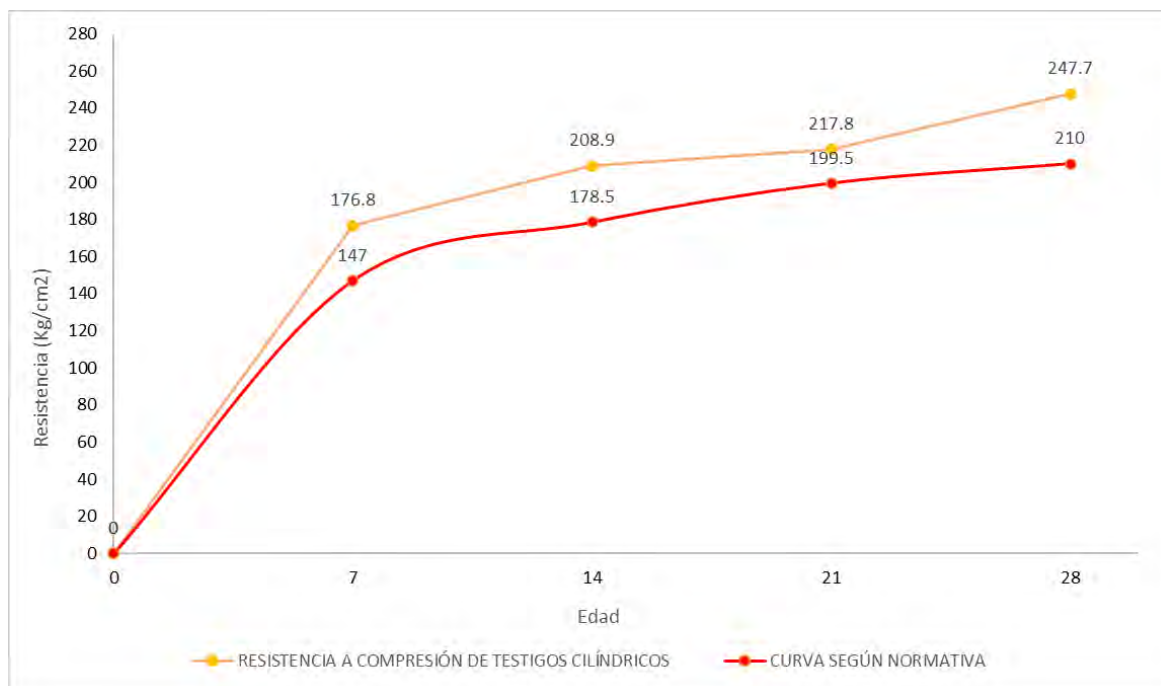
Resistencia a compresión de briquetas a los 28 días

Ítem	EDAD (DÍAS)	Fecha de moldeo	Fecha de rotura	Resistencia de diseño (kg/cm2)	Resistencia (Kg)	Resistencia de la briqueta en (kg/cm2)	% de resistencia hallada
B-16	28	11/06/2025	09/07/2025	210	19130	243.57	115.99
B-17	28	11/06/2025	09/07/2025	210	20320	258.72	123.20
B-18	28	11/06/2025	09/07/2025	210	19880	253.12	120.53
B-19	28	11/06/2025	09/07/2025	210	19210	244.59	116.47
B-20	28	11/06/2025	09/07/2025	210	18720	238.35	113.50

5.3.4 Evaluación global de comportamiento a compresión

Figura 79

Evaluación global del comportamiento a compresión de briquetas en la investigación



5.4 Vigas de concreto armado

5.4.1 Ensayos a flexión

Los ensayos de flexión realizados a temperatura ambiente permitieron evaluar el comportamiento estructural inicial de las vigas de concreto armado, constituyendo la línea base de referencia para comparar posteriormente la degradación de la resistencia a flexión y la variación de la deflexión máxima ocasionadas por la exposición al fuego. A partir de este estado inicial, se analizaron los resultados correspondientes a las vigas sometidas a temperaturas de 250 °C, 500 °C, 750 °C y 1000 °C, con el objetivo de identificar la evolución progresiva del daño térmico sobre la capacidad resistente y la ductilidad del elemento estructural.

Especificaciones de las vigas ensayadas:

- Dimensiones: L= 120 cm, b= 15 cm, h= 20cm,

- Resistencia a la compresión del concreto: $f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ (edad 28 días)
- Acero de refuerzo: $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$
- Refuerzo longitudinal: 1 $\varnothing 3/8''$ colocada en la zona traccionada.
- Recubrimiento: $e = 4,0 \text{ cm}$

5.4.1.1 Resultados de las vigas sin exposición al fuego

Tabla 23

Resistencia a flexión de vigas sin exposición al fuego

Tracción por flexión de vigas de concreto armado no expuestas a fuego					
$f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$			Dimensiones: (15x20x120) cm		
Viga	Peso inicial (kg)	Carga máxima		Resistencia máxima (kN m)	Ductilidad
		(kN)	(kg)		
V-01	87.31	61.425	6263.652	4.607	4.409
V-02	86.25	57.311	5844.079	4.298	5.117
V-03	85.17	53.330	5438.114	4.000	3.837

Figura 80

Gráfico resistencia respecto a la deformación en vigas no expuestas a fuego

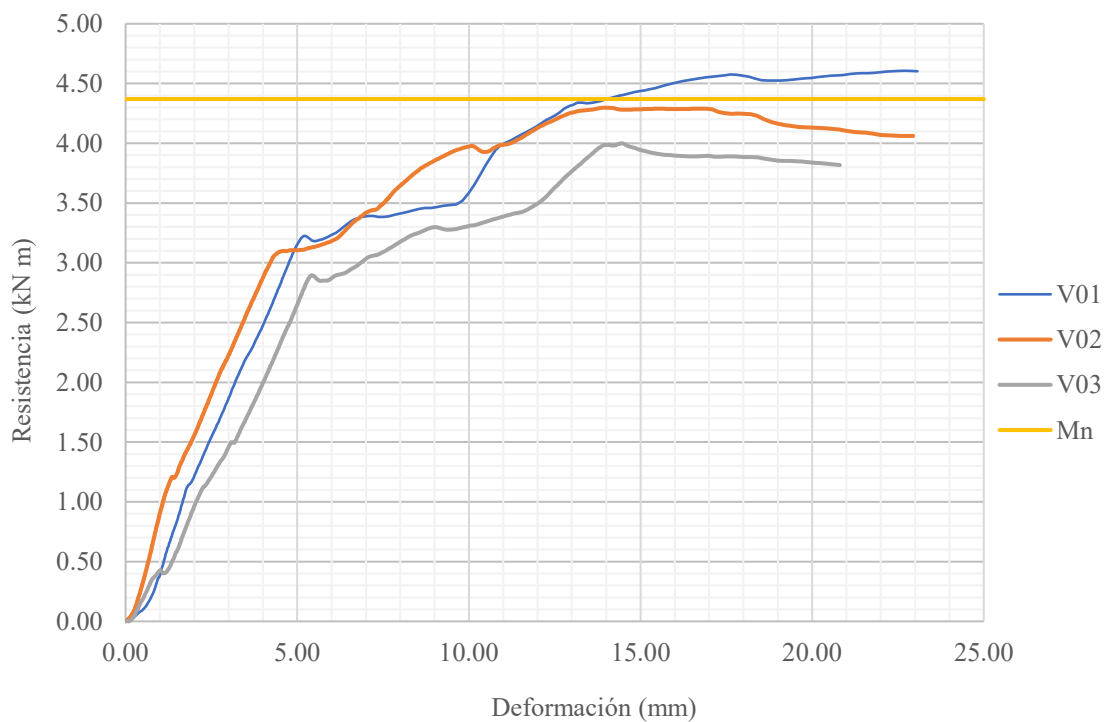
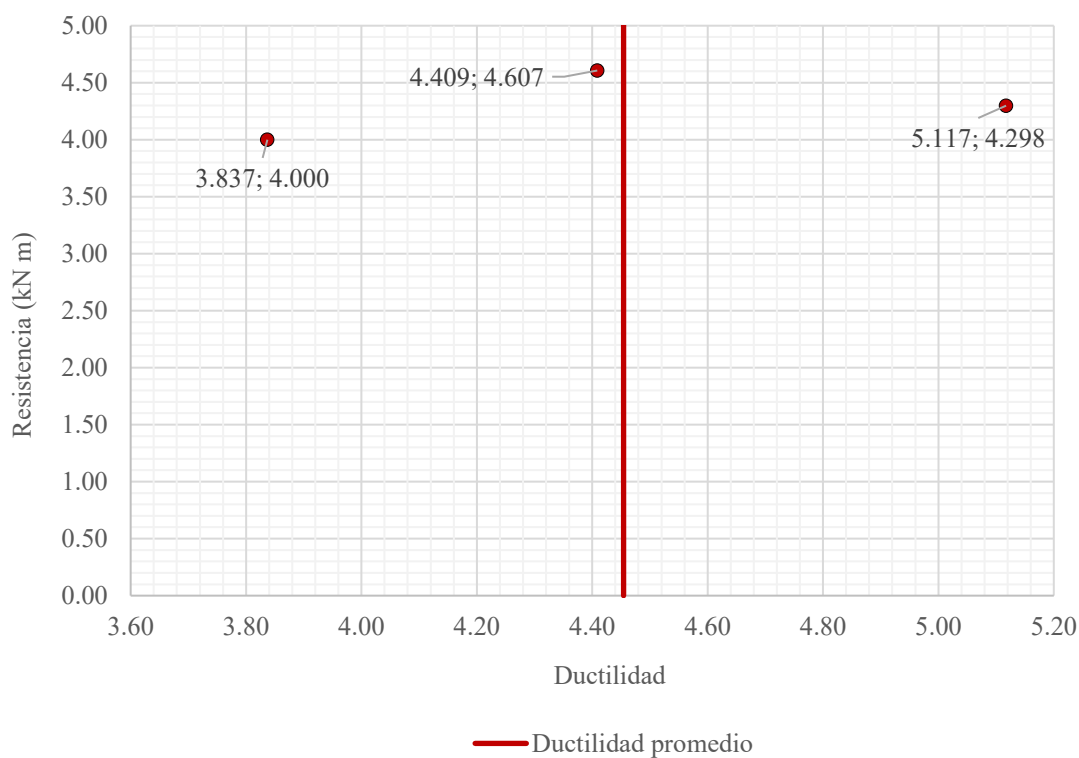


Figura 81

Gráfico resistencia máxima respecto a la ductilidad en vigas no expuestas a fuego



5.4.1.2 Resultados de las vigas expuestas a 250 °C

Tabla 24

Resistencia a flexión de vigas expuestas a 250 °C

Tracción por flexión de vigas de concreto armado expuestas a fuego a temperatura de 250 °C					
$f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$			Dimensiones: (15x20x120) cm		
Viga	Peso inicial (kg)	Carga máxima		Resistencia máxima (kN m)	Ductilidad
		(kN)	(kg)		
V-04	87.51	51.372	5238.534	3.853	3.997
V-05	88.01	50.994	5199.979	3.825	3.524
V-06	88.29	52.151	5317.913	3.911	4.166

Figura 82

Gráfico de resistencia respecto a la deformación en vigas expuestas a 250 °C

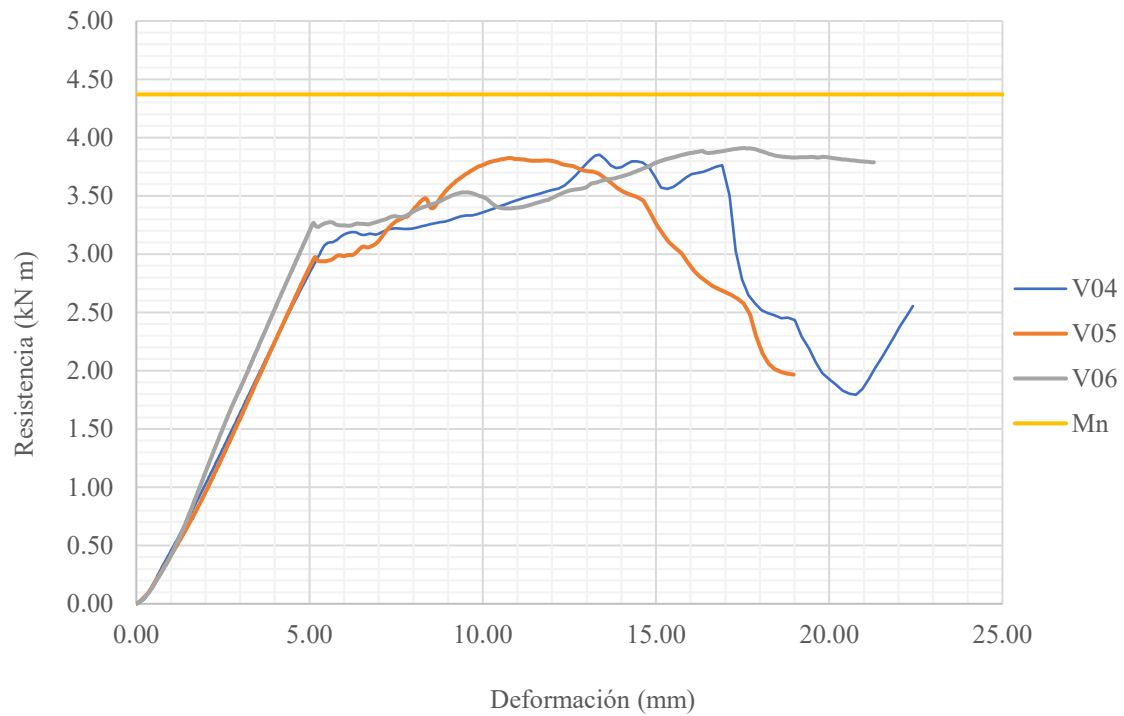
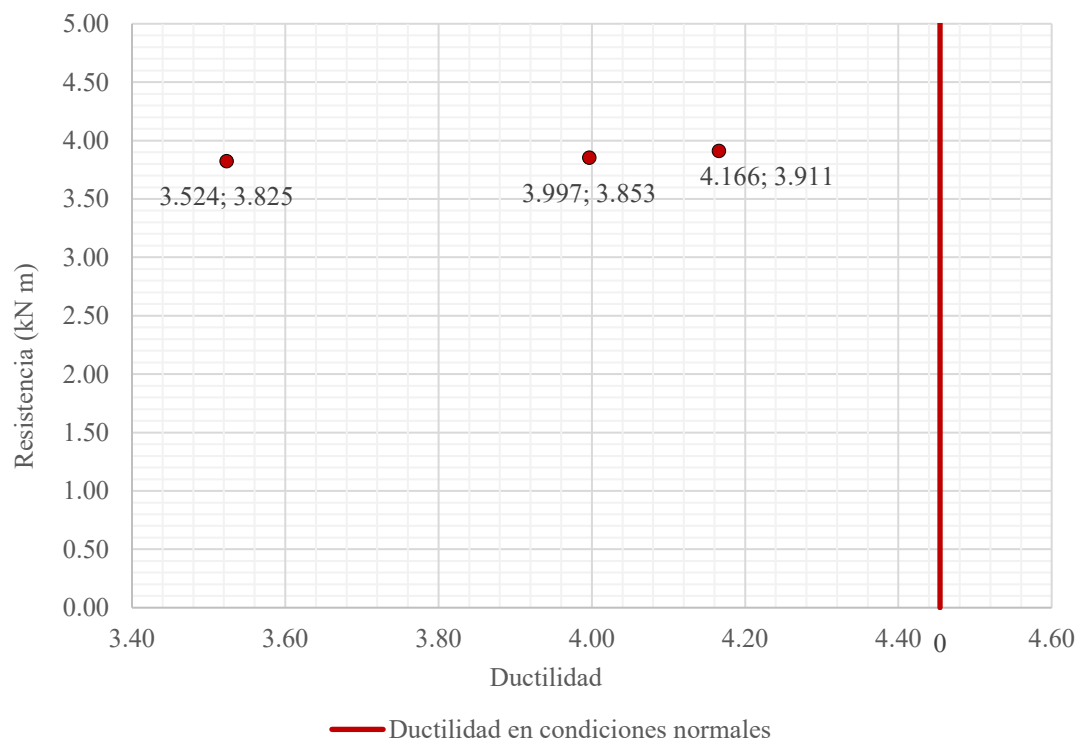
**Figura 83**

Gráfico de resistencia máxima respecto a la ductilidad en vigas expuestas a 250 °C



Análisis descriptivo del daño en las vigas expuestas a 250 °C

- **Fisuración Superficial:**

A 250 °C se presenta evaporación del agua capilar del concreto, lo que genera ligeras tensiones internas y aparición de pocas microfisuras superficiales delgadas en forma de mapeo fino. Estas fisuras no comprometen la integridad estructural y se limitan a la capa externa del elemento. Estas fisuras no alcanzan el refuerzo interno.

Figura 84

Fisuración Superficial producto del daño en vigas expuestas a 250 °C



- **Desprendimiento Superficial:**

Se evidencian áreas puntuales con pérdida regular de material superficial, con exposición del agregado grueso. Esto es compatible con las primeras etapas de

descarbonatación superficial ligera, denominada calcificación independiente, donde el concreto presenta ligera pulverulencia producto de la pérdida parcial de humedad y micro fisuración térmica acumulada.

Figura 85

Desprendimiento Superficial producto del daño en vigas expuestas a 250 °C



- **Coloración:**

El concreto conserva su tonalidad gris natural, ya que a 250 °C no ocurre aún la deshidratación severa del hidróxido de calcio. Se observa un ligero matiz blanquecino asociado a la pérdida de humedad superficial y al inicio de la calcificación independiente. También se generaron manchas negras, que indican que, si bien la temperatura alcanzada no fue suficiente para producir un proceso de calcinación profunda del concreto, sí generó carbonización superficial y acumulación de residuos quemados.

Figura 86

Coloración producto del daño en vigas expuestas a 250 °C



- **Retracción por Enfriamiento:**

Durante el enfriamiento de 24 horas posterior a la exposición térmica, el gradiente inverso de temperatura genera tensiones diferenciales entre la superficie (que se enfría más rápido) y el núcleo (que conserva calor). A 250 °C este fenómeno es moderado, produciendo retracción leve y eventual apertura de microfisuras preexistentes.

Figura 87

Retracción por Enfriamiento producto del daño en vigas expuestas a 250 °C



5.4.1.3 Resultados de las vigas expuestas a 500 °C

Tabla 25

Resistencia a flexión de vigas expuestas a 500 °C

Tracción por flexión de vigas de concreto armado expuestas a fuego a temperatura de 500 °C					
f _c = 210 kg/cm ²			Dimensiones: (15x20x120) cm		
Viga	Peso inicial (kg)	Carga máxima		Resistencia máxima (kN m)	Ductilidad
		(kN)	(kg)		
V-07	85.98	25.946	2645.802	1.946	1.936
V-08	87.12	34.122	3479.504	2.559	2.092
V-09	88.24	39.816	4060.102	2.986	3.312

