

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA CIVIL



Tesis

Evaluación comparativa del nivel de incidencia de altas temperaturas en las propiedades del concreto convencional y concreto reforzado con cemento refractario, Cusco - 2024

Asesor:

Mg. Ing. Cuno Rojas, Eleazar

Autores:

Aguirre Conde, Cesar Enrique

Sarmiento Oyolo, Ursula

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero(a) Civil

Cusco - Cusco - Perú

2026



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Acta N°: 006

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Cusco, a los 16 días del mes de Enero del 2026, siendo las 8:30 am horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Sub Directoral N° 034-2026-UTEA-FC-FI-EPIC de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Mg. Alvarez Alvarez Javier Francisco
Dictaminante:	Mba. Salluca Rodriguez Marlon Javier
Replicante :	Mg. Mamani Cutipa Ambrocio

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Evaluación comparativa del nivel de incidencia de altas temperaturas en las propiedades del concreto convencional y concreto reforzado con cemento refractario, Cusco - 2024

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br.: Aguirre Conde Cesar Enrique

(Apellidos y Nombres)

Br.: Sarmiento Oyolo Ursula

(Apellidos y Nombres)

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero(a) Civil

(Denominación del Título)

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) **APROBADO (S)**:

Por: Unanimidad

(Unanimidad o Mayoría) (*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Br. Aguirre Conde Cesar Enrique	Aprobado Notable
Br. Sarmiento Oyolo Ursula	Aprobado Notable

Siendo las 11:00 a.m horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Mg. Alvarez Alvarez Javier Francisco

(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

Dictaminante: Mba. Salluca Rodriguez Marlon Javier

(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

Replicante: Mg. Mamani Cutipa Ambrocio

(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

(Firma)

(Firma)

(Firma)

(*): **Mayoría**: Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; **Unanimidad**: Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art.18 RGGAT.

(**): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.




14% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 11%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 10%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

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.

Metadatos

Datos del Autor	
Apellidos y Nombres	: Aguirre Conde, Cesar Enrique Sarmiento Oyolo, Úrsula
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de Identidad	: 74804360 47499614
URL ORCID	: https://orcid.org/0009-0006-2159-580X https://orcid.org/0009-0001-4773-4680
Datos del Asesor	
Apellidos y Nombres	: Mg. Ing. Cuno Rojas, Eleazar
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de Identidad	: 47343522
URL ORCID	: https://orcid.org/0000-0001-6134-6871
Datos de la investigación	
Facultad	: Ingeniería
Escuela Profesional	: Ingeniería Civil
Línea de Investigación	: Gestión de la Infraestructura para el Desarrollo Sostenible
Rango de Años en que se Realizó la Investigación	: Septiembre 2024 – enero 2026
Fuente de Financiamiento	: Autofinanciado
Porcentaje de Similitud	: 14%
URL de OCDE	: https://purl.org/perepo/ocde/ford#2.01.01

Dedicatoria

A la Virgencita Asunta de la provincia de Calca, mis Padres César Aguirre Ocampo y Donata Conde Mendoza.

Cesar Enrrique Aguirre Conde

A mí, por haber llegado hasta aquí, a pesar de los desafíos, el cansancio y las dudas.

Por cada noche de desvelo, por cada examen superado y cada reto vencido con esfuerzo y pasión.

Hoy culmino mi Carrera Profesional de Ingeniería Civil, y me dedico este logro con orgullo.

Porque nunca dejé de creer, nunca dejé de avanzar y porque supe que todo valdría la pena.

Celebro, porque este triunfo es el reflejo de mi constancia, mi sacrificio y mi amor por lo que elegí ser.

Sarmiento Oyolo Úrsula

Agradecimiento

A mis padres, Este logro es tanto mío como suyo, por su apoyo incondicional que fue mi fortaleza para culminar esta etapa y seguir avanzando.

A mi pareja, por su constante apoyo y motivación en los momentos más relevantes.

A mis docentes de la Escuela profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica de los Andes, quienes a lo largo de mi formación compartieron sus valiosos conocimientos y experiencias.

Aguirre Conde Cesar Enrique

A mis padres y a mi familia, porque han sido el pilar fundamental en este camino. Gracias por su amor incondicional, su apoyo constante y por creer en mí incluso cuando yo dudaba.

Cada palabra de aliento, cada sacrificio y cada gesto de cariño me han impulsado a seguir adelante.

Este logro también es suyo, porque sin ustedes, no estaría aquí.

Con todo mi amor y gratitud, les dedico este importante paso en mi vida.

Sarmiento Oyolo Úrsula

Resumen

La investigación titulada “Evaluación comparativa del nivel de incidencia de altas temperaturas en las propiedades del concreto convencional y concreto reforzado con cemento refractario, Cusco – 2024” surge ante la creciente necesidad de emplear materiales capaces de mantener su estabilidad estructural en entornos expuestos a calor extremo, un problema frecuente en edificaciones sometidas a riesgos térmicos.

El objetivo fue analizar y comparar el comportamiento físico y mecánico de dos tipos de concreto sometidos a elevadas temperaturas, considerando como variables independientes la temperatura, el tiempo de exposición y la zona térmica. El estudio empleó un enfoque cuantitativo, experimental y aplicado. Se elaboraron mezclas con tres porcentajes de cemento refractario (0 %, 15 % y 30 %) y se sometieron a temperaturas de 25 °C, 350 °C, 500 °C y 700 °C durante 0, 30, 60 y 90 minutos. Se evaluaron propiedades físicas (peso unitario, humedad, granulometría) y mecánicas (resistencia a la compresión, fraguado y consistencia). Para validar los resultados se aplicaron análisis de varianza, regresión lineal y pruebas.

Los resultados indican que el concreto convencional sufre una degradación térmica más severa a medida que aumentan la temperatura y el tiempo de exposición. En contraste, el concreto con 15 % de cemento refractario mostró mejor estabilidad física y mecánica, especialmente a temperaturas mayores de 500 °C. Se evidenció que una dosificación superior (30 %) no aporta mejoras adicionales.

El uso de cemento refractario en dosis controladas constituye una alternativa eficaz para mejorar el desempeño térmico del concreto sin comprometer su capacidad estructural.

Palabras clave: Altas temperaturas, Cemento refractario, Concreto convencional.

Abstract

The research titled “Comparative Evaluation of the Incidence Level of High Temperatures on the Properties of Conventional Concrete and Concrete Reinforced with Refractory Cement, Cusco – 2024” arises from the growing need to employ materials capable of maintaining structural stability in environments exposed to extreme heat, a frequent issue in buildings subjected to thermal hazards.

The objective of the study was to analyze and compare the physical and mechanical behavior of two types of concrete exposed to high temperatures, considering temperature, exposure time, and thermal zone as independent variables. The research employed a quantitative, experimental, and applied approach. Concrete mixtures were prepared with three percentages of refractory cement (0%, 15%, and 30%) and were subjected to temperatures of 25 °C, 350 °C, 500 °C, and 700 °C for 0, 30, 60, and 90 minutes. Physical properties (unit weight, moisture content, and granulometry) and mechanical properties (compressive strength, setting time, and consistency) were evaluated. To validate the results, analysis of variance, linear regression, and t-tests were applied.

The results indicate that conventional concrete undergoes more severe thermal degradation as temperature and exposure time increase. In contrast, concrete with 15% refractory cement exhibited greater physical and mechanical stability, especially at temperatures above 500 °C. It was also observed that a higher dosage (30%) does not provide additional benefits.

The use of refractory cement in controlled doses is an effective alternative to improve the thermal performance of concrete without compromising its structural capacity.

Keywords: High temperatures, Refractory cement, Conventional concrete.

Índice

Acta de sustentación	ii
Reporte de similitud	iii
Metadatos	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento	vi
Resumen	vii
Abstract.....	viii
Índice.....	ix
Índice de tablas	xi
Índice de figuras	xiv
Índice de Anexos	xv
I. Introducción	16
II. Planteamiento del problema	20
2.1. Descripción y formulación del problema.....	20
2.2. Objetivos.....	25
2.3. Justificación e importancia	26
2.4. Hipótesis	31
2.5. Variables.....	32
III. Marco Teórico	38
3.1 Antecedentes.....	38

3.2 Bases teóricas	48
3.3 Definición de términos	66
IV. Metodología.....	69
4.1 Tipo y nivel de Investigación.....	69
4.2 Ámbito temporal y espacial.....	70
4.3 Población y muestra	71
4.4 Instrumentos	75
4.5. Procedimientos	82
4.6. Análisis de Datos	113
4.7. Consideraciones Éticas	115
V. Resultados y discusión.....	116
VI. Conclusiones.....	144
VII. Recomendaciones.....	147
VIII. Referencias	149
IX. Anexos	154

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Matriz de operacionalización de variables</i>	36
Tabla 2 <i>Resumen de la cantidad de muestras a ser analizadas según los grupos experimentales ensayo a compresión.</i>	74
Tabla 3 <i>Resumen de la cantidad de muestras a ser analizadas según los grupos experimentales ensayo a tracción</i>	75
Tabla 4 <i>Equipos y herramientas utilizados en el laboratorio de mecánica de suelos y laboratorio de concreto</i>	84
Tabla 5 <i>Muestreo de campo masa mínima</i>	85
Tabla 6 <i>Análisis granulométrico del agregado fino</i>	87
Tabla 7 <i>Análisis granulométrico para Agregado Grueso</i>	90
Tabla 8 <i>Determinación del Contenido de Humedad – Agregado Fino</i>	94
Tabla 9 <i>Determinación del Contenido de Humedad – Agregado grueso</i>	95
Tabla 10 <i>Determinación del peso unitario varillado del agregado fino</i>	98
Tabla 11 <i>Determinación del peso unitario varillado del agregado grueso</i>	98
Tabla 12 <i>Determinación del peso específico y absorción del agregado fino</i>	99
Tabla 13 <i>Determinación del peso específico y absorción del agregado grueso</i>	99
Tabla 14 <i>Resumen del peso específico del agregado fino y grueso</i>	99
Tabla 15 <i>Análisis del tiempo de fraguado según el Método de Vicat MTC E 606</i>	102
Tabla 16 <i>Interpretación según norma</i>	103
Tabla 17 <i>Determinación de la Consistencia del Cemento según MTC E-605</i>	105
Tabla 18 <i>Resultados Obtenidos de la consistencia del cemento</i>	106
Tabla 19 <i>Resultados de la resistencia a la compresión y tracción según la incidencia de cemento refractario y la temperatura.</i>	111
Tabla 20 <i>Resistencia a la compresión inicial ($f'c$) a 25 °C</i>	116

Tabla 21 <i>Estadísticos Descriptivos de Pérdida de Masa</i>	117
Tabla 22 <i>Prueba de Normalidad</i>	118
Tabla 23 <i>Resistencia a la compresión inicial ($f'c$) a 25 °C</i>	119
Tabla 24 <i>Prueba Post-Hoc de Tukey 700 °C</i>	119
Tabla 25 <i>Regresión Lineal</i>	120
Tabla 26 <i>Estadísticos Descriptivos de Resistencia a la Compresión</i>	121
Tabla 27 <i>Prueba de Normalidad</i>	123
Tabla 28 <i>Análisis de Varianza (ANOVA) para Compresión</i>	124
Tabla 29 <i>Prueba de Comparaciones Múltiples (Tukey) a 700°C</i>	124
Tabla 30 <i>Regresión Lineal</i>	125
Tabla 31 <i>Estadísticos Descriptivos de Resistencia a la Tracción</i>	125
Tabla 32 <i>Prueba de Normalidad</i>	126
Tabla 33 <i>Análisis de Varianza</i>	127
Tabla 34 <i>Análisis de Varianza</i>	128
Tabla 35 <i>Regresión Lineal</i>	128
Tabla 36 <i>Estadísticos Descriptivos</i>	129
Tabla 37 <i>Prueba de Normalidad</i>	130
Tabla 38 <i>Análisis de Varianza</i>	131
Tabla 39 <i>Prueba de Comparaciones</i>	131
Tabla 40 <i>Estadísticos Descriptivos</i>	132
Tabla 41 <i>Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk) para las variables dependientes a 700°C</i>	134
Tabla 42 <i>Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk) para las variables dependientes a 700°C</i>	134
Tabla 43 <i>Prueba de Comparaciones Múltiples</i>	135

Tabla 44 <i>Comprobación de hipótesis general</i>	139
Tabla 45 <i>Prueba de la hipótesis específica 1– Propiedades Físicas</i>	141
Tabla 46 <i>Prueba de la hipótesis específica 2 – Propiedades mecánicas</i>	142
Tabla 47 <i>Prueba de la hipótesis específica 3 – Propiedades térmicas</i>	142
Tabla 48 <i>Prueba de la hipótesis específica 4 – Dosificación de cemento refractario</i>	143

Índice de figuras

Figura 1 <i>Ranking del número total de peligros registrados en la provincia del Cusco 2003-2015.</i>	22
Figura 2 <i>Árbol de causas y efectos del problema</i>	24
Figura 3 <i>Variación relativa de la resistencia a compresión y del módulo de elasticidad del concreto en función de la temperatura</i>	64
Figura 4 <i>Extracción de material (Ag. Fino y Ag. grueso)</i>	85
Figura 5 <i>Retenido en los tamices</i>	87
Figura 6 <i>Curva granulométrica</i>	88
Figura 7 <i>Retenido en los tamices</i>	91
Figura 8 <i>curva granulométrica</i>	91
Figura 9 <i>Resultados del diseño de mezcla con el 0%,15% y 30% de refractario</i>	110
Figura 10 <i>Evolución promedio.</i>	117
Figura 11 <i>Evolución de Resistencia.</i>	122
Figura 12 <i>Evolución de Resistencia.</i>	126
Figura 13 <i>Estabilidad Térmica.</i>	129
Figura 14 <i>Mejora porcentual.</i>	133

Índice de Anexos

Anexo 01 <i>Matriz de consistencia</i>	155
Anexo 02 <i>Instrumento de recolección de información N° 01</i>	158
Anexo 03 <i>Validación de instrumentos</i>	160
Anexo 04 <i>Resultados del diseño de mezcla</i>	168
Anexo 05 <i>Resultado de los ensayos</i>	182
Anexo 06 <i>Ficha técnica cemento refractario</i>	199
Anexo 07 <i>Panel fotográfico</i>	200

I. Introducción

La creciente incidencia de fenómenos térmicos extremos —derivados tanto de procesos industriales como de condiciones ambientales adversas— ha puesto en evidencia las limitaciones del concreto convencional frente a la exposición prolongada al calor. Dichas condiciones pueden deteriorar significativamente las propiedades físicas y mecánicas del concreto, comprometiendo su integridad estructural y reduciendo su vida útil (Neville, 2011). Esto resulta especialmente relevante en infraestructuras sometidas a temperaturas elevadas, como hornos industriales, túneles, plantas termoeléctricas o edificaciones ubicadas en zonas de alta radiación térmica.

Frente a esta problemática, la ingeniería civil contemporánea requiere materiales que mantengan su estabilidad y capacidad portante bajo condiciones térmicas críticas. En este marco, la incorporación de cemento refractario en mezcla de concreto convencional se plantea como una alternativa viable para incrementar la resistencia del material ante elevadas temperaturas (ACI Committee 221, 2016). Su capacidad para conservar sus características físico-mecánicas en rangos térmicos superiores a los que soporta el concreto tradicional lo convierte en una opción tecnológica prometedora.

A nivel internacional, diversas investigaciones han evidenciado que el concreto convencional pierde hasta un 60 % de su resistencia a la compresión cuando se expone a

temperaturas superiores a los 600 °C (Khaliq & Kodur, 2011; Noumowe, 2005). Ante este escenario, países como Alemania, Japón y China han incorporado concretos reforzados con cementos refractarios para proyectos de alta exigencia térmica, como estaciones de energía, instalaciones industriales y obras subterráneas (Khan & Raza, 2018). En estos contextos, se ha demostrado que la adición de cemento refractario mejora significativamente el comportamiento térmico del concreto, manteniendo su integridad estructural y funcionalidad.

En el caso del Perú, las normativas técnicas y prácticas constructivas aún no contemplan de forma sistemática el uso de concretos resistentes al calor para edificaciones expuestas a condiciones extremas. Sin embargo, se han identificado fallas prematuras en componentes estructurales de túneles viales, plantas procesadoras y almacenes industriales, especialmente en regiones con actividad volcánica o alta radiación solar, como Arequipa, Moquegua o el VRAEM (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS], 2020). En la región Cusco, además, el desarrollo de infraestructura vinculada a la minería, el manejo de residuos y procesos industriales genera condiciones térmicas elevadas que podrían comprometer la seguridad estructural si no se emplean materiales adecuados (Gobierno Regional del Cusco, 2021).

En este contexto surge la necesidad de evaluar alternativas técnicas que permitan mejorar el desempeño del concreto ante la exposición térmica. La incorporación de cemento refractario constituye una opción que podría incrementar la estabilidad física y mecánica del material, ya que este compuesto puede soportar temperaturas superiores a los 1000 °C sin degradación química significativa (Cai et al., 2019). No obstante, su comportamiento en condiciones locales —considerando temperatura, tiempo de exposición y zona térmica afectada— aún no ha sido estudiado con rigurosidad experimental.

Por ello, la presente investigación se orienta a analizar comparativamente cómo las altas temperaturas inciden en las propiedades físicas y mecánicas tanto del concreto convencional como del concreto reforzado con cemento refractario, buscando determinar de manera general el nivel de afectación térmica en ambos materiales. De forma específica, se pretende reconocer cómo varían sus propiedades físicas y mecánicas en función de la temperatura aplicada, identificar la influencia del tiempo de exposición sobre dichos comportamientos y comprender cómo la zona térmica sometida al calor modifica el rendimiento del concreto. Este análisis permitirá identificar la dosificación óptima del cemento refractario, así como formular lineamientos técnicos que favorezcan el diseño y ejecución de estructuras expuestas a condiciones térmicas elevadas, fortaleciendo criterios de seguridad, durabilidad e innovación en el ámbito constructivo.

Capítulo I: Planteamiento del problema

Este capítulo presenta una visión integral de la problemática abordada, exponiendo la realidad que motiva el estudio, así como la formulación del problema principal y sus respectivas derivaciones específicas. Además, se detalla la justificación del trabajo, sus objetivos generales y específicos, junto con la delimitación geográfica, temporal y temática, la viabilidad del estudio y las principales limitaciones encontradas durante el desarrollo (Sampieri et al., 2014).

Capítulo II: Marco teórico

Aquí se exponen los antecedentes relevantes a nivel local, nacional e internacional que sustentan la investigación, así como los fundamentos teóricos que explican las variables y conceptos clave. Se incluye también un marco conceptual que define los términos técnicos y científicos necesarios para una adecuada comprensión del estudio (Bernal, 2010).

Capítulo III: Metodología

En este apartado se especifica el enfoque metodológico adoptado, incluyendo el tipo, nivel y diseño de investigación, así como las hipótesis formuladas. Se desarrolla la operacionalización de variables, la definición de la población y muestra, el método de muestreo utilizado, y las técnicas e instrumentos aplicados para la recolección y procesamiento de datos, garantizando la validez y confiabilidad del estudio (Hernández et al., 2010).

Capítulo IV: Resultados y discusión

Este capítulo muestra los resultados obtenidos tras el procesamiento de la información empírica, organizados en tablas, gráficos y análisis estadísticos pertinentes. Se discuten los hallazgos en función de los objetivos e hipótesis planteadas, permitiendo contrastar la evidencia con la teoría existente (Montgomery, 2019). Se finaliza con las conclusiones y recomendaciones derivadas del estudio.

II. Planteamiento del problema

2.1.Descripción y formulación del problema

La ciudad del Cusco presenta una alta vulnerabilidad frente a incendios urbanos, los cuales suelen originarse por cortocircuitos, fugas de gas, acumulación de materiales combustibles, trabajos en caliente y prácticas constructivas informales asociadas al crecimiento urbano desordenado. Uno de los factores críticos es la prevalencia de viviendas autoconstruidas sin supervisión profesional, lo que implica el incumplimiento de normas técnicas de seguridad estructural y aumenta significativamente el riesgo ante eventos térmicos severos (MVCS, 2020). Esta situación se agrava en el Centro Histórico, donde la presencia de calles estrechas limita la intervención rápida de los bomberos, incrementando la magnitud de los daños durante los siniestros.

Según el Gobierno Municipal del Cusco (2016), entre 2003 y 2015 se registraron 844 incendios urbanos, ubicando este tipo de emergencia como la principal amenaza de la provincia. Estos eventos no solo generan pérdidas materiales, sino que también comprometen la estabilidad estructural de las edificaciones, especialmente en aquellas construidas con concreto convencional.

La exposición del concreto a altas temperaturas produce efectos debilitantes significativos: pérdida de humedad, deshidratación de la pasta cementicia, microfisuración interna, disminución de la cohesión, degradación química y reducción progresiva de la resistencia a la compresión (Neville, 2011; Kodur & Phan, 2007). Estudios especializados demuestran que el concreto convencional puede perder entre 40 % y 70 % de su resistencia mecánica al superar los 600 °C (Khaliq & Kodur, 2011; Noumowe, 2005). Estos deterioros aumentan la probabilidad de colapsos parciales o totales durante incendios prolongados, especialmente en edificaciones antiguas o autoconstruidas.