Figura 88

Gráfico de resistencia respecto a la deformación en vigas expuestas a 500 °C

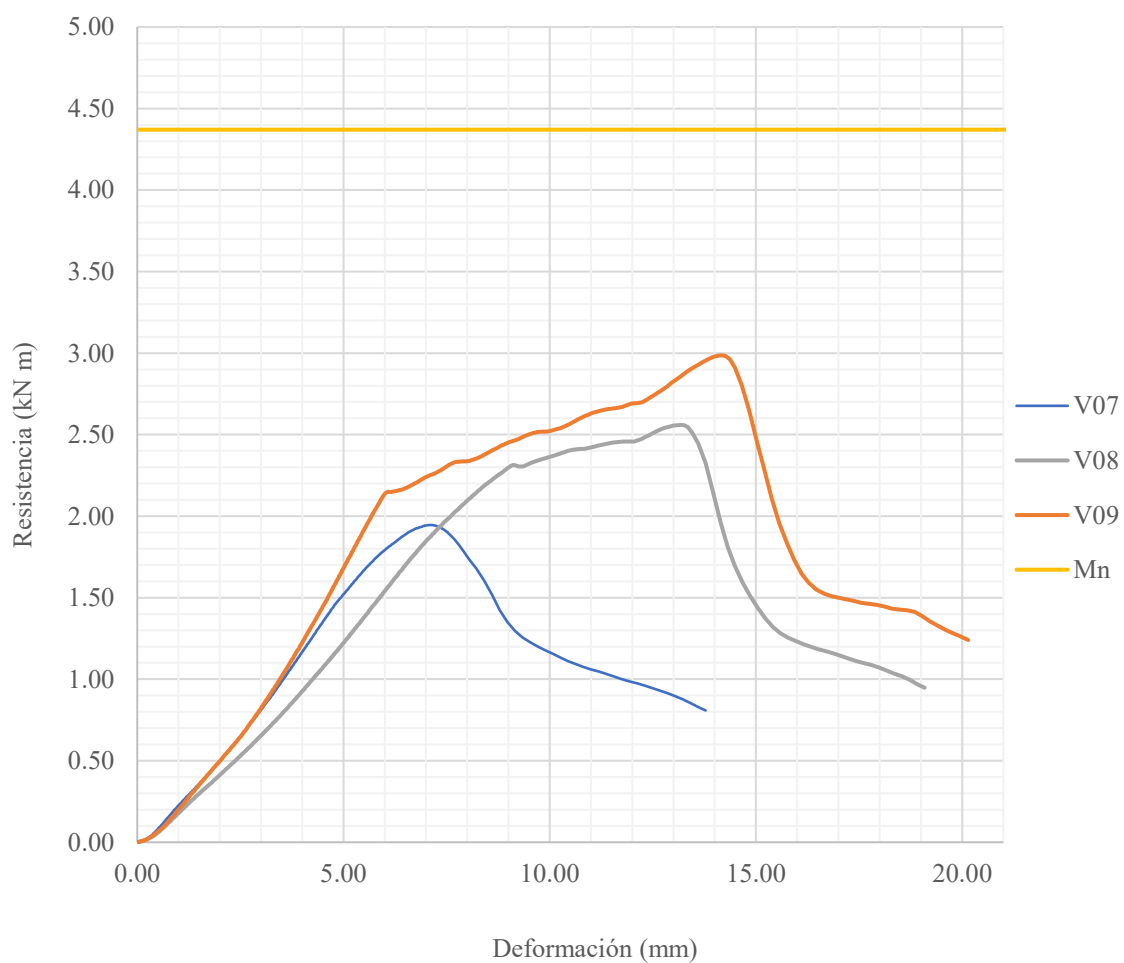
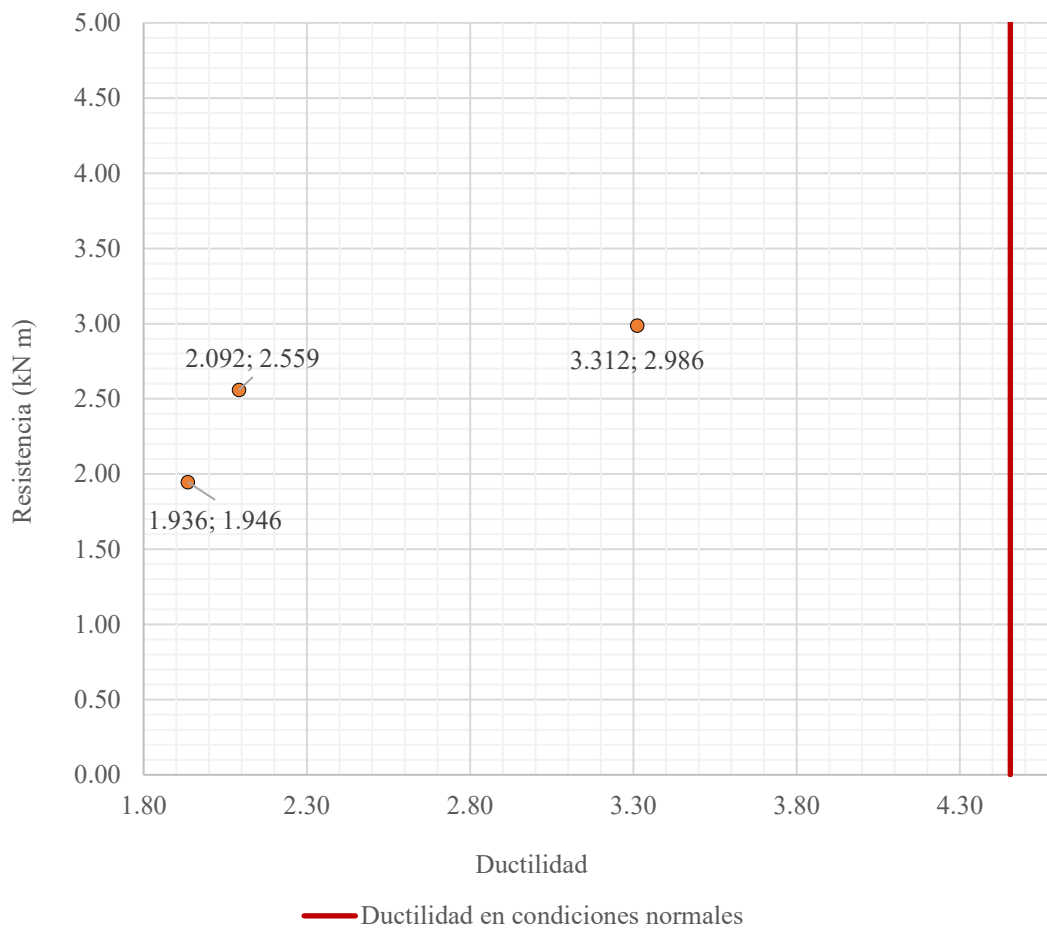


Figura 89

Gráfico de resistencia máxima respecto a la ductilidad en vigas expuestas a 500 °C



Los ensayos de tracción por flexión realizados en las vigas de concreto armado expuestas a una temperatura de 500 °C permitieron evaluar de manera experimental el efecto del daño térmico severo sobre la capacidad resistente, y la ductilidad del elemento estructural. Los resultados obtenidos constituyen una etapa intermedia crítica entre el comportamiento observado a 250 °C y los niveles más severos de daño térmico.

Análisis descriptivo del daño en las vigas expuestas a 500 °C

- **Fisuración Superficial:**

Se observa una red de fisuras distribuidas de manera irregular en la superficie de la viga, originadas por las tensiones internas generadas debido al gradiente térmico entre las capas externas, que se expanden y contraen con mayor rapidez, y el núcleo del concreto. La presencia de microfisuras en forma de mapeo responde a la incompatibilidad de dilatación entre la pasta cementicia y los áridos. Este patrón de fisuración se acentuó durante el periodo de enfriamiento.

Figura 90

Fisuración Superficial producto del daño en vigas expuestas a 500 °C



- **Desprendimiento Superficial:**

Se observan zonas con pérdida de material superficial del concreto, sin exposición del agregado grueso. Se observa una capa con zonas de descarbonatación superficial, compatible con etapas iniciales de “calcificación superficial*1”, donde el concreto presenta pérdida parcial de su cohesión y ligera pulverulencia.

Figura 91

Desprendimiento Superficial producto del daño en vigas expuestas a 500 °C



- **Coloración:**

Cambio leve en la tonalidad del concreto, decoloración gris-blanquecina que indica deshidratación del hidróxido de calcio (Ca(OH)_2) y formación de óxidos en la pasta cementicia. Cambio de tonalidad hacia un gris oscuro y zonas negruzcas, asociado a la deshidratación del concreto y eliminación del agua capilar entre 300 °C–400 °C, además de los primeros efectos de la descomposición superficial del aglomerante.

Figura 92

Coloración producto del daño en vigas expuestas a 500 °C



- **Retracción por Enfriamiento:**

Durante el enfriamiento, se genera un gradiente de temperatura inverso, que induce contracción diferencial entre la superficie (que se enfría más rápido) y el interior (que conserva calor).

Esto produce fisuración superficial y pérdida de integridad estructural, afectando la capacidad de flexión. Tras las 24 horas de enfriamiento, las vigas experimentaron retracción térmica diferencial, generando la apertura adicional de fisuras preexistentes y zonas con desprendimiento incipiente.

Figura 93

Retracción por Enfriamiento producto del daño en vigas expuestas a 500 °C



5.4.1.4 Resultados de las vigas expuestas a 750 °C

Tabla 26

Resistencia a flexión de vigas expuestas a 750 °C

Tracción por flexión de vigas de concreto armado expuestas a fuego a temperatura de 750 °C					
$f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$			Dimensiones: (15x20x120) cm		
Viga	Peso inicial (kg)	Carga máxima (kN) (kg)		Resistencia máxima (kN m)	Ductilidad
V-10	86.11	11.601	1182.968	0.870	2.139
V-11	88.97	17.504	1784.885	1.313	1.887
V-12	87.46	9.626	981.573	0.722	1.855

Figura 94

Gráfico de resistencia respecto a la deformación en vigas expuestas a 750 °C

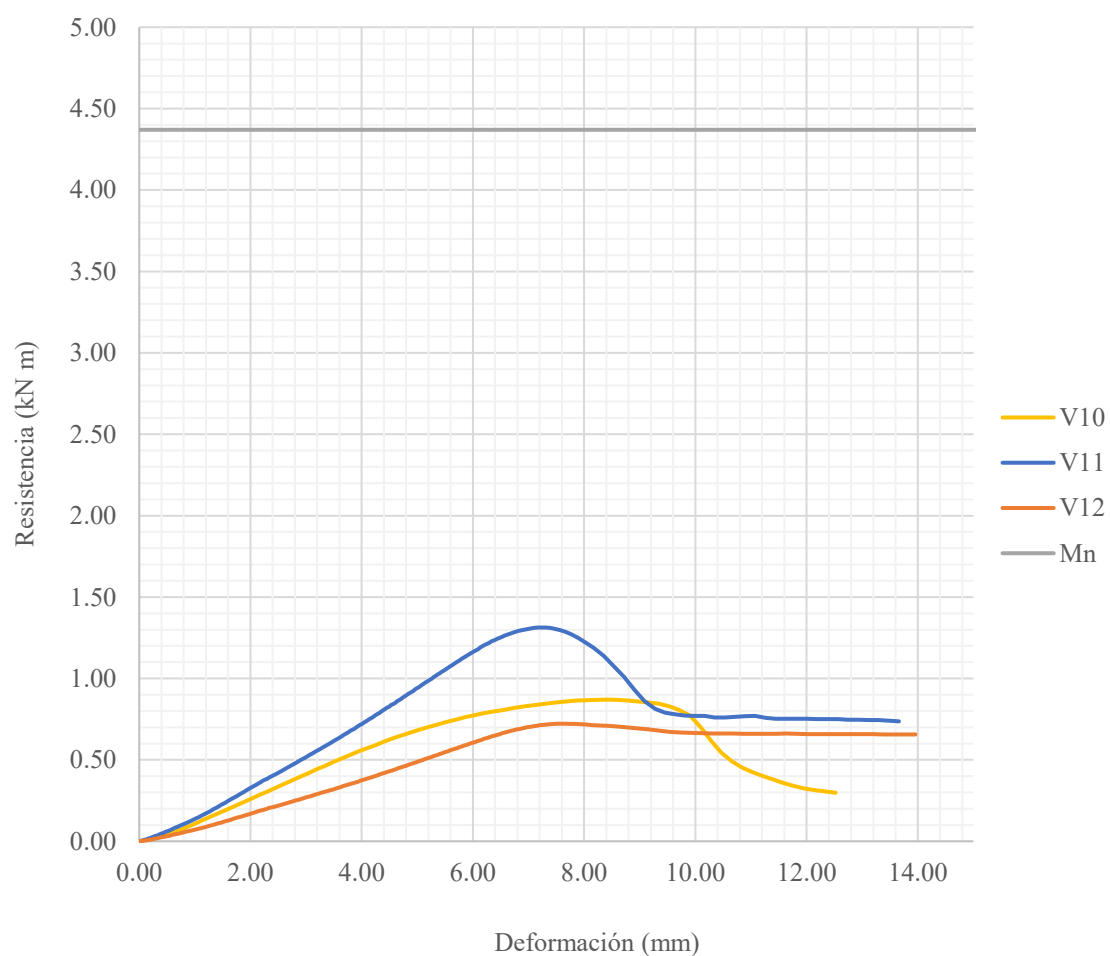
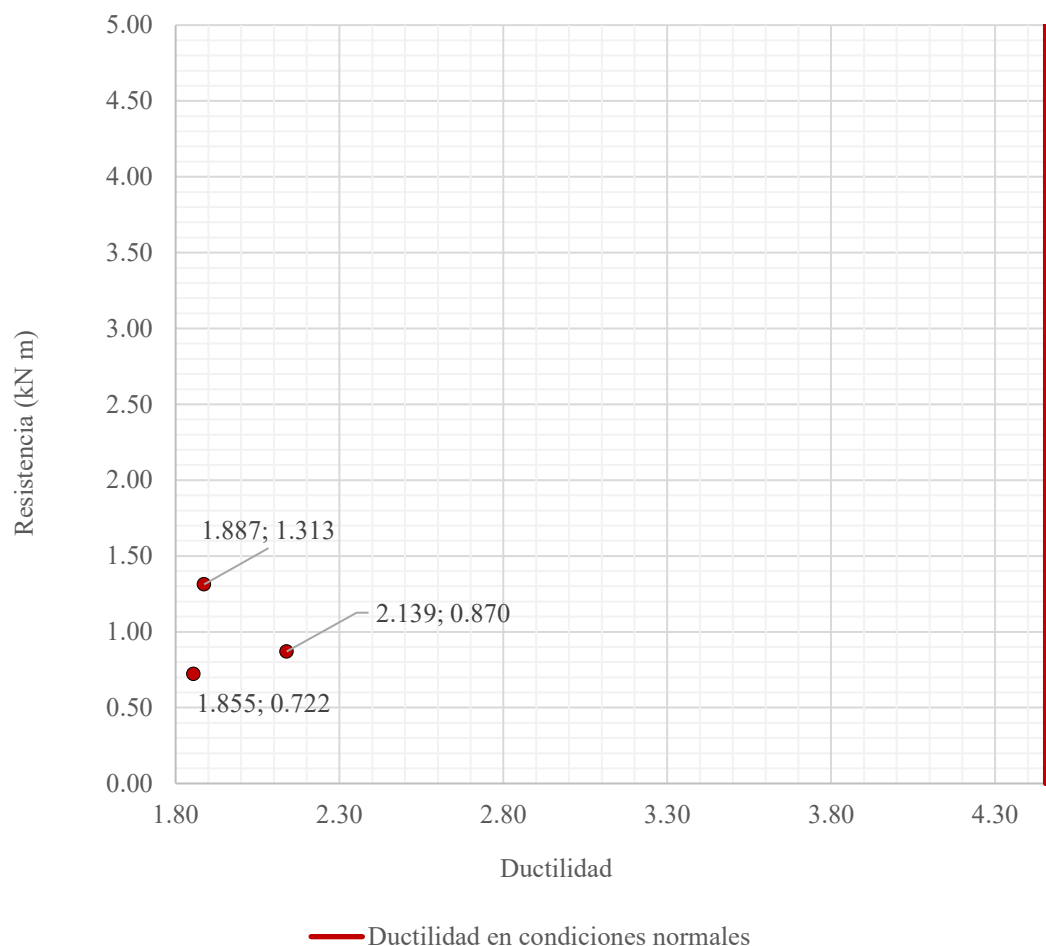


Figura 95

Gráfico de resistencia máxima respecto a la ductilidad en vigas expuestas a 750 °C



Los ensayos de tracción por flexión realizados en las vigas de concreto armado expuestas a una temperatura de 750 °C permitieron evaluar de manera experimental el efecto del daño térmico severo sobre la capacidad resistente, la rigidez y la ductilidad del elemento estructural. Esta etapa representa un nivel avanzado de deterioro térmico, donde la degradación del concreto y del acero de refuerzo incide de forma determinante en el comportamiento mecánico de las vigas, evidenciando un cambio significativo respecto a lo observado a 250 °C y 500 °C.

Análisis descriptivo del daño en las vigas expuestas a 750 °C

- **Fisuración Superficial:**

El concreto experimenta un deterioro avanzado asociado a la descomposición de la cal viva y a la pérdida significativa de cohesión entre pasta y áridos. Se observa una red de fisuras profundas e irregulares, producto de un fuerte gradiente térmico y de la incompatibilidad de dilatación entre los componentes. El calor provoca microexplosiones internas (spalling) iniciales. Estas condiciones comprometen la integridad estructural del recubrimiento y de las capas externas de la viga.

Figura 96

Fisuración Superficial producto del daño en vigas expuestas a 750 °C



- **Desprendimiento Superficial:**

A esta temperatura en la viga se produce desprendimiento significativo de la capa superficial del concreto, con pérdida visible de la matriz cementicia y exposición parcial del agregado grueso. La decarbonatación profunda, combinada con la presión del vapor atrapado, genera expulsión de fragmentos y zonas pulverulentas con textura arenosa. El concreto presenta pérdida considerable de cohesión, reducida capacidad portante en la superficie y un daño estructural.

Figura 97

Desprendimiento Superficial producto del daño en vigas expuestas a 750 °C



- **Coloración:**

El concreto presenta una tonalidad predominantemente gris claro, según la escala de calcificación. Esta coloración se debe al grado avanzado de deshidratación del cemento, la pérdida de hidróxido de calcio y el inicio de la fusión parcial de ciertos minerales del árido. Se observan zonas blanquecinas asociadas a una calcificación muy avanzada y leve formación de óxidos.

Figura 98

Coloración producto del daño en vigas expuestas a 750 °C



- **Retracción por Enfriamiento:**

Durante el enfriamiento, el gradiente térmico inverso es altamente severo debido al enorme contraste entre el núcleo aún caliente y la superficie que se enfría rápidamente. Esto provoca fisuración adicional, apertura de grietas existentes y mayor desprendimiento del recubrimiento. Las vigas sometidas a 750 °C experimentan una retracción térmica diferencial extrema, lo que incrementa la disgregación del concreto y acelera la pérdida de adherencia interna de la pasta cementicia.

Figura 99

Retracción por Enfriamiento producto del daño en vigas expuestas a 750 °C



5.4.1.5 Resultados de las vigas expuestas a 1000 °C

Tabla 27

Resistencia a flexión de vigas expuestas a 1000 °C

Tracción por flexión de vigas de concreto armado expuestas a fuego a temperatura de 1000 °C					
f _c = 210 kg/cm ²			Dimensiones: (15x20x120) cm		
Viga	Peso inicial (kg)	Carga máxima (kN) (kg)		Resistencia máxima (kN m)	Ductilidad
V-13	86.34	7.584	773.374	0.569	1.400
V-14	85.77	6.913	704.882	0.518	1.381
V-15	87.23	8.171	833.249	0.613	1.492

Figura 100

Gráfico de resistencia respecto a la deformación en vigas expuestas a 1000 °C

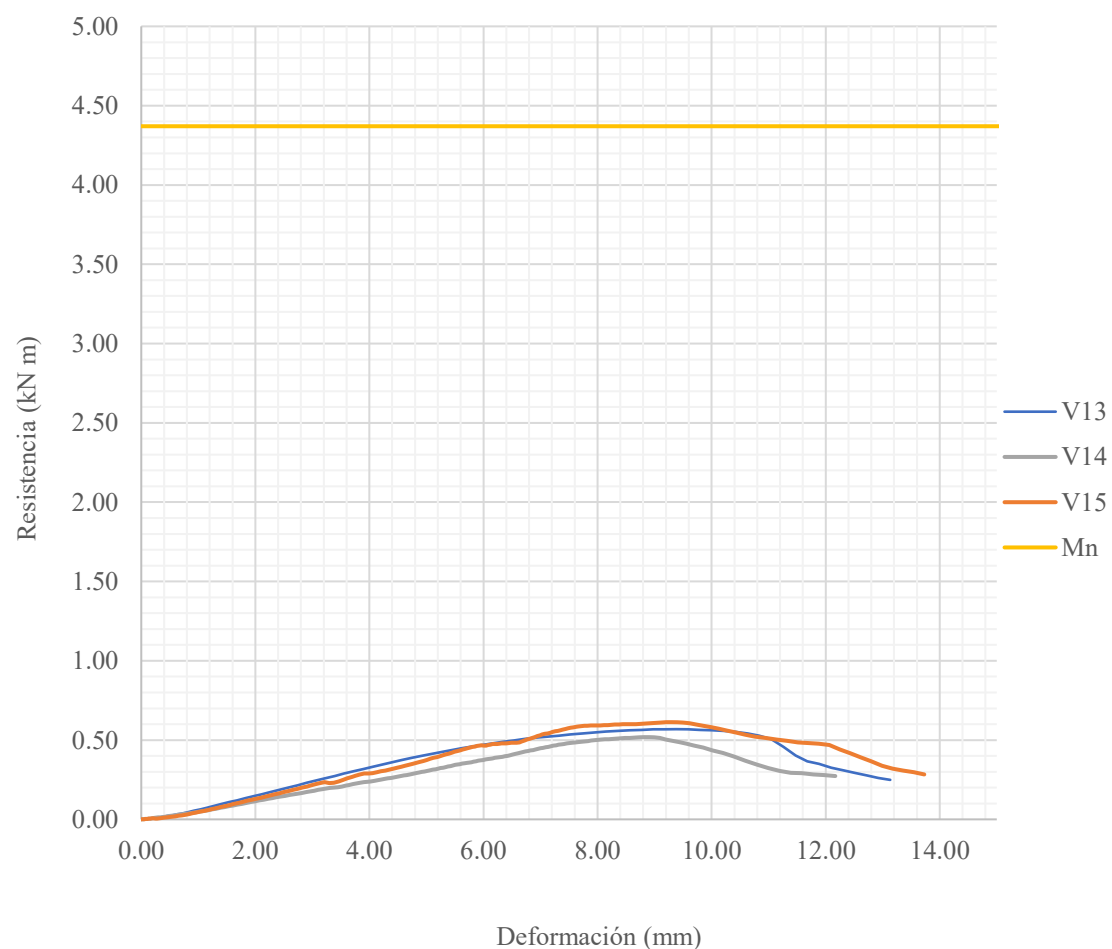
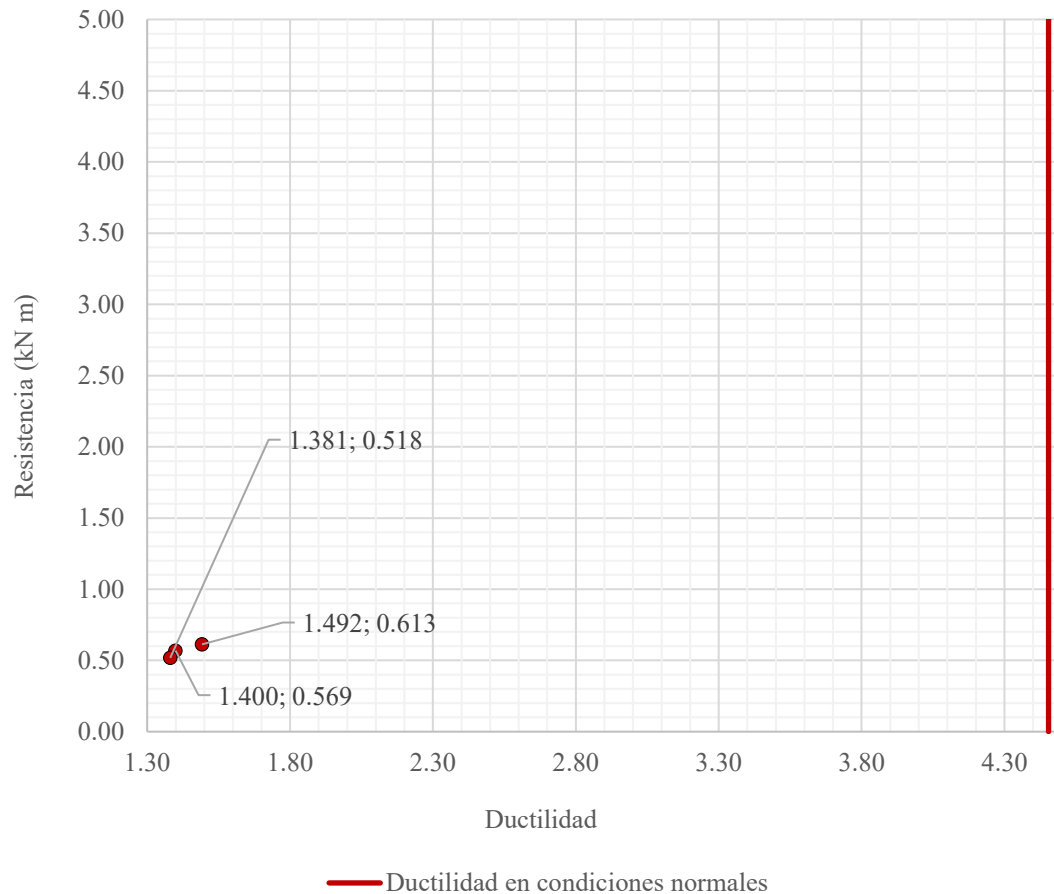


Figura 101

Gráfico de resistencia máxima respecto a la ductilidad en vigas expuestas a 1000 °C



Los ensayos de tracción por flexión realizados en las vigas de concreto armado sometidas a 1000 °C permiten evaluar el comportamiento estructural bajo un nivel extremo de daño térmico, donde tanto la matriz cementicia como los agregados y el acero de refuerzo experimentan alteraciones severas. A esta temperatura, la pérdida de cohesión del concreto, la degradación química del cemento y la disminución de la adherencia acero-concreto condicionan de manera determinante la respuesta mecánica de las vigas, evidenciando un deterioro mucho más avanzado que el observado a 250 °C, 500 °C y 750 °C.