En contraste, investigaciones internacionales han demostrado que la incorporación de cemento refractario puede mejorar la estabilidad térmica del concreto, debido a su resistencia a temperaturas superiores a los 1000 °C, su baja degradación química y su mayor cohesión estructural frente al choque térmico (ACI Committee 221, 2016; Cai et al., 2019). Sin embargo, en el Perú —y particularmente en Cusco— no se cuenta con estudios experimentales que evalúen comparativamente el desempeño del concreto convencional y el concreto reforzado con cemento refractario bajo condiciones térmicas controladas.

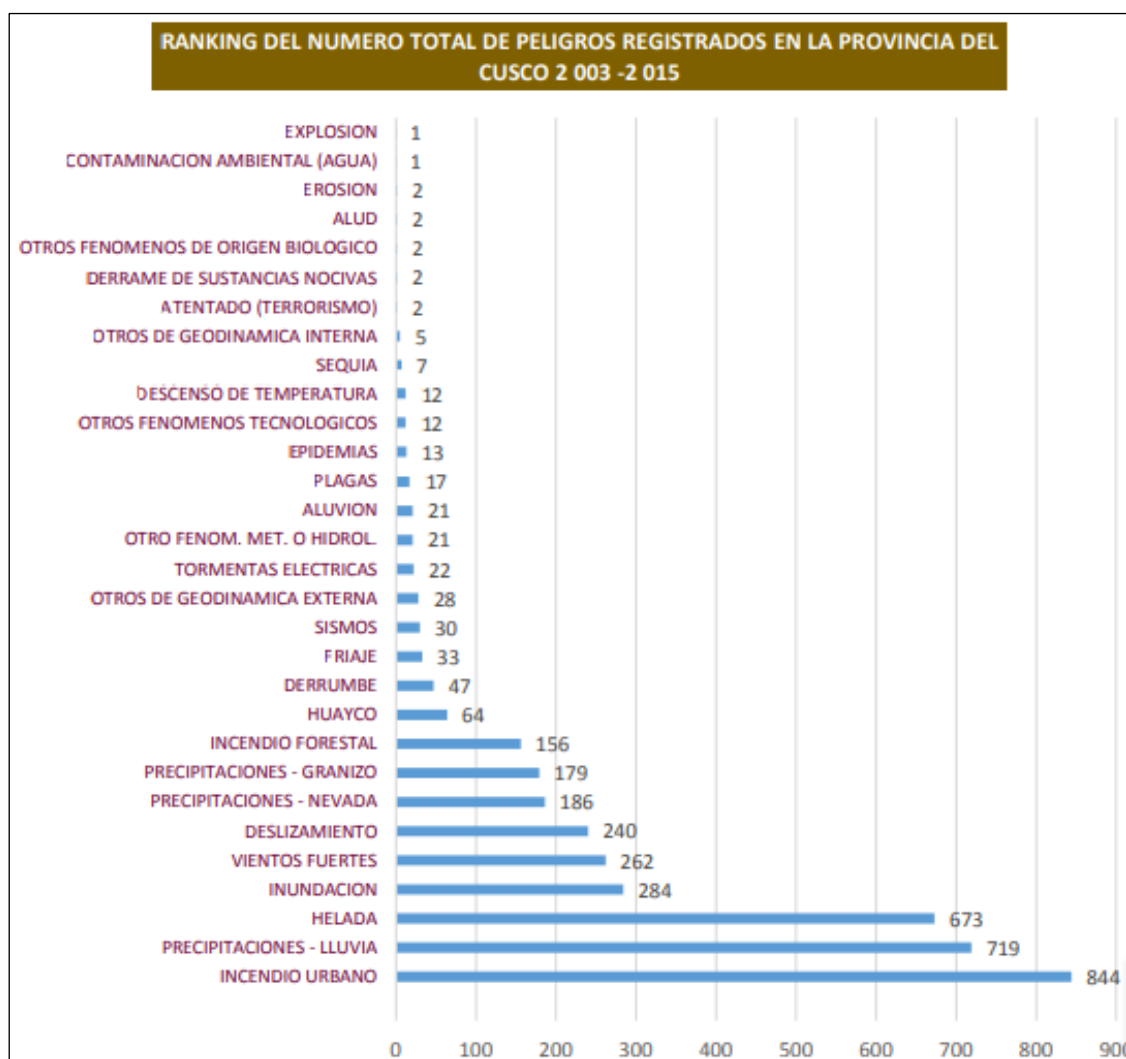
Esta falta de evidencia local constituye una brecha técnica relevante, considerando que Cusco es una zona donde la combinación de densidad urbana, autoconstrucción, materiales vulnerables y alta incidencia de incendios incrementa los riesgos estructurales. En este contexto, evaluar alternativas de concreto con mayor resistencia térmica se convierte en una necesidad urgente para fortalecer la seguridad de edificaciones residenciales, comerciales e industriales. Asimismo, la implementación de materiales refractarios podría complementar otras medidas de reducción de riesgos, como sistemas de alerta temprana y mantenimiento preventivo

en establecimientos de alto riesgo (restaurantes, almacenes, fábricas, talleres), contribuyendo así a disminuir la vulnerabilidad urbana ante incendios.

Por tanto, surge la necesidad de realizar una investigación que analice de manera experimental el impacto térmico sobre las propiedades físicas y mecánicas del concreto convencional y del concreto reforzado con cemento refractario, a fin de proporcionar evidencia técnica que oriente futuras decisiones de diseño, normativa y gestión del riesgo en la región Cusco.

Figura 1

Ranking del número total de peligros registrados en la provincia del Cusco 2003-2015.



Nota: Gobierno Municipal del Cusco, (2016)

Entre los años 2003 y 2015, la provincia del Cusco registró una amplia variedad de peligros naturales y antrópicos, destacando de manera significativa los incendios urbanos, con 844 casos, como la amenaza más frecuente y crítica del periodo. Le siguen las precipitaciones intensas (719 casos) y las heladas (673 casos), evidenciando que los eventos climáticos extremos también afectan severamente a la región.

Otros peligros relevantes incluyen inundaciones (284), vientos fuertes (262), deslizamientos (240) y nevadas (186), todos ellos asociados principalmente a las características geográficas y climáticas del territorio cusqueño. En menor medida aparecen los huaycos, derrumbes, sismos, plagas y epidemias, mientras que eventos como explosiones, contaminación ambiental o atentados son poco frecuentes.

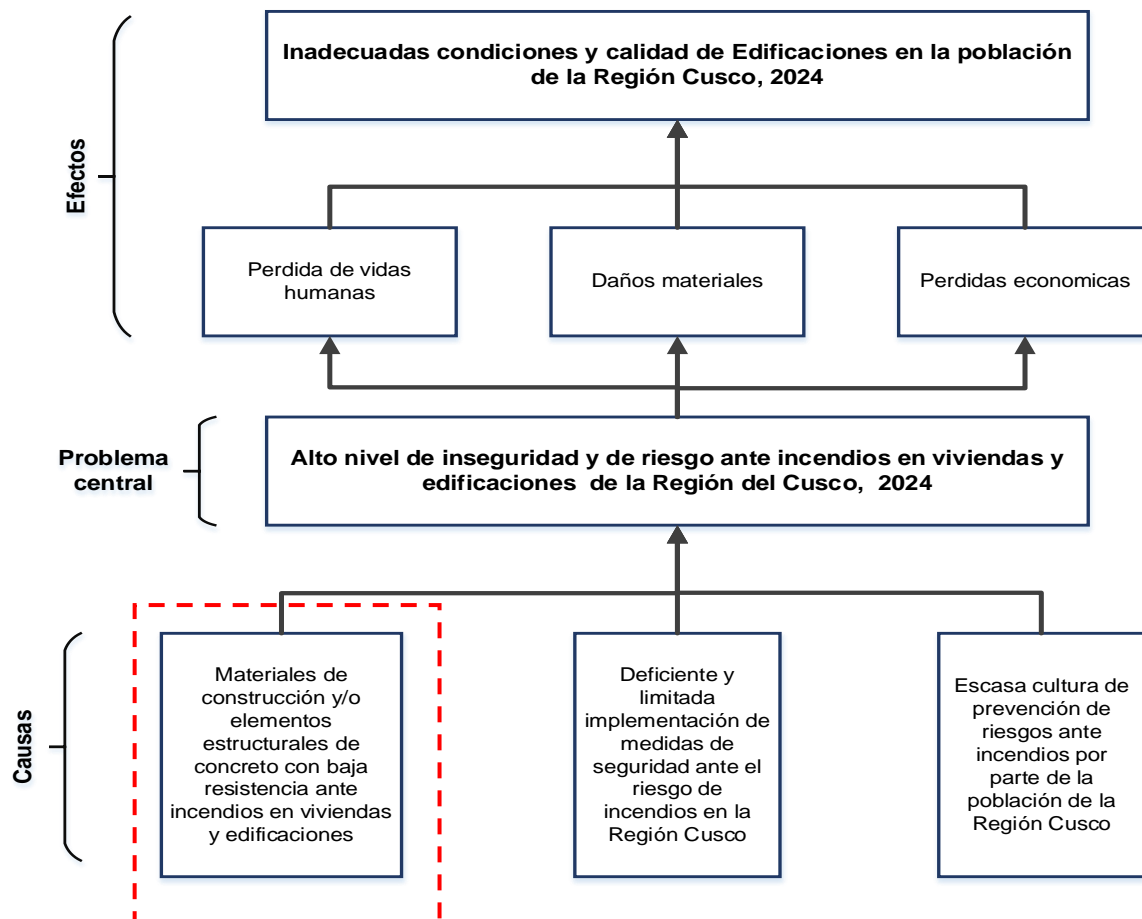
En conjunto, los datos muestran que Cusco enfrenta una combinación de riesgos estructurales, climáticos y geodinámicos, siendo los incendios urbanos el peligro predominante. Esta prevalencia resalta la necesidad de fortalecer la seguridad de las edificaciones, mejorar los materiales constructivos y promover políticas de prevención y respuesta ante incendios, especialmente en contextos urbanos vulnerables y de alta densidad.

En ese sentido se ha identificado como problemática central el alto nivel de inseguridad y de riesgo ante incendios en viviendas y edificaciones de la Región del Cusco, 2024. El mismo que tiene como principales causas: 1) Materiales de construcción y/o elementos estructurales de concreto con baja resistencia ante incendios en viviendas y edificaciones; 2) Deficiente y limitada implementación de medidas de seguridad ante el riesgo de incendios en la Región Cusco; y 3) Escasa cultura de prevención de riesgos ante incendios por parte de la población de la Región Cusco. Dicho problema trae como consecuencias: 1) Pérdida de vidas humanas; 2) Daños materiales y 3) Pérdidas

económicas. Lo mismo que finalmente ocasiona una percepción de inadecuadas condiciones y calidad de vida en la población de la región del Cusco, 2024.

Figura 2

Árbol de causas y efectos del problema



En ese marco el presente estudio se enfoca en investigar la incidencia comparativa de las altas temperaturas en las propiedades del concreto convencional y concreto reforzado con cemento refractario, Cusco – 2024.

2.1.1 Problema general

¿Cómo influyen las altas temperaturas en el comportamiento del concreto del concreto convencional y del concreto reforzado con cemento refractario, Cusco – 2024?

2.1.2 Problemas específicos

- ✓ PE 01: ¿Cómo influyen las altas temperaturas en las propiedades físicas del Comportamiento del concreto convencional y del concreto reforzado con cemento refractario, Cusco – 2024?
- ✓ PE 02: ¿Cómo influyen las altas temperaturas en las propiedades mecánicas del Comportamiento del concreto convencional y del concreto reforzado con cemento refractario, Cusco – 2024
- ✓ PE 03: ¿Cómo influyen las altas temperaturas en las propiedades térmicas del Comportamiento del concreto convencional y del concreto reforzado con cemento refractario, Cusco – 2024
- ✓ PE 04: ¿Cómo influyen las altas temperaturas en el comportamiento del concreto convencional y del concreto reforzado con la adición del 15 % y 30 % de cemento refractario, Cusco, 2024?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo general

- ✓ Evaluar el nivel de incidencia de las altas temperaturas en las propiedades del concreto convencional y del concreto reforzado con cemento refractario, Cusco – 2024.

2.2.2. Objetivos específicos

- ✓ OE 01: Analizar la influencia de las altas temperaturas en las propiedades físicas del concreto convencional y del concreto reforzado con cemento refractario, Cusco – 2024.

- ✓ OE 02: Analizar la influencia de las altas temperaturas en las propiedades mecánicas del concreto convencional y del concreto reforzado con cemento refractario, Cusco – 2024.
- ✓ OE 03: Analizar la influencia de las altas temperaturas en las propiedades térmicas del concreto convencional y del concreto reforzado con cemento refractario, Cusco – 2024.
- ✓ OE 04: Analizar la influencia de las altas temperaturas en el comportamiento del concreto convencional y del concreto reforzado con la adición del 15 % y 30 % de cemento refractario, Cusco, 2024.

2.3. Justificación e importancia

2.3.1. Teórico

La inclusión de cemento refractario en mezclas de concreto sometidas a altas temperaturas constituye un campo aún incipiente en la literatura local, a pesar de que en el ámbito internacional existen antecedentes sobre la resistencia térmica del concreto. En la región de Cusco y en el Perú en general no hay suficientes investigaciones que relacionen las condiciones térmicas extremas con la variación de las propiedades físicas y mecánicas del concreto, por lo que se identifica una brecha que justifica esta investigación. Además, las construcciones de concreto se ven frecuentemente expuestas a escenarios de calor intenso —ya sea por incendios, procesos industriales o el clima—, por lo que es crucial explorar materiales capaces de soportar temperaturas elevadas sin perder sus características estructurales.

Para evaluar esta problemática se recurrió a metodologías de ensayo basadas en normas técnicas reconocidas (como ASTM y NTP), lo que garantiza la confiabilidad de los resultados y permite compararlos con estudios previos. Al comparar el

desempeño del concreto convencional con el de concreto modificado mediante cemento refractario, la investigación ofrece un análisis integral que podría servir de base para futuras innovaciones en el diseño de materiales más resistentes al calor, contribuyendo tanto al ámbito académico como a la práctica de la ingeniería civil

2.3.2. Metodológico

Metodológicamente, la investigación se sustenta en un diseño cuasi experimental. Este tipo de diseño permite manipular deliberadamente al menos una variable independiente —en este caso, la temperatura de exposición y la dosificación de cemento refractario— mientras se trabaja con grupos ya conformados y sin asignación aleatoria, como señalan Hernández Sampieri (2014). Así, se puede comparar el desempeño del concreto convencional frente al concreto refractario bajo condiciones térmicas controladas, respetando la estructura original de los grupos de estudio. La adopción de un enfoque cuantitativo garantiza objetividad en la recolección y análisis de datos; la aplicación de pruebas como el análisis de varianza y la regresión lineal permite validar estadísticamente las diferencias observadas entre los grupos, asegurando una metodología replicable en futuras investigaciones.

2.3.3. Práctico

En el ámbito práctico, los resultados de esta investigación poseen un valor significativo para la realidad constructiva de Cusco, una región donde los incendios urbanos, la actividad industrial y las condiciones térmicas extremas representan un riesgo permanente para la integridad de las edificaciones. La posibilidad de determinar una dosificación óptima de cemento refractario en mezclas de concreto permite potenciar la resistencia del material frente a temperaturas elevadas,

reduciendo notablemente la probabilidad de fisuración, pérdida de capacidad portante o colapsos estructurales durante o después de un evento térmico.

Este aporte es especialmente relevante en edificaciones del centro histórico, viviendas autoconstruidas y estructuras vinculadas a actividades económicas locales —como restaurantes, panaderías, talleres, almacenes y pequeñas industrias— que, por su uso cotidiano de fuentes de calor, presentan mayor vulnerabilidad. La aplicación de los resultados permitirá que profesionales, municipalidades y constructores cuenten con criterios técnicos accesibles y aplicables para mejorar la seguridad estructural sin recurrir a soluciones costosas, tecnológicamente complejas o difíciles de implementar en el contexto local.

En consecuencia, los hallazgos de este estudio no solo contribuyen a incrementar la durabilidad de las obras civiles en Cusco, sino que también ofrecen una alternativa práctica, económica y adaptada al contexto regional para enfrentar el deterioro térmico, fortaleciendo así la resiliencia de las edificaciones ante eventos de calor extremo.

2.3.4. Delimitación

La investigación se acota a la región del Cusco durante el año 2024 y se centra en el análisis comparativo de dos tipos de concreto: el convencional, elaborado con cemento Portland tipo IP, y el concreto modificado mediante la inclusión de cemento refractario en peso, el cual es un aglomerante hidráulico a base de alúmina, sílice y otros compuestos refractarios con propiedades que soportan altas temperaturas, estabilidad térmica, baja conductividad sin perder sus propiedades físico mecánicas, ambos de diseño $f'c=210\text{kg/cm}^2$.

Para ello se prepararán series de probetas normalizadas cilíndricas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura en moldes específicos, con agregados de la cantera de Vicho, agua potable, que serán sometidas a curado y posteriormente expuestas, mediante hornos o muflas controladas con termopares en la base inferior y base superior de la muestra cilíndrica, a rangos de temperatura previamente definidos (por ejemplo 300 °C, 500 °C y 700 °C) y tiempo de exposición (30min, 60 min y 90 min), donde la fuente de calor se encuentra una distancia menor de 30cm en contacto con la base inferior de la probeta. Después de la exposición térmica y su correspondiente enfriamiento, se ensayarán las probetas en prensa hidráulica u otros dispositivos homologados para determinar la resistencia a la compresión, la tracción, la pérdida de masa y los cambios en la textura superficial.

El estudio se propone generar datos cuantitativos que describan la variación de las propiedades físicas y mecánicas en función de la temperatura, permitiendo así construir curvas de comportamiento y comparar la eficacia del cemento refractario frente al concreto convencional. Con base en estos resultados se pretende contribuir a resolver la falta de información sobre el desempeño del concreto refractario en contextos locales, ofreciendo criterios técnicos que orienten el diseño de estructuras capaces de soportar altas temperaturas y mejorando la seguridad y durabilidad de las construcciones en la región.

2.3.5. Contribución al desarrollo sostenible y a políticas regionales de construcción segura

Este estudio contribuye directamente al desarrollo sostenible al promover el uso de materiales más resistentes, durables y seguros frente a condiciones térmicas extremas, reduciendo la probabilidad de colapsos estructurales y extendiendo la vida

útil de las edificaciones. Al evaluar concretos reforzados con cemento refractario, se generan alternativas constructivas que disminuyen la necesidad de reparaciones, demoliciones y reconstrucciones posteriores a incendios, lo que a su vez reduce el consumo de recursos, la generación de residuos y la huella ambiental asociada al ciclo de vida de las obras.

Asimismo, la investigación se alinea con las políticas regionales de construcción segura impulsadas por el Gobierno Regional del Cusco y las municipalidades, las cuales promueven edificaciones que cumplan parámetros técnicos adecuados y reduzcan la vulnerabilidad urbana frente a emergencias. Al ofrecer evidencia científica sobre el comportamiento térmico del concreto, el estudio proporciona información técnica que puede orientar futuras normativas, guías de diseño y criterios de supervisión para edificaciones en zonas de alto riesgo, contribuyendo de manera concreta a mejorar la resiliencia de la infraestructura urbana y a proteger la vida y el patrimonio de la población.

2.3.6. Viabilidad del estudio

El estudio es viable debido a que se cuenta con los recursos necesarios para la elaboración de las mezclas de concreto, el acceso a laboratorios de ensayos físicos y mecánicos, y la disponibilidad de equipos para la aplicación de altas temperaturas, como hornos eléctricos y muflas. Asimismo, los materiales —cemento Portland, cemento refractario y agregados— son accesibles en el mercado local. La metodología experimental propuesta es compatible con las capacidades técnicas existentes y puede ejecutarse en un tiempo razonable sin requerir infraestructura especializada adicional.

2.3.7. Factibilidad del estudio

La investigación es factible porque los procedimientos experimentales pueden desarrollarse con tecnología disponible en laboratorios universitarios o centros de investigación regionales. Además, el costo de los materiales es relativamente bajo, lo que permite elaborar diversas muestras con porcentajes diferenciados de cemento refractario. El personal técnico capacitado para realizar ensayos de resistencia, fraguado y comportamiento térmico también se encuentra disponible. A ello se suma la pertinencia del estudio para la realidad local, lo cual favorece su ejecución y respaldo institucional.

2.3.8. Limitaciones del estudio

Entre las principales limitaciones se encuentran la temperatura máxima alcanzable por los equipos disponibles, lo cual podría restringir el análisis a un rango menor al de ciertos incendios reales. Asimismo, la variabilidad en el suministro de cemento refractario y agregados puede generar ligeras diferencias en las propiedades iniciales de las mezclas. Otra limitación es que los ensayos se realizan en condiciones controladas de laboratorio, lo que no siempre reproduce completamente los escenarios de incendio reales, donde intervienen factores como la velocidad de calentamiento, el choque térmico y la presencia de cargas estructurales.

2.4. Hipótesis

2.2.1 Hipótesis general

- Las propiedades del concreto reforzado con cemento refractario presentan una resistencia frente a altas temperaturas entre 20 % y 40 % mayor que las del concreto convencional, Cusco – 2024.

2.4.2 Hipótesis específicas

- Las altas temperaturas afectan en mayor medida las propiedades físicas del concreto convencional que las del concreto reforzado con cemento refractario, Cusco – 2024.
- Las altas temperaturas afectan en mayor medida las propiedades mecánicas del concreto convencional que las del concreto reforzado con cemento refractario, Cusco – 2024.
- Las altas temperaturas afectan en mayor medida las propiedades térmicas del concreto convencional que las del concreto reforzado con cemento refractario.
- Las altas temperaturas afectan en mayor medida al concreto convencional frente al concreto reforzado con 15 % y 30 % de cemento refractario, Cusco, 2024.