Análisis descriptivo del daño en las vigas expuestas a 1000 °C

- **Fisuración Superficial:**

El concreto sufrió la pérdida total de cohesión de la pasta cementicia y la deshidratación completa de los compuestos hidratados. Se observa una red de fisuras profundas y conectadas, con aperturas significativas. La viga presenta un grado muy avanzado de calcificación, con fisuras que atraviesan secciones recubrimiento y con desprendimiento estructural evidente.

Figura 102

Fisuración Superficial producto del daño en vigas expuestas a 1000 °C



- **Desprendimiento Superficial:**

Se presenta un desprendimiento masivo, caracterizado por pérdida notable de espesor del recubrimiento, reducción de capas superficiales y exposición completa del agregado en varias zonas. El concreto muestra una textura arenosa y pulverulencia avanzada. Se puede evidenciar que la pérdida de cohesión es casi total y el material se encuentra altamente degradado.

Figura 103

Desprendimiento Superficial producto del daño en vigas expuestas a 1000 °C



- **Coloración:**

El concreto presenta tonalidades que varían entre amarillo claro y gris muy claro. Este cambio se debe a la descarbonatación completa del cemento, pérdida total de hidróxido de calcio, oxidación de minerales y, en algunos casos, inicio de vitrificación superficial. La tonalidad es más clara que la observada a 750 °C debido al colapso casi total de la estructura interna del material.

Figura 104

Coloración producto del daño en vigas expuestas a 1000 °C



- **Retracción por Enfriamiento:**

Durante el enfriamiento desde 1000 °C, el gradiente térmico inverso es extremadamente severo. La superficie se contrae de forma súbita mientras el núcleo permanece caliente, generando esfuerzos tensionales que provocan nuevas fisuras profundas, apertura de fracturas existentes y mayor desintegración del concreto. La pasta cementicia, prácticamente sin cohesión, se contrae más que los áridos, lo que intensifica la pérdida de adherencia y el colapso superficial. Tras el enfriamiento total, las vigas muestran fisuración generalizada, desprendimiento avanzado y gran pérdida de integridad estructural.

Figura 105

Retracción por Enfriamiento producto del daño en vigas expuestas a 1000 °C



5.4.1.5 Análisis comparativo de ensayos a flexión de vigas de concreto armado

Figura 106

Gráfico de resistencia respecto a la deformación en todas las vigas ensayadas

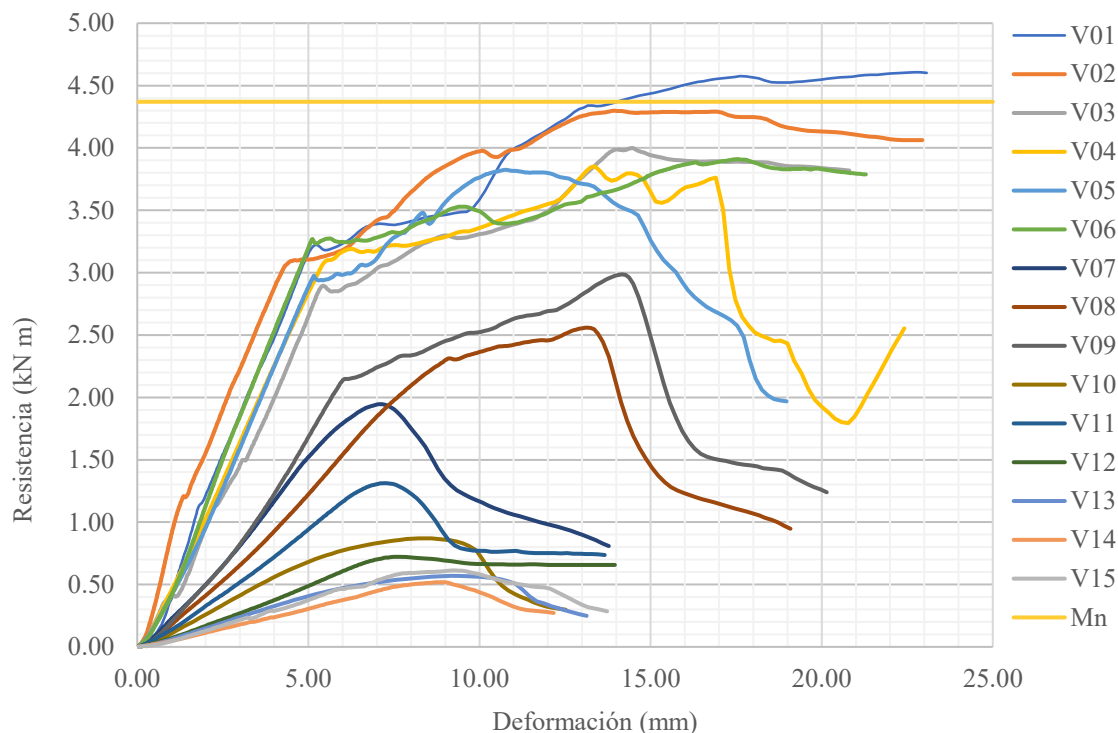


Tabla 28

Análisis comparativo de ensayos a flexión de Vigas de Concreto Armado

Análisis comparativo de resultados de tracción por flexión de vigas de concreto armado expuestas a fuego						
f _c = 210 kg/cm ²		Dimensiones: (15X20X120) cm				
Viga	Temperatura de exposición	Carga máxima		Resistencia máxima (kN m)	Resistencia promedio (kN m)	Ductilidad
		(kN)	(kg)			
V-01	Temperatura Ambiente	61.425	6263.652	4.607	4.302	4.409
V-02		57.311	5844.079	4.298		5.117
V-03		53.330	5438.114	4.000		3.837
V-04		51.372	5238.534	3.853		3.997
V-05	250 °C	50.994	5199.979	3.825	3.863	3.524
V-06		52.151	5317.913	3.911		4.166
V-07		25.946	2645.802	1.946		1.936
V-08	500 °C	34.122	3479.504	2.559	2.497	2.092
V-09		39.816	4060.102	2.986		3.312
V-10	750 °C	11.601	1182.968	0.870	0.968	2.139
V-11		17.504	1784.885	1.313		1.887
V-12		9.626	981.573	0.722		1.855
V-13		7.584	773.374	0.569		1.400
V-14	1000 °C	6.913	704.882	0.518	0.567	1.381
V-15		8.171	833.249	0.613		1.492

Figura 107

Gráfica resistencia a flexión respecto a la temperatura

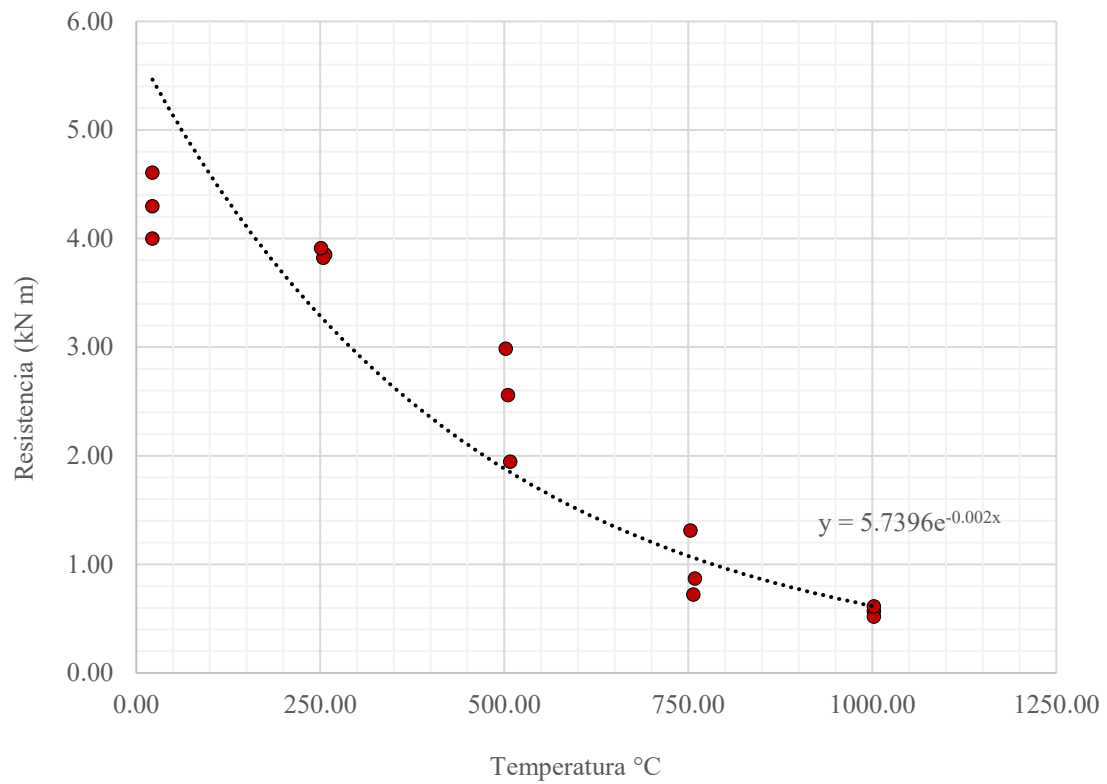
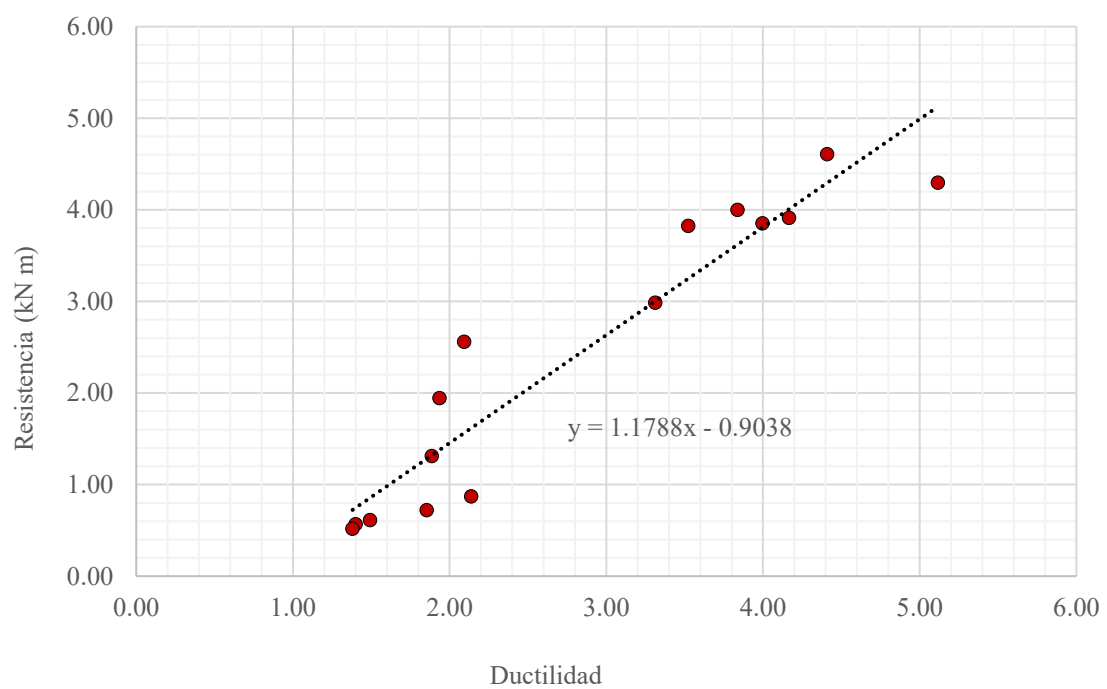
**Figura 108**

Gráfico de resistencia máxima respecto a la ductilidad en todas las vigas ensayadas



El análisis de los resultados a partir de los ensayos experimentales demuestra una reducción significativa en la resistencia a flexión de las vigas sometidas a temperaturas crecientes. Los ensayos se realizaron a temperaturas de 250°C, 500°C, 750°C y 1000°C. La reducción en la capacidad de carga y resistencia a flexión es más pronunciada a medida que la temperatura aumenta.

Tabla 29

Porcentajes de reducción de resistencia a flexión de Vigas de Concreto Armado

Temperatura de exposición	Resistencia a flexión promedio (kN m)	Porcentaje de reducción de resistencia
Temperatura Ambiente	4.302	0.00%
250 °C	3.863	10.20%
500 °C	2.497	41.95%
750 °C	0.968	77.49%
1000 °C	0.567	86.83%

De la misma forma a partir de los datos analizados se deducen las siguientes ecuaciones:

a) Ecuación de resistencia en función de la temperatura de exposición:

$$Mc = 5.739e^{-0.002T} \quad (7)$$

Donde:

- Mc : Resistencia remanente (kN m)
- T : Temperatura de exposición (°C)

b) Ecuación de resistencia con respecto a la ductilidad:

$$Mc = 1.1788d - 0.9038 \quad (8)$$

Donde:

- Mc : Resistencia remanente (kN m)
- d : Ductilidad afectada por un nivel de temperatura

5.4.2 Estudio de deflexiones

Para abordar de manera concreta las cualidades de las deflexiones en esta etapa experimental, las características cuantitativas y cualitativas serán pre establecidas por las normativas:

- a) Norma E.060 (MVCS, 2009).
- b) ACI 435R – 95 Control of deflection in concrete structures.

Quienes establecen con rigidez cuáles son las deflexiones que una viga de las características experimentadas podría soportar. La Norma E.060 (MVCS, 2009) en su Capítulo 9: REQUISITOS DE RESISTENCIA Y DE SERVICIO, puntualmente en sub capítulo 9.6: Control de deflexiones. Nos indica de manera reflexiva lo siguiente:

“En ningún caso la deflexión total del elemento (instantánea y diferida) deberá exceder de $ln/250$. Si fuese necesario, se podrá especificar una contraflecha de modo que la deflexión total menos la contraflecha no exceda este límite.”

En cuanto a la carga de servicio a utilizar la ACI 435R – 95 establece que:

“Service-load deflections correspond to the linear portion of the load-deflection curve, typically up to about 50 to 60 percent of the ultimate load.” Con traducción estipulada a No utilizar la carga máxima, en su lugar la carga de servicio especificada entre el 50% a 60% de la misma.

Bajo estos conceptos previos, el análisis cuantitativo de las deflexiones máximas para cada temperatura de experimentación se realizó de la siguiente manera.

$$Límite = \frac{Ln}{250} = \frac{900}{250} = 3.6 \text{ mm}$$

5.4.2.1 Resultados de vigas a temperatura ambiente

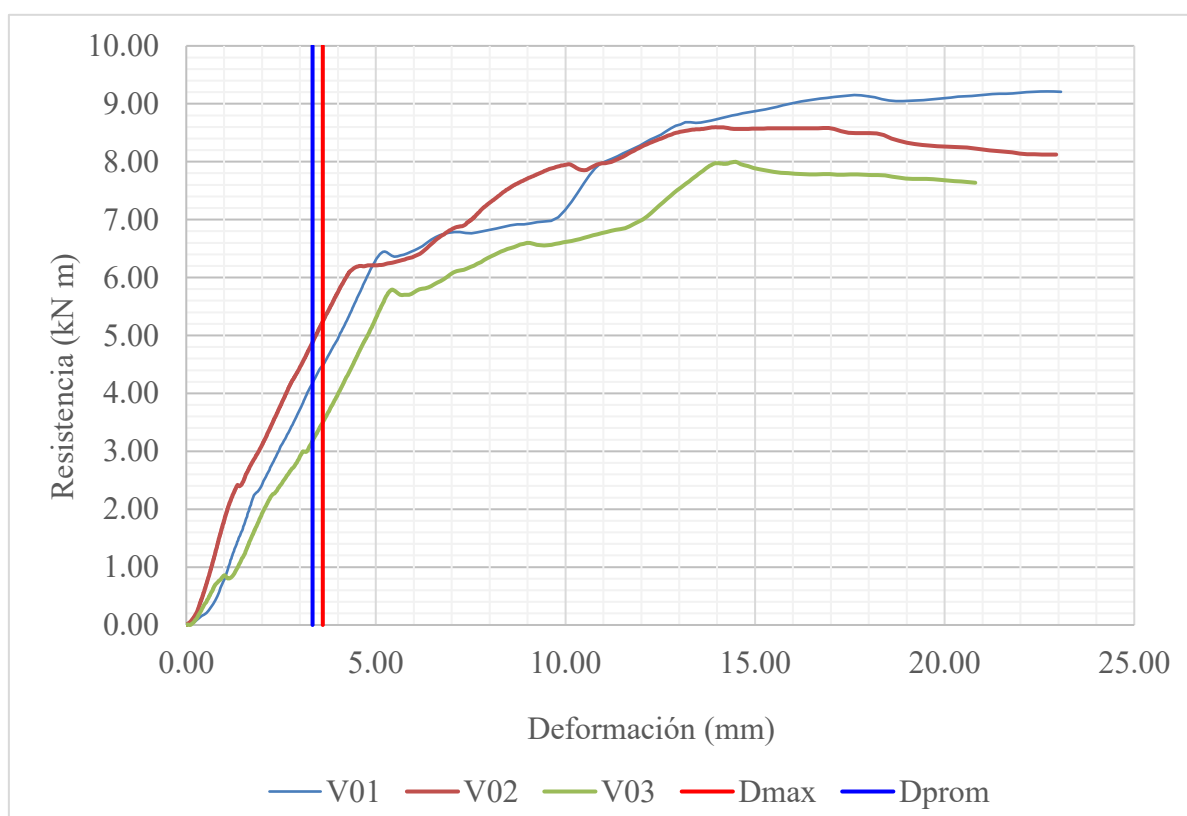
Tabla 30

Deflexiones en vigas a temperatura ambiente

Temperatura	Ítem	Límite General (mm)	Carga Máxima (Kg)	Carga de Servicio		Deflexión 50% (mm)	Deflexión 60% (mm)	Comparativa	
				Carga 50% (Kg)	Carga 60% (Kg)			Deflexión Máxima	
Temperatura Ambiente	V-01	3.6	6263.65	2924.76	3765.72	3.45	3.64	3.55	Si cumple
	V-02	3.6	5844.08	2924.76	3505.81	2.87	3.54	3.20	Si cumple
	V-03	3.6	5438.11	2717.47	3267.68	2.89	3.56	3.23	Si cumple

Figura 109

Gráfica representativa de deflexiones a temperatura ambiente



Considerando el límite establecido por normativa.