2.5. Variables

2.5.1 Variable I

Variable independiente: Altas temperaturas

a) Definición conceptual

Las altas temperaturas pueden tener efectos significativos en los materiales de construcción. Cuando los materiales se exponen a temperaturas elevadas, como las generadas por incendios, pueden experimentar cambios físicos que afectan su integridad y propiedades. Las principales dimensiones que se deben evaluar son: Temperatura, tiempo de exposición, zona de exposición (Covarrubias & Ruvalcaba, 2015).

Se considera alta temperatura en el concreto cuando este es expuesto a valores superiores a 100 °C, lo cual puede causar pérdida de humedad, agrietamiento, microfisuración y pérdida de resistencia mecánica. (*Khoury, 2000*).

b) Definición operacional

La variable independiente “altas temperaturas” se define como la exposición térmica severa aplicada al concreto bajo condiciones controladas. Su medición se estructura en tres dimensiones: temperatura, tiempo de exposición y zona de exposición. La temperatura se registra con sensores tipo termopar, siguiendo los criterios de la norma ASTM E119, que establece curvas estándar de calentamiento, alcanzando más de 900 °C en una hora (ASTM, 2004).

El tiempo de exposición permite evaluar la duración continua del calor aplicado, influenciando directamente el grado de deterioro del concreto (IMT, 2010). Por último, la zona de exposición considera el área específica del espécimen que recibe calor, ya que el daño térmico varía según la profundidad del material; estudios han demostrado que la degradación es mayor en la superficie que en el núcleo (Thanaraj, García & Arévalo, 2020). Estas tres dimensiones permiten representar cuantitativamente la variable independiente y analizar su efecto sobre las propiedades físicas y mecánicas del concreto.

Dimensiones:

- D1: Temperatura
- D2: Tiempo de exposición
- D3: Zona de exposición

2.5.2 Variable II

Variable dependiente: Comportamiento del concreto

a) Definición conceptual

El comportamiento del concreto se define como la respuesta integral del material frente a la acción de agentes externos, manifestada a través de cambios en sus propiedades físicas, mecánicas y térmicas. El concreto es un material compuesto formado por agregados y una pasta cementante, cuya estabilidad y desempeño dependen de la integridad de su estructura interna y de la interacción entre sus componentes.

Cuando el concreto es sometido a altas temperaturas, su comportamiento puede verse afectado por fenómenos como la evaporación del agua libre y combinada, la generación de fisuración, la degradación de la pasta cementante y la pérdida progresiva de resistencia. Estas alteraciones se reflejan en su estado físico, en su capacidad de soportar cargas y en su estabilidad frente a la acción térmica (Chauca & Cruz, 2014; Khoury, 2000). (Chauca & Cruz, 2014).

b) Definición operacional

La variable dependiente comportamiento del concreto se evalúa operativamente mediante el análisis comparativo del concreto convencional y del concreto reforzado con cemento refractario, considerando distintas dosificaciones de adición (0 %, 15 % y 30 %), antes y después de la exposición a altas temperaturas.

Su evaluación se estructura en cuatro dimensiones:

Las propiedades físicas permiten identificar la degradación superficial del concreto a través de indicadores como la pérdida de masa, la variación de densidad, los cambios visibles y la fisuración superficial, así como la absorción de agua, los cuales reflejan el deterioro físico inducido por la acción térmica.

Las propiedades mecánicas se determinan mediante ensayos que evalúan la capacidad resistente del concreto luego de la exposición térmica, principalmente a través de la resistencia a la compresión y la pérdida de resistencia, permitiendo cuantificar el impacto del calor sobre su desempeño estructural.

Las propiedades térmicas describen la capacidad del concreto para mantener estabilidad frente a la acción directa de altas temperaturas, considerando su resistencia térmica y el nivel de temperatura que puede soportar sin presentar fallas significativas.

Finalmente, la dosificación del cemento refractario se incorpora como una condición comparativa del material, ya que el porcentaje de adición (0 %, 15 % y 30 %) condiciona el comportamiento del concreto frente a la exposición térmica, permitiendo analizar la influencia progresiva del contenido de cemento refractario en su desempeño global.

Dimensiones:

- D1: Propiedades físicas
- D2: Propiedades mecánicas
- D3: Propiedades térmicas
- D4: Dosificación del cemento refractario

Tabla 1*Matriz de operacionalización de variables*

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES							
Variable	Definición Conceptual	Dimensión	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores	Escala de Medición	Unidad de Medida
Comportamiento del concreto (VD)	Respuesta del concreto frente a la acción de altas temperaturas, manifestada en cambios de sus propiedades físicas, mecánicas y térmicas, considerando la dosificación del cemento refractario.	Propiedades físicas	Características físicas del concreto que se modifican por la exposición térmica.	Evaluación comparativa del estado físico del concreto antes y después de la exposición a altas temperaturas.	Pérdida de masa Cambios visibles / fisuración superficial Absorción de agua	Cuantitativa	%
		Propiedades mecánicas	Capacidad del concreto para resistir esfuerzos mecánicos luego de la exposición térmica.	Ensayos mecánicos en especímenes de concreto expuestos a altas temperaturas.	- resistencia a la compresión - resistencia a la tracción indirecta - Pérdida de resistencia	Cuantitativa	MPa
		Propiedades térmicas	Capacidad del concreto para mantener estabilidad frente a la acción térmica directa.	Observación del comportamiento del concreto durante y después de la exposición a altas temperaturas.	- Capacidad de resistencia a altas temperaturas - Estabilidad térmica del material	Cuantitativa	°C

		Dosificación del cemento refractario	Proporción de cemento refractario incorporado en la mezcla de concreto que condiciona su comportamiento frente a altas temperaturas.	Elaboración y evaluación comparativa de especímenes de concreto con distintos porcentajes de adición de cemento convencional por cemento refractario.	Porcentaje de adición de cemento refractario	Cuantitativa	0 %, 15 %, 30 %
Variable	Definición conceptual	Dimensión	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición	Unidad de medida
Altas temperaturas (VI)	Condición térmica elevada aplicada al concreto capaz de modificar su comportamiento físico, mecánico y térmico.	Exposición térmica	Condiciones bajo las cuales el concreto es sometido a una fuente de calor durante un determinado nivel, tiempo y zona de aplicación.	Aplicación controlada de temperatura a especímenes de concreto en laboratorio, considerando distintos niveles térmicos y tiempos de exposición.	Nivel de temperatura: - Bajo inicial 300-400 °C - Medio combustión 400-600 °C - Alto latente 600-800 °C	Cuantitativa	°C
					Tiempo de exposición: - 30 min - 60 min - 90 min	Cuantitativa	min
					Zona de exposición: - Exposición general - Exposición focalizada	Cuantitativa	% / —

III. Marco Teórico

3.1 Antecedentes

3.1.1 A nivel internacional

Según Pérez J., López A., Téllez J. et al. (2023), en su estudio titulado “Estudio del comportamiento del concreto sometido a alta temperatura”, tuvo como objetivo: evaluar el comportamiento del concreto sometido a temperaturas de 0 °C, 300 °C, 500 °C, 750 °C y 1000 °C, con la finalidad de medir sus propiedades. La metodología usada ha sido: estudio de tipo experimental, de nivel explicativo. Para el desarrollo del diseño experimental se elaboraron treinta especímenes cilíndricos de concreto, de los cuales diez fueron reforzados con acero de diámetro 3/8” y veinte no contaron con refuerzo. Las probetas presentaron dimensiones de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura, con una relación agua/cemento de 0.65, seleccionada por ser de uso frecuente en la práctica constructiva. Se empleó agregado basáltico con tamaño nominal máximo de 3/8” y acero con resistencia a la fluencia de 4200 kg/cm².

Los resultados obtenidos evidencian el proceso de deterioro de los especímenes, el cual en el concreto se manifiesta inicialmente mediante la aparición de fisuras, seguido del desprendimiento superficial y la desintegración progresiva del material en función del incremento de la temperatura. La cuantificación del daño se realizó mediante técnicas

avanzadas de caracterización, tales como microscopía electrónica de barrido (MEB), espectroscopía de rayos X de energía dispersiva (EDS), espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y difracción de rayos X (DRX), las cuales fueron complementadas con ensayos mecánicos de resistencia a la compresión ($f'c$).

En relación con el acero expuesto, se observó una disminución acelerada de su resistencia a la fluencia, atribuida a las transformaciones de fase y a la reducción de defectos cristalinos inducidos por la acción térmica, fenómenos que fueron evaluados mediante ensayos de metalografía, tracción y dureza. Finalmente, se concluye que la información obtenida a partir de las técnicas EDS-MEB, DRX y FTIR permite establecer correlaciones entre la resistencia residual de los elementos de concreto afectados por incendio y el grado de daño térmico, así como definir rangos de espesor de concreto que aseguren la protección adecuada del acero de refuerzo frente a la acción del fuego.

Según Alvarado G. (2016), en su tesis de pregrado titulada “Estudio del comportamiento del concreto estructural expuesto al fuego”, tuvo como objetivo determinar las propiedades físicas y mecánicas del concreto estructural luego de la exposición a fuego y definir parámetros de aceptación estructural según su comportamiento. La metodología utilizada fue la aplicación de múltiples ensayos que permitan analizar las propiedades en las cuales el material presenta algún tipo de cambio o alteración. De estos resultados se obtuvieron que los especímenes presentaron una disminución en su resistencia del 70% con temperaturas mayores a 1000°C, por lo que se puede concluir que el nivel de afectación tanto en la deformación y carga de cada una de las probetas ensayadas, su comportamiento presenta parámetros diferentes al ser comparados con un elemento no expuesto al fuego.

Según Daungwilailuk, T; Cao, Thi N.; Pansuk, W. & Pheinsusom, P. (2017), en su artículo titulado “Evaluación de la profundidad del hormigón dañado en estructuras de

hormigón reforzado sometidas a diferentes tiempos de exposición al fuego mediante técnicas END y DT” cuyo objetivo fue evaluar la profundidad de capas de concreto dañadas bajo diferentes tiempos de combustión mediante de END y DT aplicados a losas de RC, la metodología fue experimental, ya que las pruebas se realizaron en el Centro de Investigación de Seguridad contra Incendios y el Laboratorio de Concreto de Chulalongkorn, así mismo la prueba de núcleos para determinar la profundidad del daño por incendio en la capa de concreto, además de las pruebas UPV, se realizó una prueba de extracción de núcleos, obteniendo como resultado, el deterioro superficial del elemento estructural y poca afectación al núcleo, así también el color del hormigón es gris claro, sin embargo, después de calentar por encima de 300°C, el color cambia a rosa (300-600°C), luego a gris blanquecino (600-900°C) y finalmente a pulido (900-1000°C). Se concluye que la evaluación de especímenes después del incendio obteniendo como resultados la utilidad de proporcionar datos para otros estudios que tienen como objetivo la reparación y refuerzo de losas de hormigón armado dañadas por el fuego.