5.4.2.2 Resultados de vigas a 250°C

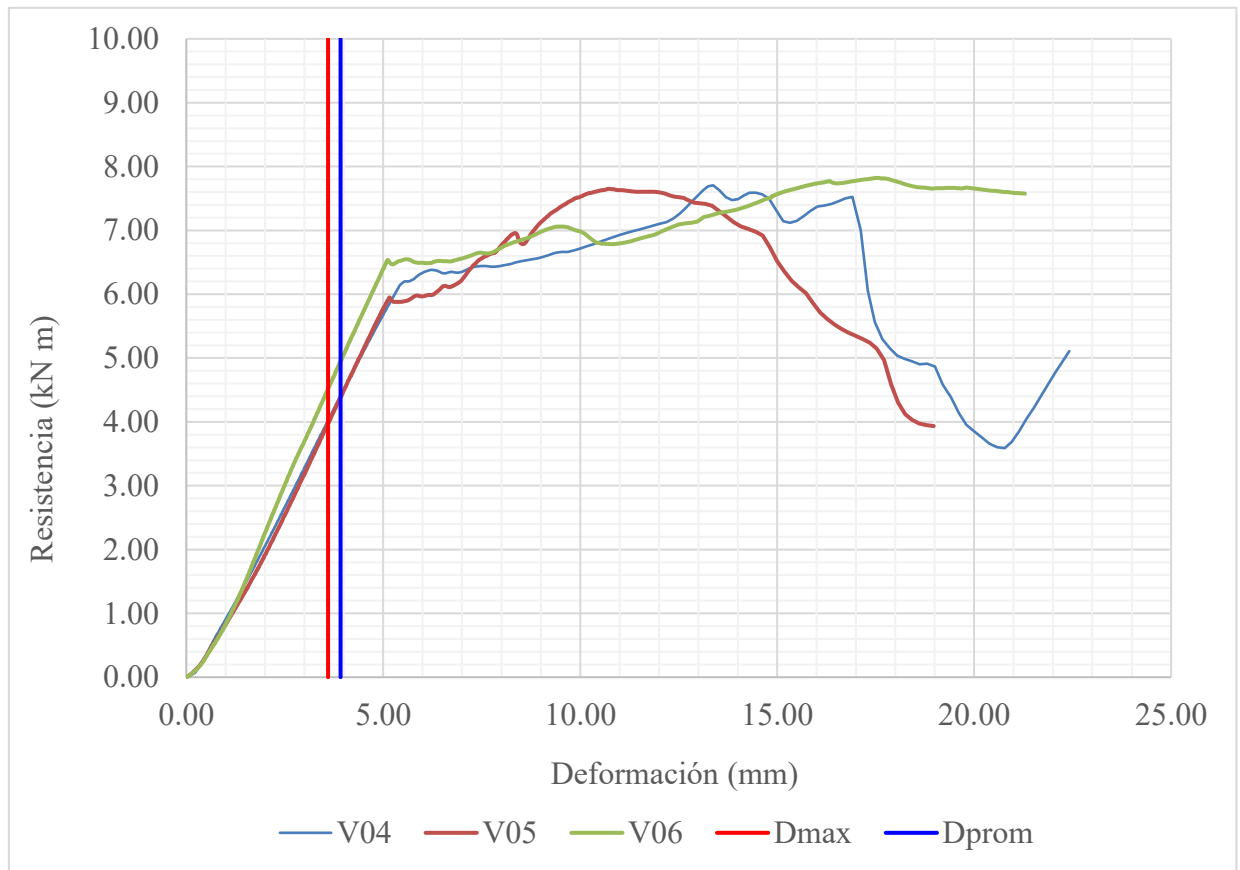
Tabla 31

Deflexiones en vigas a 250 °C

Temperatura	Ítem	Límite General (mm)	Carga Máxima (Kg)	Carga de Servicio		Deflexión 50% (mm)	Deflexión 60% (mm)	Comparativa	
				Carga 50% (Kg)	Carga 60% (Kg)			Deflexión Máxima	
250 °C	V-04	3.6	5238.53	2623.58	3139.31	3.47	4.09	3.78	No cumple
	V-05	3.6	5199.98	2601.80	3118.90	3.48	4.07	3.78	No cumple
	V-06	3.6	5317.91	2658.96	3190.75	3.83	4.55	4.19	No cumple

Figura 110

Gráfica representativa de deflexiones a 250°C



Considerando el límite establecido por normativa.

5.4.2.3 Resultados de vigas a 500°C

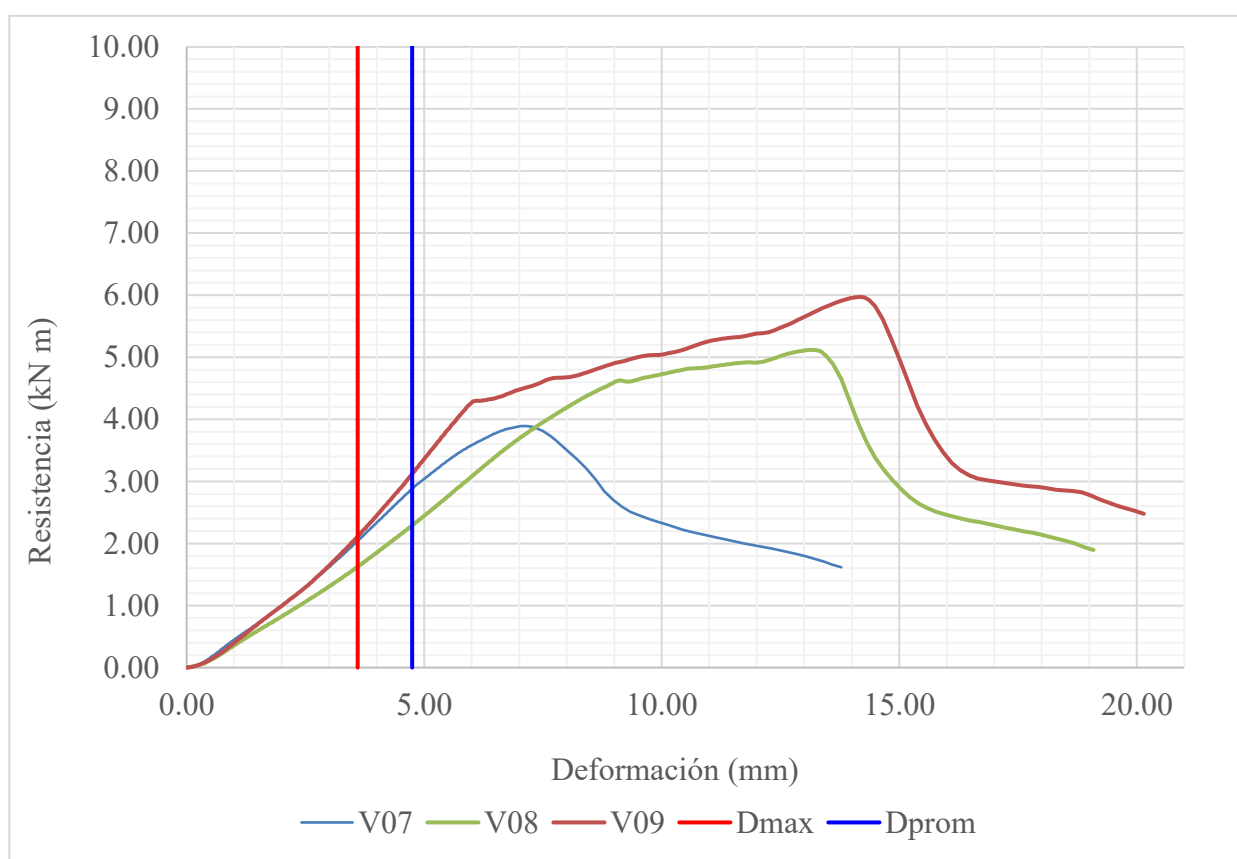
Tabla 32

Deflexiones en vigas a 500 °C

Temperatura	Ítem	Límite General (mm)	Carga Máxima (Kg)	Carga de Servicio		Deflexión 50% (mm)	Deflexión 60% (mm)	Comparativa	
				Carga 50% (Kg)	Carga 60% (Kg)			Deflexión Máxima	
500 °C	V-07	3.6	2645.80	1321.77	1585.30	3.47	3.99	3.73	No cumple
	V-08	3.6	3479.50	1739.98	2088.79	5.18	5.99	5.59	No cumple
	V-09	3.6	4060.10	2025.74	2434.43	4.61	5.23	4.92	No cumple

Figura 111

Gráfica representativa de deflexiones a 500°C



Considerando el límite establecido por normativa.

5.4.2.4 Resultados de vigas a 750°C

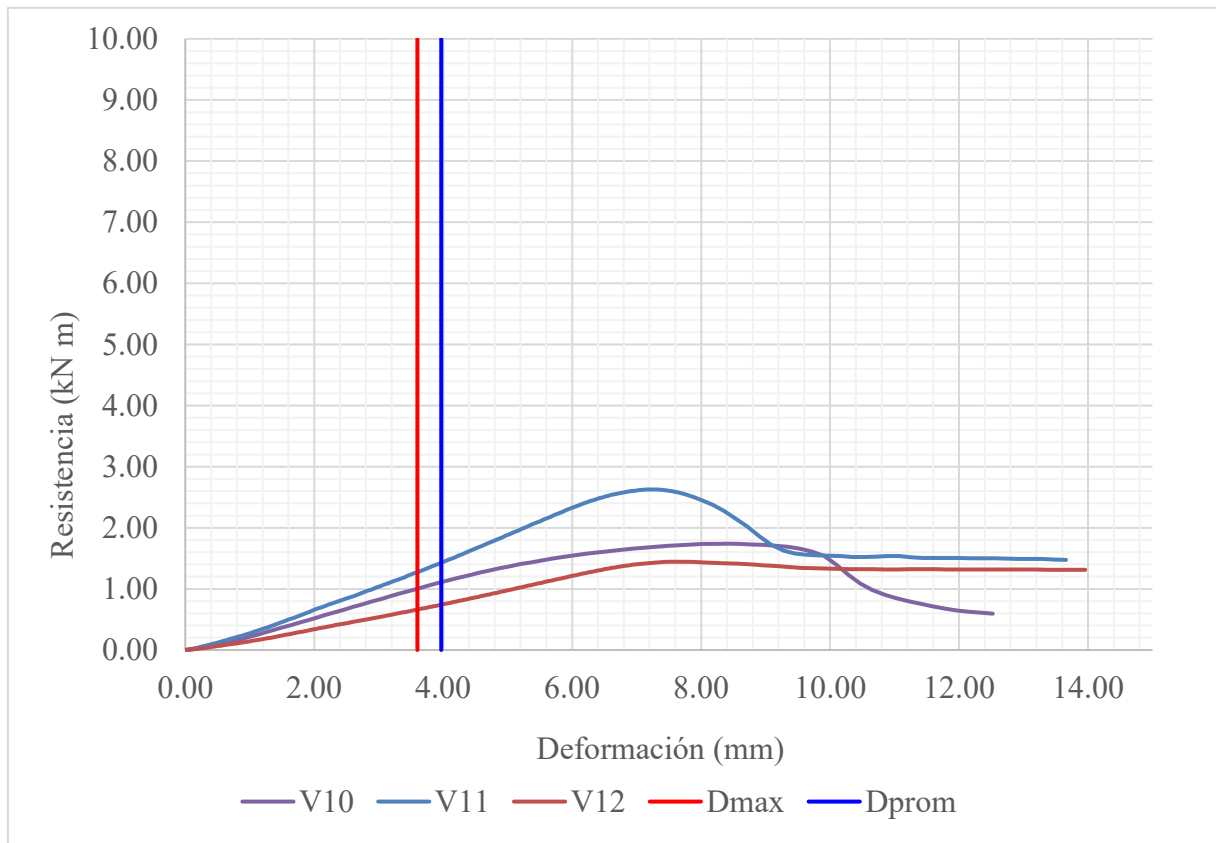
Tabla 33

Deflexiones en vigas a 750 °C

Temperatura	Ítem	Límite General (mm)	Carga Máxima (Kg)	Carga de Servicio		Deflexión 50% (mm)	Deflexión 60% (mm)	Comparativa	
				Carga 50% (Kg)	Carga 60% (Kg)			Deflexión Máxima	
750 °C	V-10	3.6	1182.97	600.10	720.30	3.62	3.79	3.71	No cumple
	V-11	3.6	1784.88	889.49	1073.65	3.68	4.33	4.00	No cumple
	V-12	3.6	981.57	489.43	590.58	3.87	4.54	4.20	No cumple

Figura 112

Gráfica representativa de deflexiones a 750°C



Considerando el límite establecido por normativa.

5.4.2.5 Resultados de vigas a 1000°C

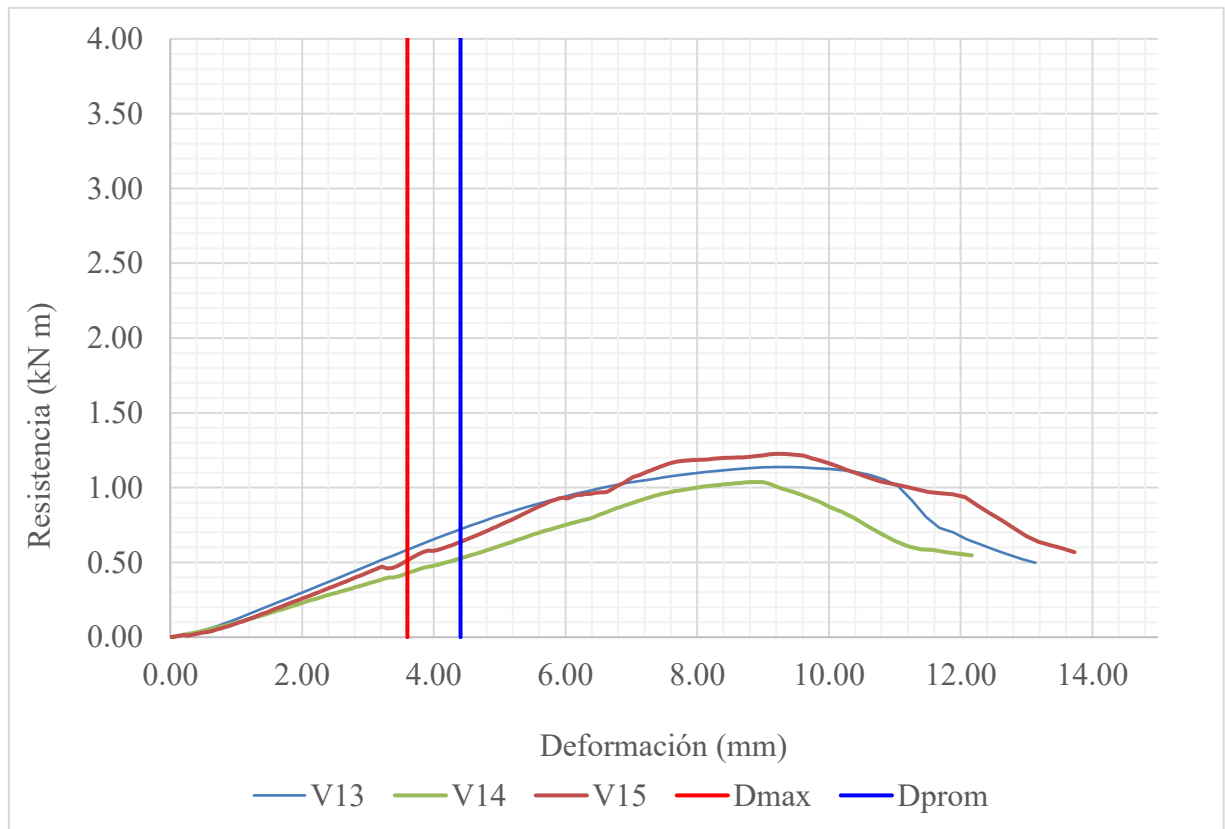
Tabla 34

Deflexiones en vigas a 1000 °C

Temperatura	Ítem	Límite General (mm)	Carga Máxima (Kg)	Carga de Servicio		Deflexión 50% (mm)	Deflexión 60% (mm)	Comparativa	
				Carga 50% (Kg)	Carga 60% (Kg)			Deflexión Máxima	
1000 °C	V-13	3.6	773.37	392.36	470.83	3.56	4.23	3.89	No cumple
	V-14	3.6	704.88	351.08	425.02	4.33	5.11	4.72	No cumple
	V-15	3.6	833.25	418.67	501.22	4.28	4.95	4.61	No cumple

Figura 113

Gráfica general de deflexiones a 1000°C



Considerando el límite establecido por normativa.

5.5 Acero grado 60 de 3/8"

5.5.1 Ensayos a tracción

Este ensayo nos permitió puntualmente el reconocimiento de la resistencia a la tracción del acero, su límite de fluencia, módulo de elasticidad y su estricción bajo conocimiento de las medidas de sus diámetros antes y después de la experimentación.

5.5.1.1 Resultados de acero a 250°C

Tabla 35

Resultados del estudio de estricción de aceros a 250°C

Ítem	Temperatura (°C)	Diámetros - Antes	Diámetros - Después	Estricción
		D prom (mm)	D prom (mm)	Z (%)
V-04	250	9.5	5.9	61.76
V-06	250	9.5	6.1	59.11

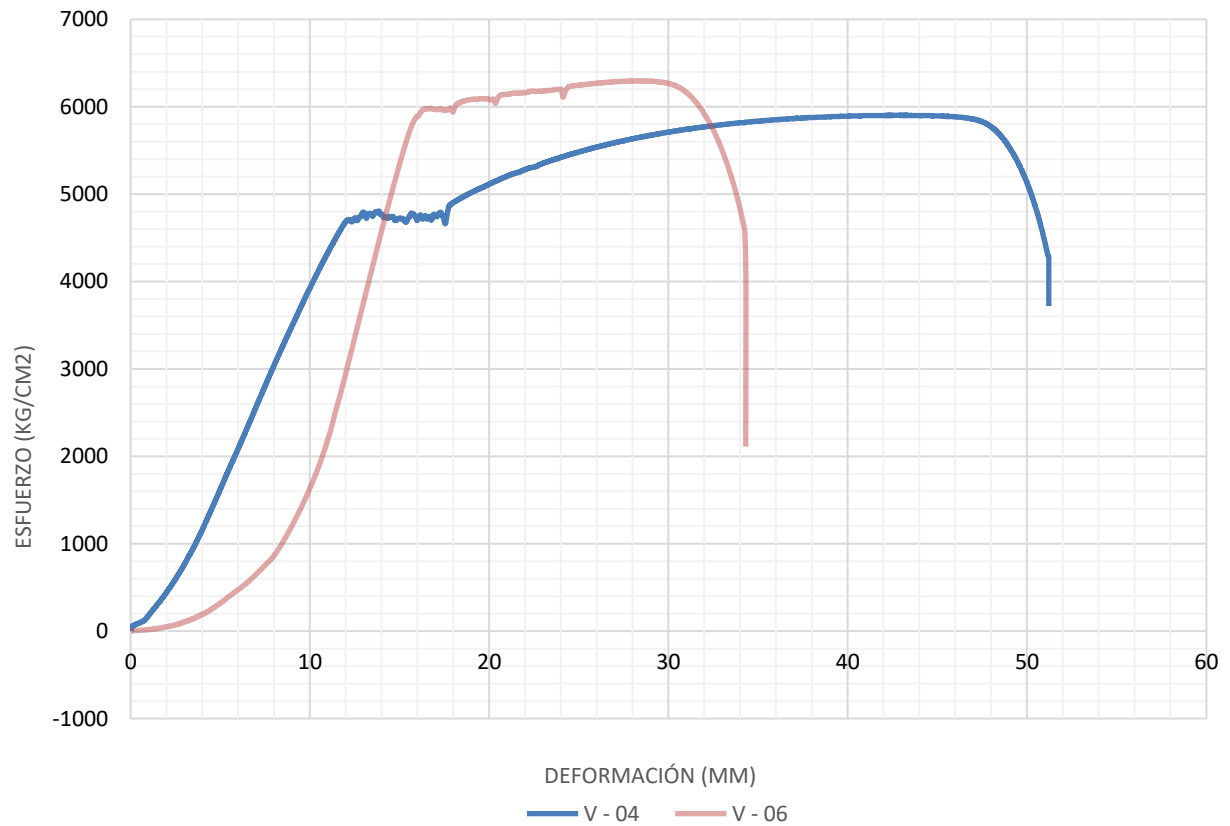
Tabla 36

Resultados del estudio de estricción de aceros a 250°C

Ítem	Temperatura (°C)	Diámetro (mm)	Área (mm ²)	Límite de Fluencia (kg/cm ²)	Módulo de Elasticidad	Esfuerzo (kg/cm ²)	Resistencia a Tracción (kg/cm ²)
V-04	250	9.5	70.88	4800	2.01E+06	3718.85	5901.34
V-06	250	9.5	70.88	5950	1.88E+06	3718.85	6296.36

Figura 114

Gráfica esfuerzo respecto a la deformación para aceros a 250°C



5.5.1.2 Resultados de acero a 500°C

Tabla 37

Resultados del estudio de estricción de aceros a 500°C

Ítem	Temperatura (°C)	Diámetros - Antes	Diámetros - Después	Estricción
		D prom (mm)	D prom (mm)	Z (%)
V-08	250	9.5	6.0	59.78
V-09	250	9.50	6.1	58.43