Según Figueroa D. & Bello J. (2018), en su tesis titulado “Evaluación y diagnóstico de la resistencia a compresión y a flexión del Concreto simple después de expuesto a 450°C”, tuvo como objetivo: determinar la variabilidad de la resistencia a compresión y flexión del concreto simple en tres condiciones diferentes: concreto simple en condiciones normales (testigo), concreto luego de ser expuesto a una temperatura promedio de 450°C y concreto expuesto a la misma temperatura, pero con un aditivo reductor de agua. La metodología empleada corresponde a una investigación de enfoque experimental y nivel explicativo. Para el desarrollo del estudio se elaboró una mezcla de concreto con dosificación 1:2:2, la cual fue subdividida en tres partes iguales. A una de estas fracciones se le incorporó el aditivo EUCON 37, reductor de agua de alto rango de la marca Toxement, con el propósito de evaluar su influencia en el comportamiento del concreto sometido a

elevadas temperaturas, mientras que las dos fracciones restantes se mantuvieron sin adición, bajo condiciones convencionales.

Se moldearon quince especímenes cilíndricos de concreto con dimensiones de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura, destinados a ensayos de resistencia a la compresión. Asimismo, se fabricaron quince probetas prismáticas tipo viga con dimensiones de $24 \times 8.5 \times 7.5$ cm, utilizadas para la evaluación de la resistencia a flexión. Los resultados obtenidos permitieron clasificar las probetas en tres condiciones de análisis: estado normal (L), estado normal sometido a altas temperaturas (F) y estado expuesto a altas temperaturas con incorporación del aditivo (A), con el fin de determinar la variación de la resistencia mecánica y los cambios estructurales inducidos por la acción térmica.

A partir del análisis de los resultados, se concluye que el nivel de deterioro del concreto frente a elevadas temperaturas aumenta en función de su porosidad; en consecuencia, la utilización de aditivos que contribuyen a la reducción de la porosidad constituye un factor favorable para mejorar la resistencia y el desempeño del concreto en condiciones térmicas adversas.

Según Moreno D. (2017), en su tesis titulado “Análisis de la resistencia a compresión del concreto expuesto a fuego, elaborado a base de talco industrial como remplazo parcial del agregado fino”, tuvo como objetivo: El presente estudio tuvo como objetivo analizar la resistencia a compresión del concreto expuesto a fuego, elaborado utilizando talco industrial como reemplazo parcial del agregado fino, en comparación con un hormigón convencional con $f'c = 210$ kg/cm². La investigación se desarrolló bajo una metodología experimental, elaborándose un total de 48 probetas. Para cada variación en la mezcla correspondiente al porcentaje de reemplazo de talco industrial y para cada nivel de temperatura al que se expusieron las muestras, se fabricaron 3 probetas, las cuales fueron ensayadas para

determinar su resistencia residual a compresión según la dosificación empleada en cada mezcla.

Los resultados se obtuvieron a partir de los ensayos realizados en los 48 cilindros de concreto con adición de talco industrial, así como en 12 cilindros de control sin ningún reemplazo, evaluando la resistencia a compresión a los 28 días de edad. Los hallazgos indicaron que las mezclas con talco industrial como sustituto parcial del agregado fino en proporciones del 10 %, 20 % y 30 % presentaron incrementos de hasta un 20 % en la resistencia residual a compresión respecto al hormigón convencional, cuando fueron expuestas a temperaturas de 500 °C, 700 °C y 900 °C.

3.1.2 A nivel nacional

Bello B. (2023), en su estudio titulado “Influencia del material refractario como sustituto del agregado fino en la resistencia a la compresión del concreto expuesto a altas temperaturas”, tuvo como finalidad analizar el efecto del empleo de material refractario en reemplazo parcial del agregado fino sobre la resistencia a la compresión de un concreto con resistencia característica $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, sometido a condiciones térmicas elevadas. El estudio se desarrolló bajo un enfoque de investigación aplicada, con un diseño cuasiexperimental y orientación cuantitativa.

La población estuvo constituida por especímenes de concreto con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, mientras que la muestra comprendió un total de 270 probetas cilíndricas destinadas a los ensayos de resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y pérdida de masa. En las mezclas experimentales, el agregado fino fue reemplazado por material refractario en proporciones del 10%, 20%, 30%, 40% y 50% en peso. Los especímenes fueron sometidos inicialmente a condiciones ambientales de 29 °C y posteriormente expuestos a rangos de temperatura de 200–400 °C, 400–600 °C, 600–800 °C y 800–1000 °C, con tiempos de exposición de 15, 30 y 60 minutos.

Los resultados evidenciaron que el asentamiento del concreto disminuyó progresivamente desde un 0% hasta un 42.85% conforme aumentó el porcentaje de material refractario del 10% al 50%, comportamiento similar al observado en el peso unitario, el cual se redujo entre 1.14% y 2.45%. En cuanto a las propiedades mecánicas, se registró un incremento máximo del 14.44% en la resistencia a la compresión y del 7.01% en el módulo de elasticidad para la mezcla CP21MR40, mientras que la menor pérdida de masa (-1.048%) se obtuvo con la dosificación CP21MR50, bajo el rango de temperatura más crítico de 800–1000 °C.

Finalmente, se concluye que la mezcla CP21MR40 presentó el desempeño más favorable frente a la acción prolongada del fuego, manteniendo mejores propiedades mecánicas durante exposiciones térmicas de hasta una hora, lo que demuestra su mayor capacidad de resistencia ante eventos extremos de calor.

Para, Navarro J. & Colque L. (2021), en su tesis titulada “Comportamiento del Concreto reforzado sometido a Altas temperaturas por incidencia del fuego directo en la Región Tacna, 2020”, donde tuvo como objetivo determinar la variación de la propiedad mecánica de resistencia de una pieza experimental de concreto reforzado sometido a altas temperaturas. Metodología: Se empleó una viga de concreto armado con dimensiones de $L = 180$ cm, ancho $b = 15$ cm y altura $h = 10$ cm, reforzada con acero de $f_y = 4200$ kg/cm². El refuerzo longitudinal consistió en 4 varillas de 10 mm en la parte superior e inferior, mientras que el refuerzo transversal fue de 7 varillas de 8 mm separadas a 10 cm. El recubrimiento del concreto fue de 2,5 cm, y la viga se sometió a exposición directa al fuego, considerando una resistencia de diseño del concreto de $f'_c = 210$ kg/cm².

Resultados: La observación de los ensayos indicó que la resistencia del concreto disminuye de manera progresiva conforme aumenta la temperatura, incrementándose en intervalos de 100 °C cada 15 minutos. El nivel de afectación crítico se presentó tras 180

minutos de exposición al fuego, con una temperatura de 750 °C, donde la viga alcanzó la falla, soportando cargas de 32 kN y 3263,04 kN respectivamente. En conclusión, la resistencia del concreto expuesto a fuego se reduce de forma significativa a temperaturas iguales o superiores a 750 °C ($F = 20,3446$; $p = 0,001$), situación en la que se produjo la rotura de la viga.

Para, Mesa E. (2018), en su tesis titulada “Evaluación de las propiedades mecánicas del concreto armado expuesto al fuego en intervalos de tiempos, Lambayeque, 2018”, donde el objetivo principal es evaluar las propiedades mecánicas del concreto armado expuesto al fuego en intervalos de tiempo para realizar propuesta de mejora. La metodología de investigación fue experimental aplicada, donde se obtuvo como resultado que las dosificaciones en peso determinadas para la elaboración del concreto con resistencia característica $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ correspondieron a una proporción de 1:2.44:2.23, con un contenido de agua de 29.4 L/pe³. De manera similar, para el concreto con $f'c = 245 \text{ kg/cm}^2$ se obtuvo una relación de 1:2.17:2.00, utilizando 26.7 L/pe³ de agua. Finalmente, el concreto diseñado para alcanzar una resistencia $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ presentó una dosificación de 1:1.95:1.81, con un consumo de agua de 24.6 L/pe³.

A partir de estos resultados, se concluye que el incremento del contenido de cemento en la mezcla permite alcanzar mayores valores de resistencia cilíndrica a la compresión del concreto, evidenciando una relación directa entre la dosificación del cemento y el desempeño mecánico del material.

Para, Chambilla E. & Mamani Crh. (2022), en su tesis titulada “Evaluación del concreto sometido a altas temperaturas para evaluar su resistencia mecánica después de un incendio Tacna, 2022”, donde el objetivo principal es el determinar la variación de la resistencia mecánica del concreto armado sometido a variaciones de altas temperaturas por

intervalos de tiempo. Metodología: Investigación de tipo aplicada, cuantitativa y de diseño experimental.

Se llevó a cabo un diseño de mezcla con el fin de garantizar que las muestras alcanzaran una resistencia de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Para este propósito, se emplearon seis columnas reforzadas con acero, con dimensiones de $0,25 \times 0,25 \times 0,40 \text{ m}$, junto con 24 probetas cilíndricas de concreto de 12 cm de diámetro y 40 cm de altura como muestras testigo. Los resultados obtenidos mostraron que, al exponer las muestras a una temperatura constante de $800 \text{ }^\circ\text{C}$ durante intervalos de 30, 60 y 120 minutos, la resistencia promedio del concreto disminuyó a $f'c = 165,31 \text{ kg/cm}^2$, $f'c = 134,08 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c = 120,61 \text{ kg/cm}^2$, lo que representa una reducción de la resistencia mecánica del 9,46 %, 24,33 % y 30,75 %, respectivamente.

Conclusiones: Se obtuvo que el concreto durante el proceso de quemado del concreto se aprecia que en 30 minutos cambia a color blanco con leve fisuras, y deshidratación del concreto provocando la salida de agua del mismo el tiempo, a los 60 minutos se visualizó el cambio de color blanco a amarillento con fisuras agrietamiento y desprendimiento del concreto armado, así mismo a los 120 minutos se ve un cambio de color amarillo con negro en los bordes donde se ve graves fisuras y desprendimiento hasta reventar el concreto en ciertas zonas.

Para, Condor J. (2021), En la tesis titulada “Efectos del fuego por incendio en el comportamiento del concreto armado en elementos estructurales de edificios – Huancayo”, se tuvo como propósito analizar la influencia de la fase incipiente del incendio sobre el desempeño del concreto armado en los elementos estructurales de edificaciones ubicadas en la ciudad de Huancayo durante el año 2020. La investigación se desarrolló bajo un enfoque aplicado, con nivel explicativo y un diseño experimental.

La población de estudio estuvo constituida por 78 probetas de concreto de dimensiones 4" × 8", con una resistencia característica $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$. De este total, 30 especímenes conformaron el grupo de control y no fueron expuestos a la acción del fuego, mientras que las 48 probetas restantes se distribuyeron en tres grupos correspondientes a las distintas fases del incendio. Dado que se trabajó con la totalidad de los especímenes disponibles, la muestra coincidió con la población, considerándose de tipo censal.

Los resultados evidenciaron que los efectos de la fase incipiente del fuego generan reducciones significativas en las propiedades mecánicas del concreto armado, registrándose disminuciones del 15.28% en resistencia a la compresión y del 21.53% en resistencia a la tracción para los especímenes sin refuerzo, así como reducciones del 8.18% y 5.82%, respectivamente, en aquellos con refuerzo. En consecuencia, se rechazó la hipótesis nula (H_0), dado que los valores obtenidos del estadístico t superaron los valores críticos establecidos ($t > t_{(1-\alpha, n-1)}$), siendo $3.13 > 2.01$ para especímenes sin refuerzo y $2.62 > 2.01$ para los reforzados. Asimismo, los valores de significancia obtenidos fueron inferiores al nivel de significancia adoptado ($\alpha = 5\%$), con p -valores de 0.012 para el concreto sin refuerzo y 0.023 para el concreto con refuerzo, Conclusión: El concreto armado disminuye su resistencia debido al tiempo y la temperatura de estar sometido al fuego.

Según Herrera E. V. & Celis J. (2018), en su investigación que lleva por título "Estudio del Comportamiento Mecánico de un Concreto $f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ expuesto al fuego – Lima, 2018" tuvo por objetivo: El objetivo del estudio fue evaluar la influencia del fuego en el comportamiento mecánico de un concreto convencional con resistencia característica $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, luego de su exposición a elevadas temperaturas. A partir de los ensayos realizados, se determinó el porcentaje de variación de las propiedades mecánicas del concreto, evidenciándose que la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción y el módulo de elasticidad experimentan reducciones significativas después de someter el

material a un evento térmico de alta intensidad. Como resultado, se concluye que la exposición del concreto a temperaturas elevadas genera una pérdida considerable de sus propiedades mecánicas, lo cual, en el caso de una estructura real, podría comprometer seriamente su capacidad portante y situarla en una condición cercana al colapso estructural.

3.1.3 A nivel regional y local

Desde la posición de Espinoza E. & Cachi Ch. (2019), en su investigación titulado “Análisis Comparativo de las Propiedades Físico Mecánicas del Concreto $f'c=210$ 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”, cuyo objetivo general era Analizar las propiedades físico mecánicas del concreto $f'c=210$ kg/cm², reforzado con alambre negro recocido n°8 en forma vertical con respecto a una muestra patrón, luego de ser sometida a variación de temperaturas a 800°C, 900°C y 1000°C. Metodología: en esta investigación emplearon un tipo de investigación experimental porque, El estudio se desarrolló a través de la manipulación de una variable experimental no verificada previamente, bajo condiciones estrictamente controladas.

Los resultados evidenciaron que, conforme se incrementa el tiempo de exposición a elevadas temperaturas, la resistencia del concreto presenta una disminución progresiva; comportamiento similar se observó en el alambre negro recocido N.º 8, cuya resistencia a la tracción también se redujo tras los ensayos realizados. En consecuencia, se concluyó que la resistencia a la compresión del concreto con $f'c = 210$ kg/cm², reforzado con alambre recocido N.º 8, tiende a disminuir tanto con el aumento de la temperatura como con la prolongación del tiempo de exposición. Asimismo, se constató que las muestras sometidas a una temperatura constante experimentan una pérdida gradual de su integridad estructural,

presentando fisuración al superar los 900 °C, fenómeno atribuido principalmente a la pérdida del agua de hidratación del concreto.

3.2 Bases teóricas

3.2.1. Temperatura

La temperatura puede definirse como una magnitud física variable que caracteriza el estado térmico de los cuerpos y permite establecer si estos se encuentran en equilibrio térmico entre sí. No obstante, proporcionar una definición completamente precisa resulta complejo, debido a que el concepto de temperatura se fundamenta en la medición del calor. De manera cotidiana, las personas perciben la temperatura de forma cualitativa a través de sensaciones como frío o calor; sin embargo, esta apreciación sensorial no permite obtener valores numéricos confiables, ya que los sentidos humanos son subjetivos e imprecisos para este tipo de medición.

Por esta razón, es necesario el uso de instrumentos y escalas de medición, como los termómetros, que permiten cuantificar la temperatura con mayor exactitud. El establecimiento de estas escalas se basa en propiedades físicas de la materia que varían de manera repetible y predecible con la temperatura, siendo un ejemplo representativo el agua, cuyo punto de congelación ocurre a 0 °C. Las escalas de temperatura proporcionan una referencia numérica común para la medición térmica, tomando como puntos de referencia el estado de congelación y el de ebullición. Entre las principales escalas utilizadas para medir la temperatura se encuentran la Celsius, Fahrenheit, Kelvin y Rankine (Cengel & Boles, 2015).

3.2.2 Temperatura de un sólido

La temperatura de un sólido es una medida de la energía cinética promedio de sus partículas constituyentes. A nivel microscópico, los sólidos están compuestos por átomos o moléculas que vibran en su posición de equilibrio. A medida que se aumenta la

temperatura, estas vibraciones se vuelven más intensas, lo que se traduce en un aumento en la energía cinética promedio de las partículas.

La temperatura de un sólido puede variar ampliamente dependiendo de varios factores, como el material del sólido, su estado físico (sólido metálico, cerámico, polímero, etc.), y las condiciones ambientales. Por ejemplo, el punto de fusión y el punto de ebullición son dos temperaturas importantes para los sólidos, ya que representan los puntos en los que el sólido pasa a estado líquido y luego a estado gaseoso, respectivamente. Para medir la temperatura de un sólido, se pueden utilizar diferentes dispositivos como termómetros infrarrojos, termopares, termorresistencias, o incluso termómetros de mercurio en casos específicos. Cada uno de estos dispositivos tiene su propia precisión y rango de medición, y la elección del dispositivo adecuado dependerá de las características específicas del sólido y del entorno en el que se encuentra (Zemansky, 1985).

3.2.3 Temperatura de fusión de los sólidos

La temperatura a la que un sólido pasa a líquido, también conocida como temperatura de fusión, es una propiedad física importante de los sólidos. Esta temperatura es específica para cada sólido y depende de la presión a la que se encuentre el sólido. La temperatura de fusión es una medida de la fuerza de las fuerzas intermoleculares entre los átomos o moléculas en el sólido. La fusión es el proceso por el cual un sólido cambia de estado sólido a estado líquido a medida que se calienta. La temperatura a la que ocurre este cambio se llama temperatura de fusión. La fusión requiere energía para romper las fuerzas intermoleculares que mantienen juntos los átomos o moléculas en el sólido. Esta energía se utiliza para aumentar la energía cinética de las partículas en el sólido, lo que finalmente lleva a la fusión.

La temperatura de fusión, permite conocer la estabilidad de los materiales a diferentes temperaturas. Para medir esta temperatura, existen varios métodos que se utilizan en laboratorios y en la industria. Uno de los métodos más comunes es el método de la observación visual. En este método, se coloca una muestra del sólido en un recipiente y se calienta gradualmente.

A medida que la temperatura aumenta, se observa la muestra para detectar cualquier cambio en su estado físico. Cuando la muestra comienza a derretirse, se registra la temperatura. Este método es adecuado para muestras que tienen una temperatura de fusión relativamente baja. Otro método común es el uso de un dispositivo llamado termómetro de fusión. Este dispositivo consiste en un tubo de vidrio sellado que contiene un sólido con una temperatura de fusión conocida. La muestra desconocida se coloca junto al sólido conocido y se calienta. A medida que la temperatura aumenta, se observa la muestra y se registra la temperatura en la que ambos sólidos se funden juntos. Este método es adecuado para muestras que tienen una temperatura de fusión más alta (Rosales, 2005).

3.2.4. Calor

El calor se define como una forma de energía que se transfiere entre sistemas debido a una diferencia de temperatura, proceso mediante el cual ambos tienden a alcanzar un estado de equilibrio térmico. En este sentido, el calor representa la cantidad de energía intercambiada durante dicha transferencia, cuyo resultado final es la igualación de la temperatura entre los sistemas involucrados (Zemansky, 1985).

A. Transferencia de calor por conducción:

Este mecanismo de transferencia térmica se produce a través de un medio material, cuya capacidad para conducir el calor depende de sus propiedades físicas. En consecuencia, algunos materiales facilitan de manera eficiente el flujo de energía

térmica, mientras que otros presentan un comportamiento predominantemente aislante frente a la transferencia de calor (Cengel & Boles, 2015).

B. Transferencia del calor por convección:

En este modo de transferencia térmica participan fluidos, tanto compresibles como incompresibles. El intercambio de calor se produce como consecuencia del movimiento del fluido generado por diferencias de temperatura, lo que permite el transporte de energía térmica de una región a otra (Cengel & Boles, 2015).

C. Transferencia de calor por radiación:

Este mecanismo de transferencia térmica ocurre cuando la energía calorífica emitida por un cuerpo es lo suficientemente intensa como para propagarse sin requerir contacto directo entre los cuerpos ni la presencia de un medio material que la transporte. La transferencia de calor se realiza mediante radiación electromagnética, como sucede, por ejemplo, en los equipos de corte láser, donde la energía radiada es capaz de elevar la temperatura y seccionar distintos materiales (Cengel & Boles, 2015).

3.2.5. Medición de la temperatura

Considerando que la temperatura es una magnitud física que mide la energía cinética interna de un cuerpo, objeto o del medio ambiente en general. Y cuantifica la velocidad a la que se mueven, vibran u oscilan las partículas; es decir, a mayor velocidad, más alta será la temperatura.

Las escalas de temperatura que técnicamente están establecidas son:

- Escala Celsius (°C): También conocida como “escala centígrada”, es la más utilizada para medir la temperatura. En ella, el punto de congelación del agua equivale a 0 °C y su punto de ebullición a 100 °C.

- Escala Fahrenheit (°F): Utilizada en la mayoría de los países de habla inglesa. En esta escala, el punto de congelación del agua ocurre a 32 °F y su punto de ebullición a 212 °F.
- Escala Kelvin (K): Empleada en ciencia, establece el “cero absolutos” como punto cero, equivalente a -273,15 °C.
- Escala Rankine: Usada en Estados Unidos para la medición de temperatura termodinámica, se define midiendo los grados Fahrenheit sobre el cero absoluto, sin valores negativos.

Para medir la temperatura se utilizan magnitudes termométricas representadas en diferentes unidades según las escalas. Los termómetros miden la temperatura mediante:

- Dilatación y contracción: Termómetros para gases, líquidos y sólidos.
- Variación de resistencia eléctrica: Termómetros de resistencia eléctrica y termoelectrónicos (Zemansky, 1985).