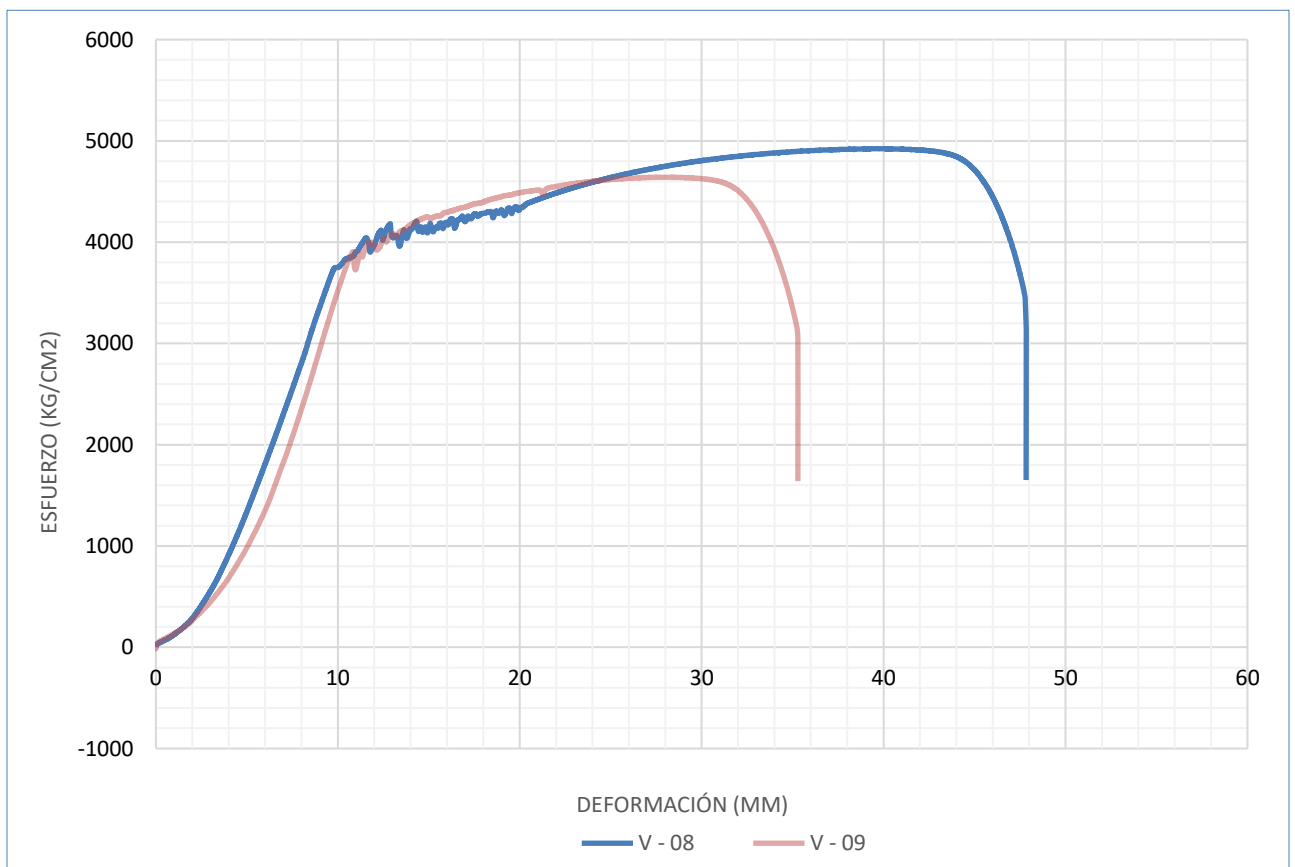
Tabla 38

Resultados del estudio de estricción de aceros a 500°C

Ítem	Temperatura (°C)	Diámetro (mm)	Área (mm ²)	Límite de Fluencia (kg/cm ²)	Módulo de Elasticidad	Esfuerzo (kg/cm ²)	Resistencia a Tracción (kg/cm ²)
V-08	500	9.5	70.88	3750	1.93E+06	3147.18	4922.47
V-09	500	9.5	70.88	3900	1.75E+06	3051.55	4640.58

Figura 115

Gráfica esfuerzo respecto a la deformación para aceros a 500°C



5.5.1.3 Resultados de acero a 750°C

Tabla 39

Resultados del estudio de estricción de aceros a 750°C

Ítem	Temperatura (°C)	Diámetros - Antes	Diámetros - Después	Estricción
		D prom (mm)	D prom (mm)	Z (%)
V-11	750	9.5	6.2	57.06
V-12	750	9.50	6.4	55.32

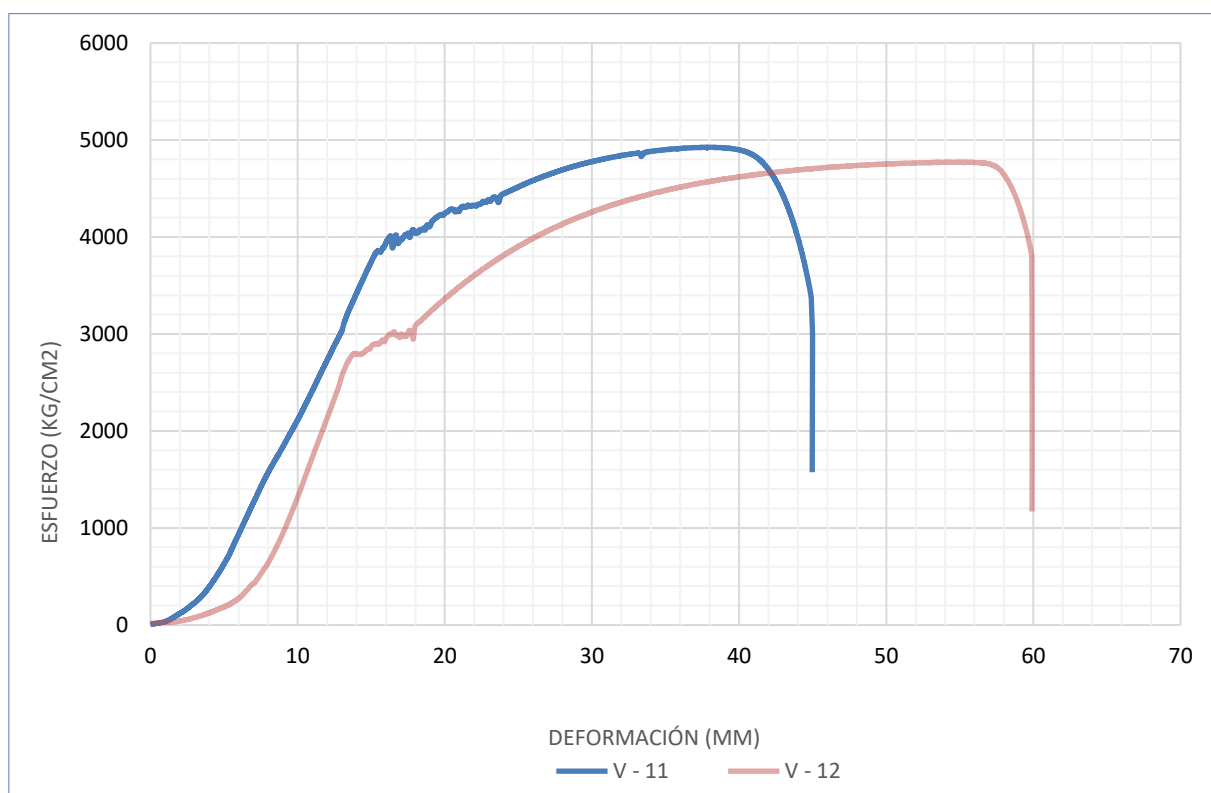
Tabla 40

Resultados del estudio de estricción de aceros a 750°C

Ítem	Temperatura (°C)	Diámetro (mm)	Área (mm ²)	Límite de Fluencia (kg/cm ²)	Módulo de Elasticidad	Esfuerzo (kg/cm ²)	Resistencia a Tracción (kg/cm ²)
V-11	750	9.5	70.88	3600	1.51E+06	2997.97	4625.44
V-12	750	9.5	70.88	3900	1.92E+06	2202.20	4628.20

Figura 116

Gráfica esfuerzo respecto a la deformación para aceros a 750°C



5.5.1.4 Resultados de acero a 1000°C

Tabla 41

Resultados del estudio de estricción de aceros a 1000°C

Ítem	Temperatura (°C)	Diámetros - Antes	Diámetros - Después	Estricción
		D prom (mm)	D prom (mm)	Z (%)
V-13	1000	9.50	6.3	56.02
V-14	1000	9.0	6.25	51.77
V-15	1000	9.0	6.28	51.03

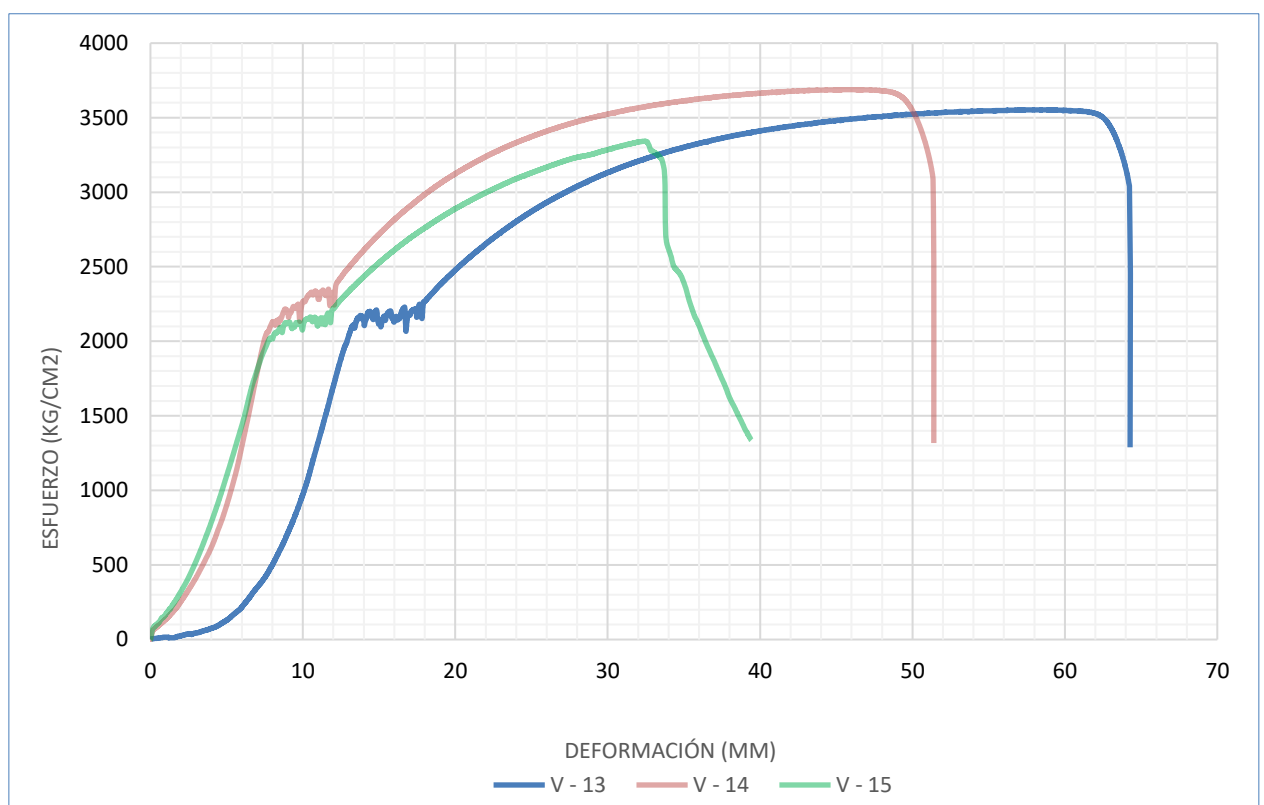
Tabla 42

Resultados del estudio de estricción de aceros a 1000°C

Ítem	Temperatura (°C)	Diámetro (mm)	Área (mm ²)	Límite de Fluencia (kg/cm ²)	Módulo de Elasticidad	Esfuerzo (kg/cm ²)	Resistencia a Tracción (kg/cm ²)
V-13	1000	9.13	66.91	2113	1.48E+06	2454.03	3551.02
V-14	1000	9	63.62	2070	1.45E+06	2530.76	3687.68
V-15	1000	9	63.62	2030	1.05E+06	1337.69	3341.86

Figura 117

Gráfica esfuerzo respecto a la deformación para aceros a 1000°C



5.5.2 Comparación de resultados finales del acero

5.5.2.1 Modulo de elasticidad de aceros (250, 500, 750 y 1000 °C)

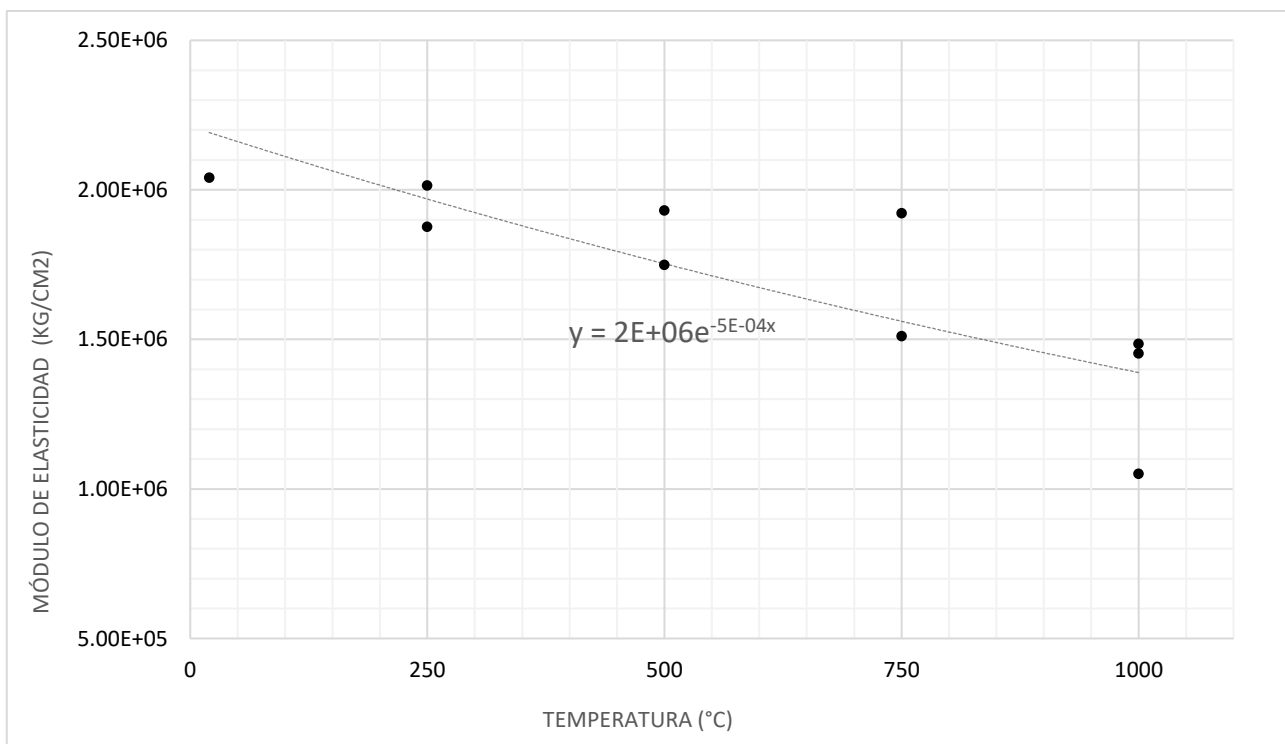
Tabla 43

Tabla comparativa general de módulo de elasticidad

Ítem	Temperatura (°C)	Módulo de Elasticidad (Kg/cm2)		%
T. A	20	2.04E+06	2.04E+06	0
V-04	250	2.01E+06	1.94E+06	4.64
V-06	250	1.88E+06		
V-08	500	1.93E+06	1.84E+06	9.82
V-09	500	1.75E+06		
V-11	750	1.51E+06	1.72E+06	15.88
V-12	750	1.92E+06		
V-13	1000	1.48E+06	1.33E+06	34.85
V-14	1000	1.45E+06		
V-15	1000	1.05E+06		

Figura 118

Gráfica de variación del módulo de elasticidad vs temperatura



5.5.2.2 Resistencia a tracción de aceros (250, 500, 750 y 1000 °C)

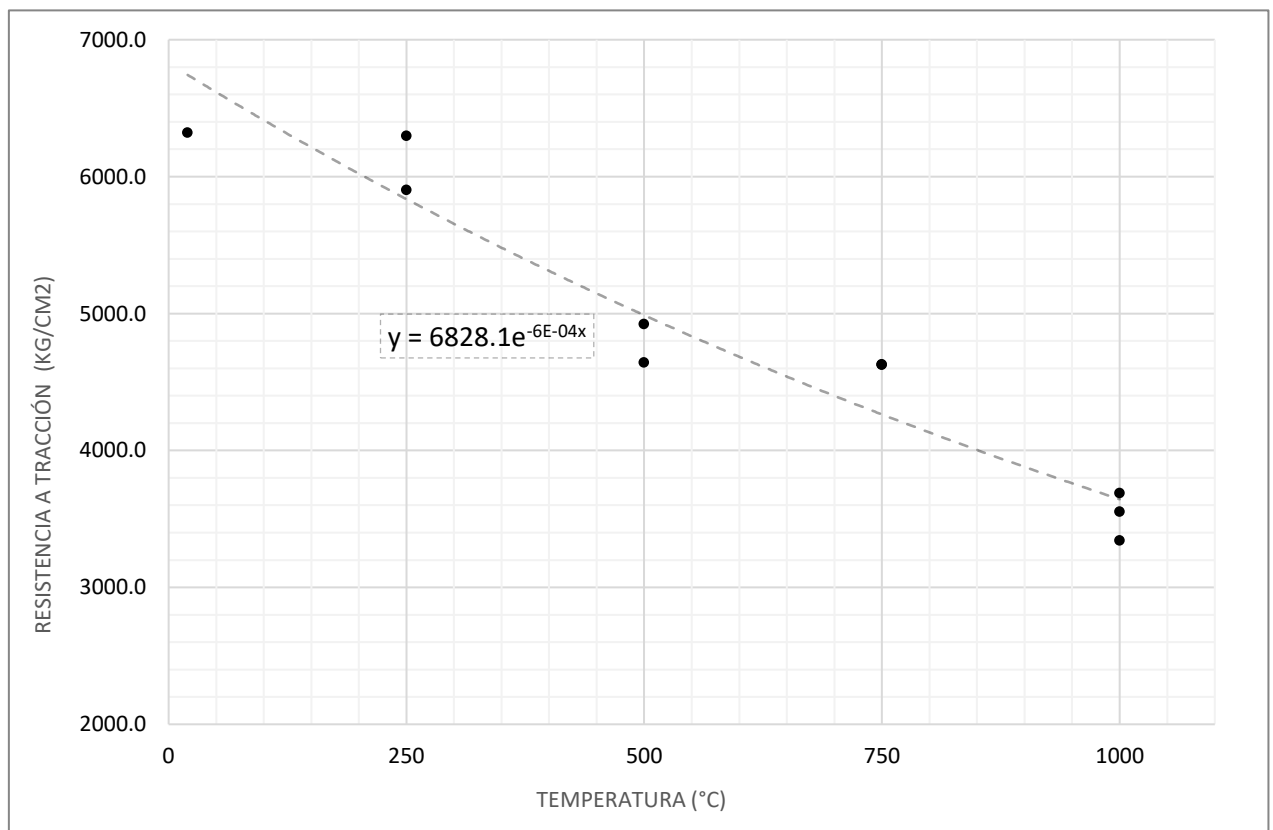
Tabla 44

Tabla comparativa general de resistencia a tracción

Ítem	Temperatura (°C)	Resistencia a Tracción (kg/cm ²)		%
T. A	20	6320.0	6320.0	0
V-04	250	5901.3	6098.9	3.5
V-06	250	6296.4		
V-08	500	4922.5	4781.5	24.34
V-09	500	4640.6		
V-11	750	4625.4	4626.8	26.79
V-12	750	4628.2		
V-13	1000	3551.0	3526.9	44.2
V-14	1000	3687.7		
V-15	1000	3341.9		

Figura 119

Gráfica de variación de la resistencia a tracción vs temperatura



5.5.2.3 Estricción, diámetros (250, 500, 750 y 1000 °C)

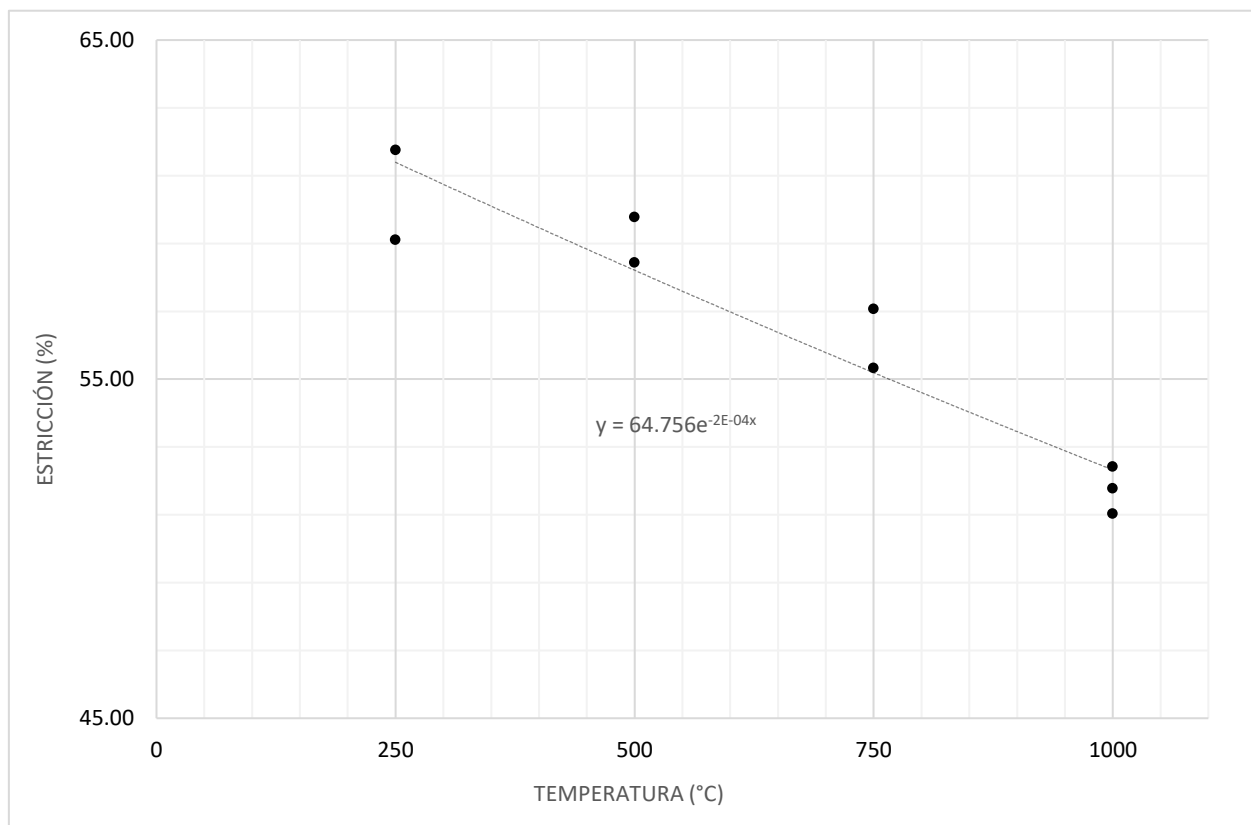
Tabla 45

Tabla comparativa general de la estricción

Ítem	Temperatura (°C)	Estricción (%)	
V-04	250	61.76	60.43
V-06		59.11	
V-08	500	59.78	59.10
V-09		58.43	
V-11	750	57.06	56.19
V-12		55.32	
V-13	1000	52.42	51.74
V-14		51.77	
V-15		51.03	

Figura 120

Gráfica de variación de la estricción vs temperatura



5.6 Discusión de resultados

5.6.1 Respecto a los antecedentes

5.6.1.1 Vigas de concreto armado

Los resultados obtenidos en la presente investigación evidencian que la exposición de las vigas de concreto armado a altas temperaturas genera una disminución progresiva de su desempeño estructural, manifestada principalmente en la reducción de la resistencia a flexión y de la ductilidad. Este comportamiento concuerda con lo reportado en estudios previos revisados en los antecedentes, lo que refuerza la validez de los resultados experimentales alcanzados.

En relación con el primer antecedente internacional desarrollado por Ureña & Alvarado (2018), se observa una clara correspondencia con los hallazgos de esta investigación, ya que en dicho estudio se confirma una reducción significativa y progresiva de la resistencia a flexión conforme aumenta la temperatura de exposición al fuego. Mientras que resultados muestran disminuciones cercanas al 50 % a 900 °C y del 90.7 % a 1050 °C, en la presente tesis se registran reducciones del 77.49 % a 750 °C y del 86.83 % a 1000 °C, evidenciando una tendencia decreciente consistente del comportamiento mecánico bajo condiciones térmicas severas. Asimismo, coinciden en que el daño térmico no solo compromete la capacidad resistente, sino que también altera la respuesta deformacional, incrementando la fragilidad y favoreciendo modos de falla más severos.

De manera similar, los resultados reportados por Alvarado (2016), quien identifica pérdidas de resistencia a flexión de hasta el 75 % a temperaturas superiores a 1050 °C, guardan coherencia con los resultados obtenidos en esta investigación. Ambos estudios confirman que la degradación térmica afecta simultáneamente al concreto y al acero de refuerzo, reduciendo la capacidad portante y la ductilidad de las vigas, y promoviendo comportamientos estructurales más frágiles a medida que aumenta la severidad térmica.

Por otro lado, los resultados obtenidos por Navarro & Colque (2021) evidencian que la resistencia a flexión de las vigas de concreto armado disminuye significativamente con el incremento de la temperatura de exposición al fuego, alcanzando reducciones cercanas al 40 % a temperaturas del orden de 750 °C. Esta tendencia es consistente con los resultados de la presente investigación, en la que se observa una reducción progresiva tanto de la resistencia a flexión como de la capacidad deformacional conforme se incrementa la temperatura. En ambos estudios, la acción térmica conduce a un comportamiento más frágil y a una menor capacidad de carga residual, confirmando que la exposición al fuego afecta de manera crítica el desempeño estructural de las vigas de concreto armado.

5.6.1.2 Acero grado 60 de 3/8"

En la presente investigación los resultados logrados evidencian de manera clara que el acero de refuerzo utilizado en las vigas de concreto armado experimenta una reducción significativa de sus propiedades mecánicas conforme aumenta la temperatura, misma que coincide con las tendencias reportadas en los estudios detallados previamente y revisados en los antecedentes.

En correlación con el primer antecedente internacional Ureña & Alvarado (2018), el calentamiento progresivo del acero genera pérdida palpable de adherencia con el concreto, reducción del módulo de elasticidad y un acrecentamiento de la fluencia, factores que repercuten directamente en la disminución de la capacidad portante del sistema estructural, viga de concreto armado para los experimentos. En nuestros ensayos, esta degradación se vuelve evidente desde los 250 °C, intensificándose en los rangos de 500 °C a 750 °C, donde el acero adquiere un nivel crítico de pérdida de rigidez.

Asimismo, los antecedentes nacionales (Meza, 2019; Aréstegui, 2022) señalan que la resistencia en general del acero disminuye aceleradamente cuando supera los 500 °C,

situación que se refleja en los resultados experimentales. Donde el acero grado 60 experimenta la pérdida de ductilidad, efectos atribuibles a la reducción del módulo de elasticidad del acero documentada también por Interempresas (2021), que expone una caída marcada de la rigidez a partir de los 300 – 400 °C.

Además, otro semblante coincidente con los antecedentes es la restricción o “necking” del acero observada a altas temperaturas. Así como lo mencionan Alvarado (2016) y Ureña & Aguirre (2018), el fenómeno de estricción se presenta cuando el acero ingresa a la zona de fluencia y pierde sección efectiva debido a la acumulación de deformación plástica.

5.6.2 Respecto a los objetivos

5.6.2.1 Vigas de concreto armado

En concordancia con los objetivos planteados en la investigación, el análisis integral del comportamiento de las vigas de concreto armado permite evidenciar que la exposición a temperaturas elevadas por acción directa del fuego genera una degradación progresiva y significativa de su desempeño estructural. Esta degradación se manifiesta principalmente en la reducción de la capacidad resistente a flexión y en una disminución progresiva de la ductilidad del elemento, aspectos claramente observados en las curvas resistencia respecto a la deformación obtenidas para los distintos niveles térmicos evaluados.

El comportamiento de las vigas demuestra que, a medida que la temperatura aumenta, se produce una alteración conjunta del concreto y del acero de refuerzo, lo que afecta el mecanismo resistente global de la sección. En las vigas sometidas a temperaturas moderadas, la capacidad de carga aún se mantiene parcialmente, aunque con una menor rigidez y una respuesta post-fisuración menos estable. Sin embargo, a temperaturas elevadas, el deterioro térmico provoca una reducción notable del momento resistente y

una respuesta estructural más frágil, caracterizada por una menor capacidad de redistribución de esfuerzos y una pérdida acelerada de resistencia después del pico máximo.

Asimismo, se observa que las vigas expuestas al fuego presentan una mayor apertura y propagación de fisuras, junto con incrementos significativos de la curvatura, lo que indica un compromiso severo de la capacidad deformacional del elemento. Este comportamiento confirma que, si bien el diseño original de las vigas prioriza un mecanismo dúctil dominado por flexión, la acción térmica modifica sustancialmente dicho mecanismo, favoreciendo respuestas más frágiles y modos de falla no deseados, especialmente en ausencia de refuerzo transversal.

5.6.2.2 Acero grado 60 de 3/8"

Contrastando con los objetivos primordiales de la investigación, analizamos también la discusión desde una perspectiva más profunda al analizar al acero estructural, parte importante de las cualidades representativas de la viga de concreto armado experimentada en la investigación.

La influencia que tuvo el acero estructural en el objetivo principal de determinar la disminución de la resistencia a flexión, se percibe a través de la pérdida de rigidez del acero, evidenciada mediante la reducción del módulo de elasticidad y la aparición precoz de fluencia térmica, explica la marcada reducción del momento resistente de las vigas.

Asu vez el acero dejó de trabajar dentro del rango elástico y su contribución a la resistencia disminuyó, reflejándose en un incremento de la curvatura y mayor apertura de fisuras, apreciado en las descripciones cualificadas de las diversas temperaturas. Lo cual concuerda con lo establecido por la Norma E.060 (MVCS, 2009) respecto a que la falla por tracción del acero domina el comportamiento de secciones.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Conclusión General

El incremento de temperatura por acción directa del fuego redujo progresivamente la resistencia a flexión de las vigas de concreto armado en 10.20 %, 41.95 %, 77.49 % y 86.83 % a 250, 500, 750 y 1000 °C, respectivamente e incrementó las deflexiones máximas hasta superar los límites admisibles de la Norma E.060 a partir de los 500 °C, nivel que constituye el umbral crítico de daño estructural irreversible. La degradación simultánea del concreto y del acero de refuerzo grado 60 comprometió de forma conjunta la capacidad resistente, la rigidez y la ductilidad del elemento, evidenciando que una viga expuesta a temperaturas iguales o superiores a 500 °C no garantiza condiciones seguras de servicio.

Conclusiones Específicas

Conclusión Específica 1:

Las propiedades físicas de las vigas se deterioraron escalonadamente con la temperatura: fisuras superficiales y retracción a 250 °C, desprendimiento del recubrimiento a 500 °C, pérdida de adherencia acero-concreto a 750 °C, y desconchamiento generalizado con estricción del acero a 1000 °C, confirmando que el fuego afecta negativamente la estructura en proporción directa al nivel térmico alcanzado.

Conclusión Específica 2:

La resistencia a flexión se redujo progresivamente de 4.302 kN·m a temperatura ambiente hasta 0.567 kN·m a 1000 °C, registrando una caída de 86.83 % a 1000 °C, con la caída más crítica entre 500 °C y 750 °C donde se perdió más del 35.54% de capacidad en ese solo intervalo, confirmando que la temperatura por acción directa del fuego reduce la

resistencia a flexión en un porcentaje significativo que compromete la función estructural del elemento.

Conclusión Específica 3:

Las deflexiones máximas superaron los límites admisibles de la Norma E.060 desde los 500 °C y registrándose deflexiones máximas de 3.33 mm a 250 °C, 4.75 mm a 500 °C, 3.97 mm a 750 °C y 4.41 mm a 1000 °C , confirmando que el fuego reduce no solo la resistencia sino también la capacidad de deformación y disipación de energía, descartando la reutilización segura del elemento a partir de los 750 °C.

6.2 Recomendaciones

Se recomienda que toda viga de concreto armado expuesta a temperaturas iguales o superiores a 500 °C sea sometida obligatoriamente a una evaluación estructural detallada, incluyendo ensayos destructivos y no destructivos, antes de autorizar su reutilización.

Para futuras investigaciones, se recomienda analizar el comportamiento de vigas con diferentes cuantías de acero, presencia de estribos y distintos recubrimientos, con el fin de evaluar su influencia en la resistencia residual frente a incendios.

Para vigas expuestas a temperaturas del orden de 750 °C o mayores, se recomienda descartar su reutilización estructural, debido a la pérdida severa de resistencia, rigidez y ductilidad observada experimentalmente.

Se recomienda incorporar en futuras actualizaciones de la Norma E.060 (MVCS, 2009) lineamientos específicos para la evaluación post - incendio, considerando parámetros como reducción de resistencia, deflexiones residuales y degradación del acero de refuerzo.

En edificaciones con riesgo elevado de incendio, se recomienda incrementar el recubrimiento del acero de refuerzo y emplear concretos de mayor densidad y menor relación agua-cemento, con el fin de retrasar la degradación térmica del acero.

Finalmente se recomienda evaluar el efecto de la fase de enfriamiento (rápido y lento) sobre la resistencia residual, ya que en la práctica los incendios no presentan condiciones térmicas perfectamente controladas como las de laboratorio.

REFERENCIAS

- Zapata, A. (2022). Tipos de concreto Portland. Obtenido de <https://www.classroom.com/tecnologiadelconcreto>
- Arellano, E. (2019). *Gerdau Corsa*. Obtenido de <https://www.gerdaucorsa.com>
- SENCICO. (2019). *Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento*. Obtenido de <https://www.cip.org.pe/publicaciones/2021/enero/portal/e.060-concreto-armado-sencico.pdf>
- Faller, H. (2004). *Fire damage assessment of reinforced concrete structures*. Berlín: Ernst & Sohn.
- Ureña Aguirre, M. E., & Alvarado Aguirre, G. J. (2018). *Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/5703/570360789001/html/>
- Agrawal, A., & Kodur, V. (2020). Behavior of reinforced concrete elements under fire exposure. *Journal of Structural Engineering*.
- Bespin, A. (2018). Efecto del fuego sobre la resistencia a tracción del acero de refuerzo en losas nervadas. <https://www.redalyc.org/journal/707/70757668012/html/>
- Navarro, C., & Colque, L. (2021). Comportamiento del concreto reforzado sometido a altas temperaturas por incidencia del fuego directo en la región Tacna [Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna].
- Rodríguez, C. M. (2015). Resistencia, deformabilidad y comportamiento estructural del concreto armado. Editorial Académica.
- Calderón, M. G. U. (2019). Comportamiento del concreto estructural expuesto al fuego [Tesis, Escuela Colombiana de Ingeniería]. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstreams/7e521fcd-aa02-4822-9cac-b0e75392d5ba/download>
- Cachi, C., & Espinoza, E. (2019). Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas del concreto reforzado sometido a variación de temperatura.
- Helene, P. (2010). *ALCONPAT*. Obtenido de <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2025/02/10.08.17-Comportamiento-de-las-Estructuras-de-Concreto-Frente-al-Fuego.pdf>
- American Concrete Institute. (2002). ACI 211.1 – Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete. <https://www.concrete.org>
- American Society for Testing and Materials. (2020). ASTM E119-20: Standard test methods for fire tests of building construction and materials. <https://www.astm.org>

- ISO. (2016). *International Organization for Standardization*. Obtenido de International Organization for Standardization
- Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2011). NTP 400.017: Determinación del peso unitario y vacíos de agregados. <https://www.inacal.gob.pe>
- Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2013). NTP 400.022: Peso Unitario y vacío de los agregados. <https://www.inacal.gob.pe>
- Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2016). NTP 400.010: Muestreo de agregados. <https://www.inacal.gob.pe>
- Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2016b). NTP 400.018: Material fino que pasa el tamiz N° 200 por lavado. <https://www.inacal.gob.pe>
- Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2016c). NTP 400.021: Peso específico y absorción del agregado grueso. <https://www.inacal.gob.pe>
- Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2016d). NTP 339.078: Ensayo de flexión en vigas de concreto. <https://www.inacal.gob.pe>
- Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2016e). NTP 339.183: Elaboración y curado de especímenes de concreto. <https://www.inacal.gob.pe>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2016). Norma Técnica E.060 – Concreto armado. <https://www.gob.pe/institucion/vivienda>
- Mehta, P., & Monteiro, P. (2014). *Concrete: Microstructure, properties, and materials*. New York: McGraw-Hill Education.
- MVCS. (2009). *Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento*. Obtenido de <https://www.cip.org.pe/publicaciones/2021/enero/portal/e.060-concreto-armado-sencico.pdf>
- NFPA. (2024). *National Fire Protection Association*. Obtenido de <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/nfpa-10-standard-development/10>
- Sanchez , D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Biblioteca de la construcción.

ANEXOS

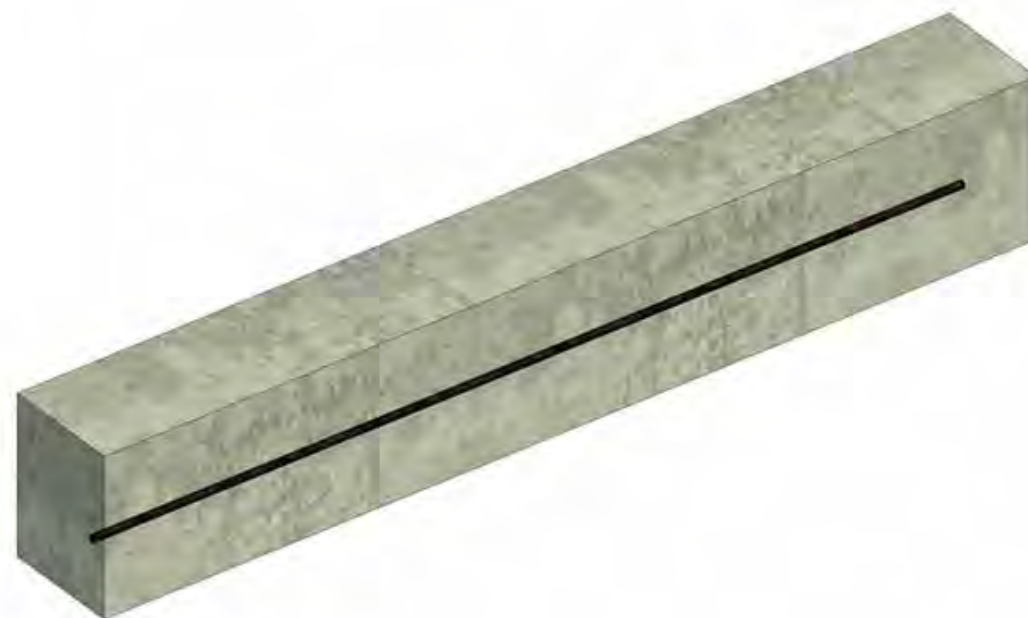
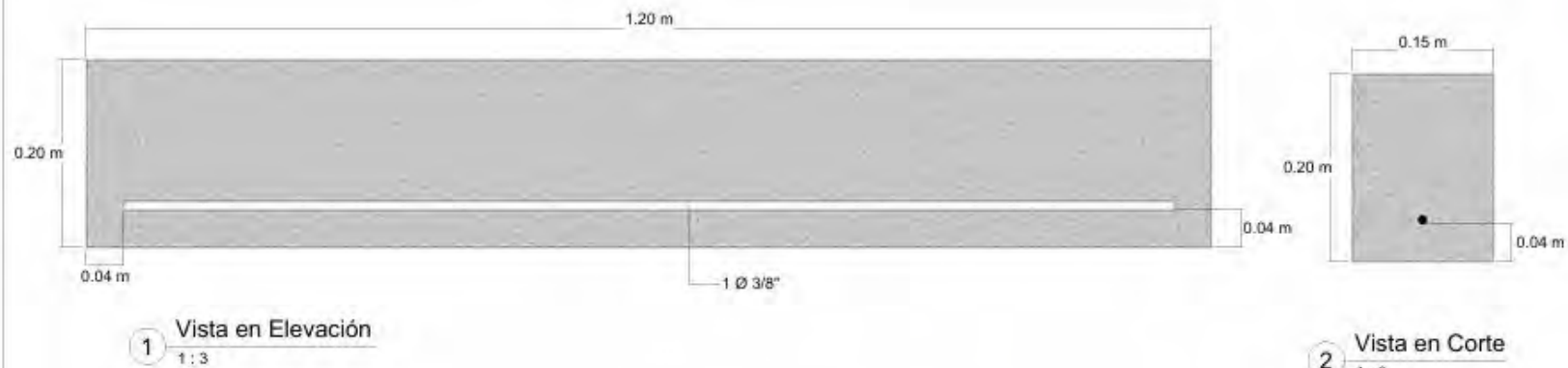
Anexo 01: Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	FACTORES	INDICADORES
PG: ¿Cuál es la reducción de la resistencia a flexión y deflexión máxima producto del incremento de la temperatura por acción directa del fuego en vigas de concreto armado, Cusco 2025?	OG: Analizar la reducción de la resistencia a flexión y deflexión máxima producto del incremento de la temperatura por acción directa del fuego en vigas de concreto armado, Cusco 2025.	HG: La resistencia a flexión y deflexión máxima se reducen en un porcentaje significativo producto del incremento de la temperatura por acción directa del fuego en vigas de concreto armado, Cusco 2025.	Variable Independiente: <i>Y1: El incremento de la temperatura por acción directa del fuego</i>	<i>Y11: Duración de incidencia del fuego.</i>	<i>Y111: Tiempo en Minutos.</i> <i>Y112: Tiempo en Segundos.</i>
PE1: ¿Cómo es la variación de las propiedades físicas de la estructura producto del incremento de la temperatura por acción directa del fuego en vigas de concreto armado, Cusco 2025?	OE1: Analizar la variación de las propiedades físicas de la estructura producto del incremento de la temperatura por acción directa del fuego en vigas de concreto armado, Cusco 2025.	HE1: Las propiedades físicas de la estructura son afectadas negativamente producto del incremento de la temperatura por acción directa del fuego en vigas de concreto armado, Cusco 2025.		<i>Y12: Temperatura.</i>	<i>Y121: Temperatura Máxima.</i> <i>Y122: Temperatura Promedio</i>
PE2: ¿Cuál es la disminución de la resistencia a flexión producto del incremento de la temperatura por acción directa del fuego en vigas de concreto armado, Cusco 2025?	OE2: Analizar la disminución de la resistencia a flexión producto del incremento de la temperatura por acción directa del fuego en vigas de concreto armado, Cusco 2025.	HE2: La resistencia a flexión disminuyen en un porcentaje significativo producto del incremento de la temperatura por acción directa del fuego en vigas de concreto armado, Cusco 2025.	Variable Dependiente: <i>X1: Análisis de la reducción de la resistencia a flexión y deflexión máxima.</i>	<i>X11: Precisión de Deflexión.</i>	<i>X111: Deflexión en milímetros</i> <i>X112: Angulo de la deflexión</i>
PE3: ¿Cuáles son las deflexiones excesivas que causan agrietamientos y comprometen la estabilidad estructural producto del incremento de la temperatura por acción directa del fuego en vigas de concreto armado, Cusco 2025?	OE3: Analizar las deflexiones excesivas que causan agrietamientos y comprometen la estabilidad estructural producto del incremento de la temperatura por acción directa del fuego en vigas de concreto armado, Cusco 2025.	HE3: Las deflexiones excesivas que causan agrietamientos y comprometen la estabilidad estructural incrementan en un porcentaje significativo producto del incremento de la temperatura por acción directa del fuego en vigas de concreto armado, Cusco 2025.		<i>X12: Capacidad de carga</i> <i>X13: Resistencia a la Flexión.</i>	<i>X121: Carga puntual</i> <i>X122: Perdida de Capacidad de carga</i> <i>X131: Modulo de Elasticidad</i> <i>X132: Coeficiente de rigidez</i>

Anexo 02: Diseño de Mezclas, método ACI

DISEÑO DE MEZCLAS - MÉTODO ACI						
CANTERAS						
Canteras de extracción de agregados			VICHO Y CUNYAC			
CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO						
Resistencia a la compresión del concreto			f _c	=	210	kg/cm2
Resistencia requerida a la compresión del concreto			f _{cr}	=	294	kg/cm2
CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES						
AGREGADO FINO			AGREGADO GRUESO			
Peso específico de masa (kg/m3)	2676.000	Tamaño máximo nominal (pulg)		3/4"		
Absorción (%)	0.891	Peso unitario seco compactado (kg/m3)		1598.225		
Contenido de Humedad (%)	1.744	Peso unitario seco suelto (kg/m3)		1453.913		
Modulo de finura	2.630	Peso específico de masa (kg/m3)		2641		
Peso unitario seco suelto (kg/m3)	1706.374	Absorción (%)		1.664		
		Contenido de Humedad (%)		0.793		
CEMENTO			AGUA			
Tipo de Cemento	Tipo 1 "Yura"	Lugar de Extracción		Laboratorio		
Peso Específico (kg/m3)	3150					
DISEÑO DE MEZCLA						
Selección del Asentamiento		Tipo de consistencia			Plástica	
		Asentamiento			3" a 4"	
Tipo de Concreto a diseñar		Concreto sin aire incorporado				
Contenido de aire total		2			%	
Volumen Unitario de Agua		205			Lt/m3	
Relación Agua / Cemento		0.559				
Factor Cemento		366.73			Kg	
		8.629			Bolsas	
Agregado Grueso	Agregado grueso seco compactado por unidad de volumen de concreto :			0.637	m3	
	Peso del Agregado grueso :			1018.069	Kg/m3	
Cálculo de Volúmenes Absolutos de los materiales		Cemento		0.116	m3	
		Agua		0.205	m3	
		Aire		0.020	m3	
		Agregado Grueso		0.385	m3	
		Total		0.727	m3	
Agregado Fino		Volumen absoluto del Agregado Fino		0.273	m3	
		Peso del Agregado Fino		729.696	Kg/m3	
Proporcionamiento de diseño en estado seco		Cemento		366.726	Kg/m3	
		Agua		205.000	Lt/m3	
		Agregado Fino		729.696	Kg/m3	
		Agregado Grueso		1018.069	Kg/m3	
Corrección por Humedad		Agregado Fino		742.422	Kg/m3	
		Agregado Grueso		1026.145	Kg/m3	
Aporte de Agua de los Agregados		Agregado Fino		6.332	Lt	
		Agregado Grueso		-8.936	Lt	
Proporcionamiento Final de Diseño		Cemento	366.726	Kg	0.116	m3
		Agua	207.603	Lt	0.208	m3
		Agregado Fino	742.422	Kg	0.277	m3
		Agregado Grueso	1026.145	Kg	0.389	m3

Anexo 03: Planos



METRADO DE CONCRETO			
MATERIAL	TYPE	LENGTH	VOLUMEN
CONCRETO $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$	15x20 cm	1.20 m	0.04 m ³

METRADO DE ACERO DE REFUERZO			
MATERIAL	QUANTITY	REBAR NUMBER	TYPE
ACERO CORRUGADO $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$	1	1	$\varnothing 3/8"$

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
1.	Viga de concreto armado con recubrimiento igual a 4 cm.
2.	Viga de concreto armado con resistencia $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$.
3.	Acero longitudinal $\varnothing 3/8"$ con cuantía de 0.24%.
4.	Luz de viga diseñada de 0.90 m.
5.	Diseño de viga de concreto armado para pruebas de flexión.
6.	Observación: Verificar continuidad del recubrimiento y correcta colocación de refuerzo antes del vaciado.

LEYENDA	
	Viga Estructural - Material: Concreto
	Refuerzo Estructural - Material: Acero



FACULTAD:
INGENIERIA CIVIL

TESIS:
ANÁLISIS DE LA REDUCCIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN Y DEFLEXIÓN MÁXIMA PRODUCTO DEL INCREMENTO DE LA TEMPERATURA POR ACCIÓN DIRECTA DEL FUEGO EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO, CUSCO 2025

TESISTAS:
Br. Paucar Mena Alvaro
Br. Quispe Coronahua José Rafael

Revisado por:
JFAC

Dibujado por:
APM, JRQC

Especialidad:
Estructuras

Nombre del Plano:
Plano de Viga de Concreto Armado

Fecha:
09/05/2025

Escala:
1:3

Lamina:

A.1V



FACULTAD:

INGENIERÍA CIVIL

TESIS:

ANÁLISIS DE LA REDUCCIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN Y DEFLEXIÓN MÁXIMA PRODUCTO DEL INCREMENTO DE LA TEMPERATURA POR ACCIÓN DIRECTA DEL FUEGO EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO, CUSCO 2025

TESISTAS:

Br. Pausan Mora Alvaro

Br. Quispe Coronhua José Rafael

Revisado por:

JFAC

Dibujado por:

APM, JRQC

Especialidad:

Estructuras

Nombre del Plano:

Plano de Encofrado

Fecha:

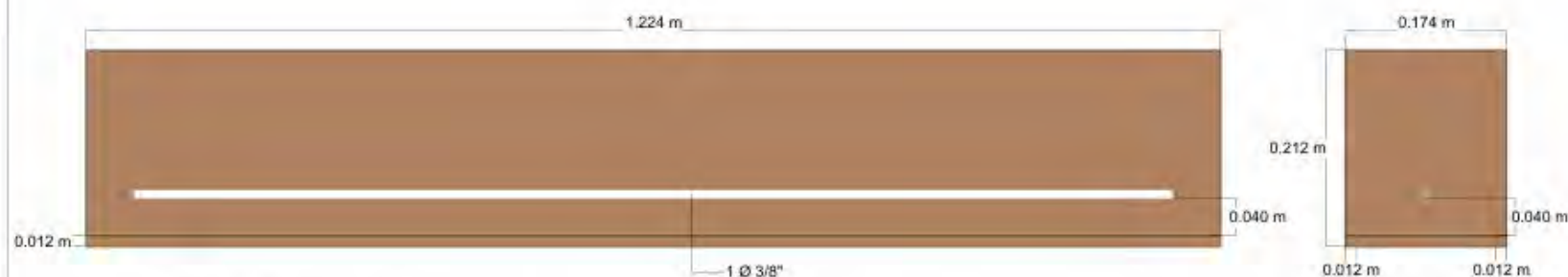
09/05/2025

Escala:

1:3

Lamina:

A.1E



1 Vista en Elevación
1:3

2 Vista en Corte
1:3



3 Vista en Perspectiva

METRADO DE CONCRETO

MATERIAL	TYPE	LENGTH	VOLUMEN
	15x20 cm	1.200 m	0.04 m³

METRADO DE ACERO DE REFUERZO

MATERIAL	QUANTITY	REBAR NUMBER	TYPE
ACERO CORRUGADO (fy=4200 kg/cm²)	1	1	Ø 3/8"

METRADO DE ENCOFRADO

MATERIAL	LENGTH	WIDTH	AREA	FAMILY AND TYPE
Fenólico	1.212 m	0.012 m	0.245 m²	Basic Wall: ENCOFRADO DE VIGA
Fenólico	0.162 m	0.012 m	0.032 m²	Basic Wall: ENCOFRADO DE VIGA
Fenólico	1.212 m	0.012 m	0.242 m²	Basic Wall: ENCOFRADO DE VIGA
Fenólico	0.162 m	0.012 m	0.036 m²	Basic Wall: ENCOFRADO DE VIGA

LEYENDA

- Encofrado - Material: Fenólico
- Viga Estructural - Material: Concreto
- Refuerzo Estructural - Material: Acero

Anexo 04: Calibración de equipos



METROLAB Y CALIDAD S.A.C.

Laboratorio de Metrología - Servicio con Tecnología y Calidad

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN Nº 855- LF -2024

Laboratorio de Fuerza

Página 1 de 3

Expediente : 054-MYC-2024
Solicitante : UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD
Dirección : DEL CUSCO
 Av. De la Cultura 773 Cusco - Cusco

La incertidumbre reportada en el presente informe es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$.

Instrumento de Medicion : Maquinas para Ensayos Uniaxiales Estaticos
 Maquinas de Ensayos de Tension/Compresion

La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la expresión de la incertidumbre en la medición".

Equipo Calibrado : MAQUINA DE ENSAYO UNIVERSAL
Marca : INSTRON
Modelo : 600DX-B1-C3A-G1F
Número de Serie : 600DXR4565
Rango de medición : 61,182 kgf
Identificación : NO INDICA
Procedencia : CHINA

Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95%.

Indicador de Lectura : DIGITAL
Marca : HP TOWER PC
Modelo : HP COMPAC DC 7900 / HPL1710
Numero de Serie : 2UA0130YMT / 3CQ9385LWN
Identificación : NO INDICA
Alcance de Indicación : 0 kgf A 1 kgf
Procedencia : USA
Resolución : 1 Kgf

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales y/o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Trasductor de Fuerza : TRASDUCTOR
Alcance de Indicación : N/I
Marca : NO INDICA
Modelo : NO INDICA
Numero de Serie : NO INDICA
Lugar de calibración : Laboratorio de Suelos y Materiales de la UNSAAC
Fecha de Calibración : 2024-10-23

Los resultados son validos en el periodo de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración.

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio emisor.

La periodicidad de la calibración depende del uso mantenimiento y conservación del instrumento de medición.

Fecha de Emisión

Jefe de Laboratorio de Metrología

Sello

2024-10-23

METROLAB Y CALIDAD S.A.C.

Miguel Angel Ruiz Sulca
 JEFE LABORATORIO



METROLAB Y CALIDAD SAC - LABORATORIO DE METROLOGIA

Dirección: PASAJE SANTIAGO MZA. E, LOTE N° 2, SANTIAGO CUSCO - PERU Teléfono: (084) 206172 Cel: 976 648 580

www.metrolabycalidad.com

• metrolab@metrolabycalidad.com

• ventas@metrolabycalidad.com

• metrolabycalidad@gmail.com



METROLAB Y CALIDAD S.A.C.

Laboratorio de Metrología - Servicio con Tecnología y Calidad

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 855- LF -2024

Laboratorio de Fuerza

Página 2 de 3

Método de Calibración

La calibración se realizó por comparación directa utilizando como referencia la Norma Tec. ASTM E74-13a ASTM C39 y de acuerdo con el cliente se procedió a aplicar los valores de carga indicados en el cuadro.

Resultados de medición

Lectura de la máquina (Fi)		Lectura del patrón			Promedio	Cálculo de errores		Incertidumbre
		Primera	Segunda	Tercera		Exactitud	Repetibilidad	
%	kgf	kN	kN	kN	kN	q(%)	b(%)	U(%)
10	5000	4945.5	4904.8	4925.2	4925.2	-99.0	0.0	0.5
20	10000	9870.7	9880.9	9875.8	9875.8	-99.0	0.0	0.2
30	15000	14744.9	14755.1	14750.0	14750.0	-99.0	0.0	0.2
40	20000	19608.8	19496.7	19552.7	19552.7	-99.0	0.0	0.4
50	25000	24472.8	24472.8	24472.8	24472.8	-99.0	0.0	0.2
60	30000	29479.5	29336.8	29408.1	29408.1	-99.0	0.0	0.4
70	35000	34221.1	34190.5	34205.8	34205.8	-99.0	0.0	0.2
80	40000	39105.5	39044.3	39074.9	39074.9	-99.0	0.0	0.3
90	45000	43989.9	44071.4	44030.6	44030.6	-99.0	0.0	0.3
100	50000	48823.2	48833.4	48828.3	48828.3	-99.0	0.0	0.2
Lectura máquina en cero		0	0	0	-----	0	0	Error máx. de cero(0)=0,00

Indicación del Equipo F (kgf)	Errores Encontrados en el Sistema de Medición				Incertidumbre U (k=2) (%)
	Exactitud	Repetibilidad	Reversibilidad	Resolución Relativa	
	q (%)	b (%)	v = (%)	a (%)	
5000	-99.00	0.0	-----	0.00	0.53
10000	-99.01	0.0	-----	0.00	0.25
15000	-99.00	0.0	-----	0.00	0.24
20000	-99.00	0.0	-----	0.00	0.41
25000	-99.00	0.0	-----	0.00	0.24
30000	-99.00	0.0	-----	0.00	0.37
35000	-99.00	0.0	-----	0.00	0.25
40000	-99.00	0.0	-----	0.00	0.26
45000	-99.00	0.0	-----	0.00	0.26
50000	-99.00	0.0	-----	0.00	0.24
Error de cero fo (%)	0	0	No aplica	0	Error máx. de cero(0)=0,00



METROLAB Y CALIDAD SAC - LABORATORIO DE METROLOGIA

Dirección: PASAJE SANTIAGO MZA. E, LOTE N° 2, SANTIAGO CUSCO - PERU Teléfono: (084) 206172 Cel: 976 648 580

www.metrolabycalidad.com

• metrolab@metrolabycalidad.com

• ventas@metrolabycalidad.com

• metrolabycalidad@gmail.com



METROLAB Y CALIDAD S.A.C.

Laboratorio de Metrología - Servicio con Tecnología y Calidad

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN Nº 855- LF -2024

Laboratorio de Fuerza

Página 3 de 3

Incertidumbre

La incertidumbre expandida de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre Estándar de Medición por el factor de cobertura $k=2$, el cual corresponde a una probabilidad de cobertura de error de aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Trazabilidad.

Trazabilidad	Patron Utilizado	Certificado de Calibracion
Load Cell - Serial N° 3500/2C Capacidad 3500 kN Certificate N° 2018040060-1	Load Cell for Plate Bearing Capacidad : 2000 kN Marca : Impact Test Equipment Ltd.	PUCP - Laboratorio de estructura Antisismico Exp. INF-LE 018-2024
Patrones de referencia del SNM - INACAL	Termohigrometro Patron de Resolucion 0.1 °C / 1 %HR	METROIL - INACAL 1AT-2530-2024 Exp. 1A24229

Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura (°C)	18.1	18.8
Humedad Relativa (% HR)	48.8	62.7

Evaluación de los resultados

De los resultados obtenidos durante la calibración se ha obtenido la siguiente ecuación cuadrática:

$$Y = A \cdot X^2 + B \cdot X + C$$

Donde:

Y = Indicación del Equipo en kgf.

X = Lectura directa del equipo / valores del dial

Los coeficientes obtenidos son:

A= -0.00000004

B= 0.977900000

C= 63.81600000

Observaciones

Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de fecha y CALIBRADO.



Fin del documento

Anexo 05: Certificado de uso de laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS MATERIALES
Av. de la Cultura Nro. 733 – Escuela Profesional de Ingeniería Civil



CERTIFICADO DE USO DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES PARA TESIS DE INVESTIGACIÓN

EL QUE SUSCRIBE JEFE DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

HACE CONSTAR:

Que los tesisas; conducentes a la obtención del título profesional de Ingeniero Civil; Br. **ALVARO PAUCAR MENA** y Br. **JOSE RAFAEL QUISPE CCORAHUA**, hizo uso del laboratorio para ejecución de tesis de investigación: **“ANÁLISIS DE LA REDUCCIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN Y DEFLEXIÓN MÁXIMA PRODUCTO DEL INCREMENTO DE LA TEMPERATURA POR ACCIÓN DIRECTA DEL FUEGO EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO, CUSCO 2025”**

Los ensayos que realizaron son los siguientes:

Nro	ENSAYO	NORMA	CANT.
01	Muestreo de materiales	NTP 400.010	02
02	Cantidad de material fino que pasa el tamiz de 75 μ m (N° 200) por lavado	NTP 400.018	06
03	Peso unitario y vacíos de los agregados	NTP 400.017	06
04	Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos	NTP 400.012	06
05	Gravedad específica y absorción de agregados finos	NTP 400.022	03
06	Peso específico y absorción de agregados gruesos	NTP 400.021	03
07	Método de ensayo para contenido de humedad total de los agregados por secado	NTP 339.185	06
08	Resistencia a la compresión testigos cilindricos	NTP 339.034	20
09	Elaboración y curado de Vigas de Concreto Armado.	NTP 339.084	16
10	Resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo	NTP 339.078	16
11	Resistencia a tracción de acero grado 60	NTP 350.405	09

Se le expide la presente constancia a solicitud escrita por los interesados; con fines académicos para la tesis de investigación

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
Facultad de Ingeniería Civil
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

[Firma]
Luz Mariela Nieto Palomino
Jefe de Laboratorio



Cusco, 06 de enero del 2026

Anexo 06: Hojas de ensayo en laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



FECHA: 20/05/2025

ANÁLISIS de la reducción de la resistencia a flexión y deflexión máxima producto
 TESIS: del incremento de la temperatura por acción directa del fuego en vigas
 de concreto armado, Cusco 2025

UBICACIÓN: Laboratorio UNSAAC

LOCALIDAD: UNSAAC - Vicho DISTRITO: Calca - San Salvador
 PROVINCIA: Calca REGIÓN: Cusco

TESISTAS			
	APELLIDOS Y NOMBRES	CODIGO	FIRMA
1	Paucar Mena Alvaro	18474	
2	Quispe Coathua Jose Rafael	174758	

PRUEBA A REALIZAR: Contenido de Humedad y Muestreo		NRO.
FASE DE LA PRUEBA:		
HORA DE INICIO	12:00 pm	OBSERVACIONES RESPECTO A LA DURACIÓN DE LA PRUEBA: DE EXISTIR; ESPECIFICAR FECHA Y NÚMERO, DE FICHA ANTERIOR A LA QUE COMPLEMENTA: Fecha: NRO:
HORA DE SALIDA	13:00 pm	

HERRAMIENTAS, EQUIPOS, IMPLEMENTOS AUXILIARES SOLICITADOS					
NRO	DESCRIPCIÓN	ENTREG.	NRO	DESCRIPCIÓN	ENTREG.
1	Capzulas	4 und			
1	Recipiente Metálico	2 und			

Jefe de Laboratorio de Mecánica
de Suelos y Materiales

REQUISITOS Y OBLIGACIONES PARA ACCEDER AL SERVICIO DE LABORATORIO:

- Al solicitar herramientas, equipos, etc. Debe presentarse acompañado con dos de estas fichas, llenas en todos sus ítems requeridos excepto en "NRO", el cual será proporcionado por el personal de atención para su codificación.
- Finaliza la sesión de laboratorio, los tesistas solicitará una de las fichas llenas y selladas, esta última debe guardar para la verificación y evaluación posterior del asesor a cargo.
- Las herramientas, equipos prestados deben ser correctamente manipulados y entregados al personal del laboratorio en condiciones adecuadas para su siguiente uso. Además es responsabilidad de los tesistas dejar las instalaciones, herramientas y equipos utilizados limpios.
- Es deber del alumnado el





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



FECHA: 21 / 05 / 2025
 TESIS: *Análisis de la reducción de la resistencia a flexión y deflexión máxima producto del incremento de temperatura por acción directa del fuego en Vigas de Concreto Armado, 2025*
 UBICACIÓN:

LOCALIDAD: *Vicho* DISTRITO: *Calea - Vicho*
 PROVINCIA: *Cusco* REGIÓN: *Cusco*

TESISTAS			
	APELLIDOS Y NOMBRES	CODIGO	FIRMA
1	<i>Pavcar Mena Alvaro</i>	<i>1847 H</i>	<i>[Firma]</i>
2	<i>Quispe Ccoralva Jose Rafael</i>	<i>1747 58</i>	<i>[Firma]</i>

PRUEBA A REALIZAR: <i>Granulometría</i>		NRO.
FASE DE LA PRUEBA:		
HORA DE INICIO	<i>10:48</i>	OBSERVACIONES RESPECTO A LA DURACION DE LA PRUEBA: DE EXISTIR, ESPECIFICAR FECHA Y NÚMERO, DE FICHA ANTERIOR A LA QUE COMPLEMENTA: Fecha: NRO:
HORA DE SALIDA	<i>11:30</i>	

HERRAMIENTAS, EQUIPOS, IMPLEMENTOS AUXILIARES SOLICITADOS					
NRO	DESCRIPCION	ENTREG.	NRO	DESCRIPCION	ENTREG.
<i>1</i>	<i>Posillo Grande</i>	<i>1 und</i>			
<i>2</i>	<i>posillo Mediano</i>	<i>1 und</i>			
<i>3</i>	<i>posillo pequeño</i>	<i>1 und</i>			

Jefe de Laboratorio de Mecánica
de Suelos y Materiales

REQUISITOS Y OBLIGACIONES PARA ACCEDER AL SERVICIO DE LABORATORIO:

- Al solicitar herramientas, equipos, etc. Debe presentarse acompañado con dos de estas fichas, llenas en todos sus ítems requeridos excepto en "NRO", el cual será proporcionado por el personal de atención para su codificación.
- Finaliza la sesión de laboratorio, los testistas solicitará una de las fichas llenas y selladas, esta última debe guardar para la verificación y evaluación posterior del asesor a cargo.
- Las herramientas, equipos prestados deben ser correctamente manipulados y entregados al personal del laboratorio en condiciones adecuadas para su siguiente uso.
- Es deber del alumnado el buque al personal de atención del laboratorio.

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

21 MAYO 2025

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



TESIS: *Análisis de la reducción de la resistencia a flexión y deflexión máxima producto del incremento de temperatura, por acción directa del fuego en Vigas de Concreto Armado, 2025*

UBICACIÓN:

LOCALIDAD	DISTRITO	PROVINCIA	REGIÓN
Ciudad Universitaria de PERAYOC	WANCHAQ	CUSCO	CUSCO

TESISTAS			
Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO	FIRMA
01	Páucar Mesa Alvaro	184717	<i>[Firma]</i>
02	Quispe Ccerahua Jose Rafael	174758	<i>[Firma]</i>

PRUEBA A REALIZAR : <i>Granulometría</i>	NRO
FASE DE LA PRUEBA : <i>2</i>	
HORA INICIO: <i>8:00</i> HORA SALIDA:	

OBSERVACIONES RESPECTO A LA DURACIÓN DE LA PRUEBA:

DE EXISTIR: ESPECIFICAR FECHA Y NUMERO DE FICHA ANTERIOR A LA QUE COMPLEMENTA:
 FECHA: NRO:

HERRAMIENTAS, EQUIPOS E IMPLEMENTOS AUXILIARES SOLICITADOS			
Nº	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	ENTREGADO
1	1	Tamiz 2" 1/2" X	
2	1	Tamiz 2" X	
3	1	Tamiz 1 1/2" X	
4	1	Tamiz 1" X	
5	1	Tamiz 3/4" X	
6	1	Tamiz 1/2" X	
7	1	Tamiz 3/8" X	
8	1	Tamiz N° 4 X	
9	1	Tamiz N° 200 X	
10	1	Pala de Aluminio cuchara X	
11	1	Recipientes, Lavabos X	
12	1	Cepillo de Cobre o Mueble (Escobilla) X	

Jefe de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

REQUISITOS Y OBLIGACIONES PARA ACCEDER AL SERVICIO DE LABORATORIO:

- 1.- Al solicitar herramientas, equipos, etc. Debe presentarse acompañado con dos de estas fichas, llenas en todos sus ítems requeridos excepto en "NRO", el cual será proporcionado por el personal de atención para su codificación.
- 2.- Finalizada la sesión de laboratorio, los testistas solicitarán una de las fichas llenas y selladas, esta última debe guardar la verificación y evaluación posterior del ASESOR a cargo.
- 3.- Las herramientas y equipos prestados deben ser correctamente manipulados y entregados al personal del laboratorio en condiciones adecuadas para su siguiente uso. Además es responsabilidad de los testistas dejar las instalaciones, herramientas y equipos utilizados limpios.
- 4.- Es deber del alumnado el buen trato y respeto al personal de atención del laboratorio.





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



TESIS: Análisis de la reducción de la resistencia a flexión y deflexión máxima producto del Incremento de temperatura por acción directa del fuego en Vigas de Concreto Armado, 2025

UBICACIÓN:

LOCALIDAD	DISTRITO	PROVINCIA	REGIÓN
Ciudad Universitaria de PERAYOC	WANCHAQ	CUSCO	CUSCO

TESISTAS			
Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO	FIRMA
01	Pauca Mena Alvaro	184711	
02	Cuspe Ccorahua Jose Rafael	174758	<i>[Firma]</i>

PRUEBA A REALIZAR	: Grandometría - Tamizado y Fase final	NRO
FASE DE LA PRUEBA	:	
HORA INICIO:	HORA SALIDA:	

OBSERVACIONES RESPECTO A LA DURACIÓN DE LA PRUEBA:

DE EXISTIR: ESPECIFICAR FECHA Y NUMERO DE FICHA ANTERIOR A LA QUE COMPLEMENTA:
 FECHA: NRO:

HERRAMIENTAS, EQUIPOS E IMPLEMENTOS AUXILIARES SOLICITADOS			
Nº	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	ENTREGADO
1	1	Tamiz 3/8" X	
2	1	Tamiz N° 4 X	
3	1	Tamiz N° 8 X	
4	1	Tamiz N° 16 X	
5	1	Tamiz N° 30 X	
6	1	Tamiz N° 50 X	
7	1	Tamiz N° 100 X	
8	1	Tamiz N° 200 X	
9	1	Fondo X	
10	1	Cuchara X	
11	1	Cepillo X	
12	2	Tamiz 1/2" y 3/4" X	

Jefe de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

REQUISITOS Y OBLIGACIONES PARA ACCEDER AL SERVICIO DE LABORATORIO:

- 1.- Al solicitar herramientas, equipos, etc. Debe presentarse acompañado con dos de estas fichas, llenas en todos sus ítems requeridos excepto en "NRO", el cual será proporcionado por el personal de atención para su codificación.
- 2.- Finalizada la sesión de laboratorio, los testistas solicitarán una de las fichas llenas y selladas, esta última debe guardar la verificación y evaluación posterior del ASESOR a cargo.
- 3.- Las herramientas y equipos prestados deben ser correctamente manipulados y entregados al personal del laboratorio en condiciones adecuadas para su siguiente uso. Además es responsabilidad de los testistas dejar las instalaciones, herramientas y equipos utilizados limpios.
- 4.- Es deber del alumnado el buen trato y respeto al personal de atención del laboratorio.





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



TESIS: Análisis de la reducción de la resistencia a flexión y deflexión máxima producto del incremento de temperatura, por acción directa del fuego en vigas de concreto armado, 2025

UBICACIÓN:

LOCALIDAD	DISTRITO	PROVINCIA	REGIÓN
Ciudad Universitaria de PERAYOC	WANCHAQ	CUSCO	CUSCO

TESISTAS			
Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO	FIRMA
01	Rosario Mena Alvaro	184711	
02	Alonso Covarrubias José Rafael	174758	

PRUEBA A REALIZAR	: Granulometría Fines	NRO
FASE DE LA PRUEBA	: 1	
HORA INICIO: 8:00	HORA SALIDA:	

OBSERVACIONES RESPECTO A LA DURACIÓN DE LA PRUEBA:

DE EXISTIR: ESPECIFICAR FECHA Y NUMERO DE FICHA ANTERIOR A LA QUE COMPLEMENTA:
 FECHA: NRO:

HERRAMIENTAS, EQUIPOS E IMPLEMENTOS AUXILIARES SOLICITADOS			
Nº	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	ENTREGADO
1	1	Tornillo 3/8"	
2	1	Tornillo No 4	
3	1	Tornillo No 200	
4	1	Pala de aluminio Gacharon	
5	1	Cepillo o escobilla	
6	1	Pocillo grande	
7	1	Pocillo mediano	
8	2	Lavadores de plástico	
9	2	Lavadores de metal	
10	1	Sarten	
11	2	Pocillos Medianos	
12			

Jefe de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

REQUISITOS Y OBLIGACIONES PARA ACCEDER AL SERVICIO DE LABORATORIO:

- 1.- Al solicitar herramientas, equipos, etc. Debe presentarse acompañado con dos de estas fichas, llenas en todos sus ítems requeridos excepto en "NRO", el cual será proporcionado por el personal de atención para su codificación.
- 2.- Finalizada la sesión de laboratorio, los tesistas solicitarán una de las fichas llenas y selladas, esta última debe guardar la verificación y evaluación posterior del ASESOR a cargo.
- 3.- Las herramientas y equipos prestados deben ser correctamente manipulados y entregados al personal del laboratorio en condiciones adecuadas para su siguiente uso. Además es responsabilidad de los tesistas dejar las instalaciones, herramientas y equipos utilizados limpios.
- 4.- Es deber del alumnado el buen trato y respeto al personal de atención del laboratorio.





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



TESIS: Análisis de la reducción de la resistencia a flexión y deflexión máxima producto del incremento de temperatura por acción directa del fuego en vigas de concreto armado, 2025

UBICACIÓN:

LOCALIDAD	DISTRITO	PROVINCIA	REGIÓN
Ciudad Universitaria de PERAYOC	WANCHAQ	CUSCO	CUSCO

TESISTAS			
Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO	FIRMA
01	Paucar Hena Alvaro	194771	<i>[Firma]</i>
02	Quispe Coorahua Jose Rafael	119753	<i>[Firma]</i>

PRUEBA A REALIZAR :	Granulometría	NRO
FASE DE LA PRUEBA :	Intermedia	
HORA INICIO: 8:00	HORA SALIDA:	

OBSERVACIONES RESPECTO A LA DURACIÓN DE LA PRUEBA:

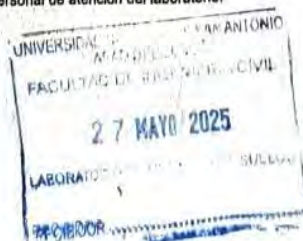
DE EXISTIR: ESPECIFICAR FECHA Y NUMERO DE FICHA ANTERIOR A LA QUE COMPLEMENTA:
 FECHA: NRO:

HERRAMIENTAS, EQUIPOS E IMPLEMENTOS AUXILIARES SOLICITADOS			
Nº	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	ENTREGADO
1	1	Tamiz 3/4" ☒	
2	1	Tamiz 1/2" ☒	
3	1	Tamiz 3/8" ☒	
4	1	Tamiz N° 4 ☒	
5	1	Tamiz N° 8 ☒	
6	1	Tamiz N° 16 ☒	
7	1	Tamiz N° 30 ☒	
8	1	Tamiz N° 50 ☒	
9	1	Tamiz N° 100 ☒	
10	1	Tamiz N° 200 ☒	
11	1	Cazuela y tapa ☒ 2 paños ☒	
12	1	Cuchara y escobilla ☒	

Jefe de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

REQUISITOS Y OBLIGACIONES PARA ACCEDER AL SERVICIO DE LABORATORIO:

- 1.- Al solicitar herramientas, equipos, etc. Debe presentarse acompañado con dos de estas fichas, llenas en todos sus ítems requeridos excepto en "NRO", el cual será proporcionado por el personal de atención para su codificación.
- 2.- Finalizada la sesión de laboratorio, los tesistas solicitarán una de las fichas llenas y selladas, esta última debe guardar la verificación y evaluación posterior del ASESOR a cargo.
- 3.- Las herramientas y equipos prestados deben ser correctamente manipulados y entregados al personal del laboratorio en condiciones adecuadas para su siguiente uso. Además es responsabilidad de los tesistas dejar las instalaciones, herramientas y equipos utilizados limpios.
- 4.- Es deber del alumnado el buen trato y respeto al personal de atención del laboratorio.





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



TESIS: Análisis de la reducción de la resistencia a flexión y deflexión máxima producto del incremento de temperatura por acción directa del fuego en ripas de concreto armado, 2025

UBICACIÓN:

LOCALIDAD	DISTRITO	PROVINCIA	REGIÓN
Ciudad Universitaria de PERAYOC	WANCHAQ	CUSCO	CUSCO

TESISTAS			
N°	APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO	FIRMA
01	Pascual Elena Alvarez	134377	<i>Pascual</i>
02	Quispe Alcantara Jose Pajuelo	124758	<i>Quispe</i>

PRUEBA A REALIZAR :	Granulometría	NRO
FASE DE LA PRUEBA :	Final	
HORA INICIO: 8:00 am	HORA SALIDA: 1	

OBSERVACIONES RESPECTO A LA DURACIÓN DE LA PRUEBA:

DE EXISTIR: ESPECIFICAR FECHA Y NUMERO DE FICHA ANTERIOR A LA QUE COMPLEMENTA:
 FECHA: NRO:

HERRAMIENTAS, EQUIPOS E IMPLEMENTOS AUXILIARES SOLICITADOS			
N°	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	ENTREGADO
1	1	Tamiz 3/4" X	
2	1	Tamiz 1/2" X	
3	1	Tamiz 3/8" X	
4	1	Tamiz N° 40 X	
5	1	Tamiz N° 8 X	
6	1	Tamiz N° 16 X	
7	1	Tamiz N° 30 X	
8	1	Tamiz N° 50 X	
9	1	Tamiz N° 100 X	
10	1	Tamiz N° 200 X	
11	1	Cajuela y Tupa X	
12	1	Pacillos y Luchera X	

Jefe de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

REQUISITOS Y OBLIGACIONES PARA ACCEDER AL SERVICIO DE LABORATORIO:

- 1.- Al solicitar herramientas, equipos, etc. Debe presentarse acompañado con dos de estas fichas, llenas en todos sus ítems requeridos excepto en "NRO", el cual será proporcionado por el personal de atención para su codificación.
- 2.- Finalizada la sesión de laboratorio, los testistas solicitarán una de las fichas llenas y selladas, esta última debe guardar la verificación y evaluación posterior del ASESOR a cargo.
- 3.- Las herramientas y equipos prestados deben ser correctamente manipulados y entregados al personal del laboratorio en condiciones adecuadas para su siguiente uso. Además es responsabilidad de los testistas dejar las instalaciones, herramientas y equipos utilizados limpios.
- 4.- Es deber del alumnado el buen trato y respeto al personal de atención del laboratorio.





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



TESIS: Análisis de la reducción a flexión y deflexión máxima producto del incremento de temperatura por acción directa del fuego en vigas de concreto armado, 2025

UBICACIÓN:

LOCALIDAD	DISTRITO	PROVINCIA	REGIÓN
Ciudad Universitaria de PERAYOC	WANCHAQ	CUSCO	CUSCO

TESISTAS			
Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO	FIRMA
01	Pavón Hena Alvaro	12434	<i>[Firma]</i>
02	Quispe Cevallosa José Rafael	174258	<i>[Firma]</i>

PRUEBA A REALIZAR	: Material fino que pasa la malla N° 200	NRO
FASE DE LA PRUEBA	: final	
HORA INICIO:	HORA SALIDA:	

OBSERVACIONES RESPECTO A LA DURACIÓN DE LA PRUEBA:

DE EXISTIR: ESPECIFICAR FECHA Y NUMERO DE FICHA ANTERIOR A LA QUE COMPLEMENTA:
 FECHA: NRO:

HERRAMIENTAS, EQUIPOS E IMPLEMENTOS AUXILIARES SOLICITADOS			
Nº	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	ENTREGADO
1	1	Tamiz 3/8" X	
2	1	Tamiz N° 4 X	
3	1	Tamiz N° 200 X	
4	7	Resilla metálica	
5	1	Tamiz N° 8 X	
6	1	Tamiz N° 16 X	
7	1	Tamiz N° 30 X	
8	1	Tamiz N° 50 X	
9	1	Tamiz N° 100 X	
10	1	Tamiz Caguela y Tapete	
11	1	Cucharon	
12	1	Sartén	

Jefe de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

REQUISITOS Y OBLIGACIONES PARA ACCEDER AL SERVICIO DE LABORATORIO:

- 1.- Al solicitar herramientas, equipos, etc. Debe presentarse acompañado con dos de estas fichas, llenas en todos sus ítems requeridos excepto en "NRO", el cual será proporcionado por el personal de atención para su codificación.
- 2.- Finalizada la sesión de laboratorio, los testistas solicitarán una de las fichas llenas y selladas, esta última debe guardar la verificación y evaluación posterior del ASESOR a cargo.
- 3.- Las herramientas y equipos prestados deben ser correctamente manipulados y entregados al personal del laboratorio en condiciones adecuadas para su siguiente uso. Además es responsabilidad de los testistas dejar las instalaciones, herramientas y equipos utilizados limpios.
- 4.- Es deber del alumnado el buen trato y respeto al personal de atención del laboratorio.





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



TESIS: *Análisis de resistencia a flexión y deflexión máxima producto del incremento de temperatura por acción directa del fuego en vigas de concreto armado, 2025*

UBICACIÓN:

LOCALIDAD	DISTRITO	PROVINCIA	REGIÓN
Ciudad Universitaria de PERAYOC	WANCHAQ	CUSCO	CUSCO

TESISTAS			
Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO	FIRMA
01	Pavón Mesa Alvaro	184711	<i>[Firma]</i>
02	Quispe Caceres Jose Rafael	174758	<i>[Firma]</i>

PRUEBA A REALIZAR	: <i>Peso Unitario de los Agregados</i>	NRO
FASE DE LA PRUEBA	: <i>Inicial</i>	
HORA INICIO: <i>9:30 am</i>	HORA SALIDA:	

OBSERVACIONES RESPECTO A LA DURACIÓN DE LA PRUEBA:

DE EXISTIR: ESPECIFICAR FECHA Y NUMERO DE FICHA ANTERIOR A LA QUE COMPLEMENTA:
 FECHA: NRO:

HERRAMIENTAS, EQUIPOS E IMPLEMENTOS AUXILIARES SOLICITADOS			
Nº	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	ENTREGADO
1	<i>2</i>	<i>Cilindro Metálico Fino y Grueso</i>	
2	<i>1</i>	<i>Barra compactadora</i>	
3	<i>1</i>	<i>Chacarón</i>	
4	<i>1</i>	<i>Bandeja</i>	
5	<i>1</i>	<i>Escobillón</i>	
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			

Jefe de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

REQUISITOS Y OBLIGACIONES PARA ACCEDER AL SERVICIO DE LABORATORIO:

- 1.- Al solicitar herramientas, equipos, etc. Debe presentarse acompañado con dos de estas fichas, llenas en todos sus ítems requeridos excepto en "NRO", el cual será proporcionado por el personal de atención para su codificación.
- 2.- Finalizada la sesión de laboratorio, los testistas solicitarán una de las fichas llenas y selladas, esta última debe guardar la verificación y evaluación posterior del ASESOR a cargo.
- 3.- Las herramientas y equipos prestados deben ser correctamente manipulados y entregados al personal del laboratorio en condiciones adecuadas para su siguiente uso. Además es responsabilidad de los testistas dejar las instalaciones, herramientas y equipos utilizados limpios.
- 4.- Es deber del alumnado el buen trato y respeto al personal de atención del laboratorio.





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



TESIS: Análisis de la Resistencia a flexión y deflexión máxima producto del incremento de temperatura por acción directa del fuego en vigas de concreto armado, 2025

UBICACIÓN:

LOCALIDAD	DISTRITO	PROVINCIA	REGIÓN
Ciudad Universitaria de PERAYOC	WANCHAQ	CUSCO	CUSCO

TESISTAS			
N°	APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO	FIRMA
01	Ruiz Men Alvaro	184711	<i>[Firma]</i>
02	Chispe Curacha Jose Rafael	174758	<i>[Firma]</i>

PRUEBA A REALIZAR	: Pozo específico del Apogeo Juro	NRO
FASE DE LA PRUEBA	: Inicial	
HORA INICIO:	HORA SALIDA:	

OBSERVACIONES RESPECTO A LA DURACIÓN DE LA PRUEBA:

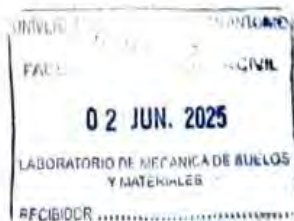
DE EXISTIR: ESPECIFICAR FECHA Y NUMERO DE FICHA ANTERIOR A LA QUE COMPLEMENTA:
 FECHA: NRO:

HERRAMIENTAS, EQUIPOS E IMPLEMENTOS AUXILIARES SOLICITADOS			
N°	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	ENTREGADO
1	1	Tamiz N° 4	
2	1	Tamiz N° 3/8"	
3	2	Pocillos Mediano	
4	1	Pocillo pequeño	
5	1	Parcharón	
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			

Jefe de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

REQUISITOS Y OBLIGACIONES PARA ACCEDER AL SERVICIO DE LABORATORIO:

- 1.- Al solicitar herramientas, equipos, etc. Debe presentarse acompañado con dos de estas fichas, llenas en todos sus ítems requeridos excepto en "NRO", el cual será proporcionado por el personal de atención para su codificación.
- 2.- Finalizada la sesión de laboratorio, los tesistas solicitarán una de las fichas llenas y selladas, esta última debe guardar la verificación y evaluación posterior del ASESOR a cargo.
- 3.- Las herramientas y equipos prestados deben ser correctamente manipulados y entregados al personal del laboratorio en condiciones adecuadas para su siguiente uso. Además es responsabilidad de los tesistas dejar las instalaciones, herramientas y equipos utilizados limpios.
- 4.- Es deber del alumnado el buen trato y respeto al personal de atención del laboratorio.





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



TESIS: Análisis de la reducción de la resistencia a flexión y deformación máxima producida por el incremento de temperatura por acción directa del fuego en vigas de concreto armado, 2025.

UBICACIÓN:

LOCALIDAD	DISTRITO	PROVINCIA	REGIÓN
Ciudad Universitaria de PERAYOC	WANCHAQ	CUSCO	CUSCO

TESISTAS			
Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO	FIRMA
01	Pascual Mena Alvaro	184111	<i>[Firma]</i>
02	Quispe Cordero José Rafael	174988	<i>[Firma]</i>

PRUEBA A REALIZAR	: Peso específico del agregado fino y grueso	NRO
FASE DE LA PRUEBA	: Intermedia	
HORA INICIO: 8:30	HORA SALIDA:	

OBSERVACIONES RESPECTO A LA DURACIÓN DE LA PRUEBA:

DE EXISTIR: ESPECIFICAR FECHA Y NUMERO DE FICHA ANTERIOR A LA QUE COMPLEMENTA:
 FECHA: NRO:

HERRAMIENTAS, EQUIPOS E IMPLEMENTOS AUXILIARES SOLICITADOS			
Nº	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	ENTREGADO
1	2	Tamices N° 04	
2	1	Tamiz 3/8"	
3	3	Lavadores	
4	1	Cucharon	
5	4	Bandeja	
6	1	Carten	
7	1	Embudo	
8	1	Malde metálico	
9	1	Aptsonador	
10	1	psicómetro 6 matrón	
11	1	Probeta 1000 ml	
12	1	Cuentapuntos	

Jefe de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

REQUISITOS Y OBLIGACIONES PARA ACCEDER AL SERVICIO DE LABORATORIO:

- 1.- Al solicitar herramientas, equipos, etc. Debe presentarse acompañado con dos de estas fichas, llenas en todos sus ítems requeridos excepto en "NRO", el cual será proporcionado por el personal de atención para su codificación.
- 2.- Finalizada la sesión de laboratorio, los testistas solicitarán una de las fichas llenas y selladas, esta última debe guardar la verificación y evaluación posterior del ASESOR a cargo.
- 3.- Las herramientas y equipos prestados deben ser correctamente manipulados y entregados al personal del laboratorio en condiciones adecuadas para su siguiente uso. Además es responsabilidad de los testistas dejar las instalaciones, herramientas y equipos utilizados limpios.
- 4.- Es deber del alumnado el buen trato y respeto al personal de atención del laboratorio.