La medición de la temperatura puede realizarse mediante diversos dispositivos, siendo el termómetro de mercurio uno de los instrumentos tradicionales. Sin embargo, su uso resulta poco adecuado cuando se trabaja con rangos térmicos elevados. En estos casos, se emplean alternativas que permiten obtener lecturas sin contacto físico con la superficie evaluada, tales como los termómetros infrarrojos, pirómetros, termopares y otros equipos especializados para aplicaciones industriales y técnicas (Cengel & Boles, 2015).

Tiempo de exposición

El tiempo de exposición se refiere a la duración continua durante la cual el concreto es sometido a una fuente de calor determinada. Esta dimensión es fundamental para evaluar el comportamiento térmico del material, ya que no solo importa la

temperatura alcanzada, sino el lapso durante el cual dicha temperatura actúa sobre el concreto. A mayor tiempo de exposición, mayor es la probabilidad de degradación estructural, pérdida de masa y alteración microestructural. Normas como la ASTM E119 y estudios experimentales recomiendan evaluar tiempos típicos de 30, 60 y 120 minutos, de forma que se pueda establecer una correlación directa entre el daño térmico y el tiempo acumulado de exposición (IMT, 2010).

Zona de exposición (base inferior)

La zona de exposición hace referencia a la parte específica del espécimen de concreto que está en contacto directo con la fuente de calor, lo cual en este estudio se restringe a la superficie lateral del elemento. Esta dimensión es relevante porque el daño térmico en el concreto no es uniforme; las zonas externas suelen sufrir mayor deterioro por ser las primeras en recibir el flujo térmico, mientras que el núcleo interno puede conservar mejor sus propiedades estructurales. Esta distribución no homogénea del calor genera gradientes térmicos que inducen fisuración diferencial, pérdida de cohesión y desprendimiento superficial (spalling) (Thanaraj, García & Arévalo, 2020).

3.2.1. Concreto convencional y concreto reforzado

3.2.1.1 Definición del concreto

Abanto F. (2009), enfatiza que el concreto es la unión de cemento, agregados (finos y gruesos), aire y agua en raciones adecuadas según el diseño para lograr sus propiedades como la resistencia. Al incorporar agua, agregados (finos y gruesos) al cemento reacciona químicamente, lo que genera la unión de partículas formando un

material heterogéneo, en algunas ocasiones se mejora las propiedades (física, químicos y mecánicas) del concreto.

Para Chauca & Cruz (2014), el concreto es básicamente una mezcla de agregados y pasta. La pasta está compuesta de Cemento Portland y agua, la cual une los agregados fino y grueso para formar una masa semejante a una roca, pues la pasta endurece debido a la reacción química entre el Cemento y el agua. La pasta está compuesta por Cemento Portland, agua y aire atrapado o aire incluido intencionalmente. Es la fase continua del concreto dado que siempre está unida con algo de ella misma a través de todo el conjunto de éste.

3.2.1.2 Componentes del concreto

Propiedades físicas

Las propiedades físicas del concreto hacen referencia a aquellas características observables y medibles que describen su comportamiento superficial y volumétrico ante estímulos externos, sin necesidad de ensayos destructivos. En el caso de la exposición a altas temperaturas, estas propiedades incluyen: el cambio de color, la pérdida de masa, la aparición de fisuras superficiales, la desintegración del recubrimiento superficial y la formación de microgrietas. Estas manifestaciones indican el grado de afectación térmica y permiten diagnosticar el deterioro estructural inicial del material antes de evaluar su capacidad resistente. Su evaluación se realiza mediante inspección visual, pesaje digital antes y después del ensayo, y análisis fotográfico o microscópico del patrón de daño (Chauca & Cruz, 2014; Mehta & Monteiro, 2014).

Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas del concreto se refieren a su capacidad para resistir fuerzas aplicadas sin sufrir deformaciones o fallas estructurales. En contextos de exposición térmica, la propiedad mecánica más evaluada es la resistencia a la compresión axial, que representa la capacidad del concreto para soportar cargas verticales luego de haber sido afectado por el calor. Esta se mide mediante ensayos con prensa hidráulica según normas técnicas como ASTM C39 o NTP 339.034. La pérdida de resistencia a la compresión se considera un indicador directo del deterioro estructural del concreto, ya que está relacionada con la descomposición de los productos de hidratación, la expansión térmica interna y la pérdida de cohesión de la matriz cementicia (Neville, 2012; ASTM, 2010).

▪ Cemento Portland

Es un cemento obtenido por la mezcla de materiales calcáreos y arcillosos u otros materiales asociados con sílice, alúmina y óxido de hierro, que son calentados a temperaturas que provocan que se formen escorias, para posteriormente moler el producto resultante.

Es un aglomerante hidráulico y proviene de la calcinación hasta la fusión incipiente de materiales calcáreos y arcillosos y posterior molienda muy fina del “Clinker” que es el material resultante de la calcinación, con una pequeña adición de yeso, menores al 1% del peso total. El cemento posee la propiedad que al mezclarlo con agua forma una pasta aglomerante, que unido a los agregados y a medida que transcurre el tiempo va aumentando su resistencia y volviéndose más rígida (Chauca & Cruz, 2014).

▪ **Tipos de cemento**

Los tipos de cemento deben cumplir las especificaciones de las normas ASTM C 150. También podrán cumplir las NTP 334.009 para cementos.

- Tipo I: Está destinado a aplicaciones de carácter general, en las cuales no se exigen características o desempeños especiales.
- Tipo II: Donde se requiera moderado calor de hidratación y moderada resistencia a los sulfatos.
- Tipo III: Donde se requiera alta resistencia inicial.
- Tipo IV: Donde se requiera bajo calor de hidratación.
- Tipo V: Donde se requiera alta resistencia a los sulfatos.

▪ **Agregados**

Se define como el conjunto de partículas provenientes de fuentes naturales o fabricadas artificialmente, las cuales pueden ser procesadas o modificadas, y cuyas dimensiones se encuentran dentro de los rangos establecidos por la presente NTP. Estos materiales también son denominados áridos. (NTP 400.011, 2008)

La calidad de los agregados resulta un factor determinante, dado que estos representan cerca de las tres cuartas partes del volumen total del concreto. Dichos materiales no solo pueden condicionar la resistencia mecánica alcanzada, sino que sus características influyen de manera significativa en la durabilidad y el comportamiento del material. Asimismo, los agregados no deben considerarse completamente inertes, ya que sus propiedades físicas, térmicas y, en determinados casos, químicas, inciden directamente en el desempeño del concreto. (Neville & Brooks, 1998).

▪ **Clasificación de los agregados**

Los agregados por su tamaño se dividen en dos grupos como sigue:

Agregado Fino:

El agregado fino puede estar constituido por arena de origen natural, arena manufacturada o una mezcla de ambas, caracterizándose por partículas de tamaño reducido que atraviesan el tamiz de 9,5 mm (3/8"). Asimismo, este material debe cumplir con los rangos granulométricos establecidos en la Norma NTP 400.037, recomendándose considerar los criterios señalados en dicha normativa para asegurar su adecuada clasificación y uso. (Rivva, 2015)

La distribución granulométrica elegida debe ser preferentemente continua, considerando los porcentajes retenidos en los tamices N.º 4, 8, 16, 30, 50 y 100 de la serie Tyler. Asimismo, el agregado no debe presentar una retención superior al 45 % en dos tamices consecutivos, independientemente de su combinación.

Agregado Grueso:

Se considera agregado grueso al material que no atraviesa el tamiz de 4,75 mm (N.º 4) y que se ajusta a los rangos especificados en la Norma NTP 400.037. Este agregado puede estar constituido por grava de origen natural o triturado, piedra fragmentada, así como por agregados metálicos de procedencia natural o fabricada. El agregado grueso debe presentar una gradación que se encuentre dentro de los rangos establecidos por la Norma NTP 400.037 o, de manera alternativa, por la Norma ASTM C 33. Asimismo, se sugiere considerar los siguientes criterios:

- La granulometría seleccionada deberá ser de preferencia continua.
- La curva granulométrica elegida debe favorecer el logro de la mayor densidad posible del concreto, asegurando al mismo tiempo niveles adecuados de

trabajabilidad y consistencia, de acuerdo con las condiciones previstas para la colocación de la mezcla.

- La distribución granulométrica adoptada no debe presentar una retención superior al 5 % del agregado en la malla de 1 1/2", ni exceder el 6 % de material que atraviesa la malla de 1/4 (Rivva, 2015).

▪ **Propiedades de los agregados**

Los agregados deben satisfacer diversas características, entre las que se incluyen propiedades físicas y mecánicas, así como aspectos térmicos, morfológicos, entre otros. A continuación, se describen algunas de estas propiedades:

- Propiedades Mecánicas: Densidad, Dureza y Adherencia
- Propiedades Físicas: Granulometría, Peso unitario suelto y varillado, Peso específico, Contenido de humedad y Porcentaje de absorción. (Chauca & Cruz, 2014).

▪ **Agua**

El agua constituye un recurso fundamental a nivel mundial, indispensable para la vida y para numerosas actividades humanas. En el ámbito del concreto, forma parte esencial de su composición y debe cumplir determinados requisitos con el fin de no afectar negativamente sus propiedades. (Oncoy, 2018)

El agua debe estar dentro de los siguientes límites:

- El pH del agua debe mantenerse, en promedio, alrededor de 7, correspondiente a un estado neutro, ya que valores inferiores a 6 indican un carácter ácido que puede ocasionar daños significativos al concreto, particularmente al refuerzo de acero. En tal sentido, se recomienda el empleo de agua potable. Asimismo, el contenido máximo de materia orgánica, medido como oxígeno consumido, no debe superar las 3 ppm.

- La concentración de sólidos disueltos presentes en el agua no debe exceder los 500 ppm. (NTP 339.088)

3.2.2.3 Características del concreto

Según Abanto F. (2009), describe que el concreto tiene una consistencia plástica, por lo que es fácil de manipular y darle forma en su estado fresco, alta resistencia a la compresión el cual es adecuado para elementos estructurales, elevada resistencia al fuego e impermeable al agua.

3.2.2. Incidencia de las altas temperaturas en el concreto

3.2.2.1 Altas temperaturas en el concreto

La alta temperatura afecta la resistencia a la compresión del concreto, pues directamente la pasta de cemento comienza a deshidratarse (pierde el agua de hidratación combinada químicamente), lo que debilita gradualmente la pasta y la unión de agregados como sostiene NTE INEN 2380 (2019).

3.2.2.2 Relación entre fuego, concreto y el incendio

El fuego puede definirse como un proceso de combustión que se manifiesta mediante la liberación de calor y luz. No obstante, según Seito et al. (2008), pese a los significativos avances en el estudio científico del fuego, aún no se ha logrado un consenso universal respecto a su definición dentro de las principales normativas internacionales vigentes. Los autores señalan que, de manera inicial, se propuso un modelo explicativo denominado triángulo del fuego, el cual está conformado por tres componentes esenciales: el material combustible, el agente oxidante (oxígeno) y el calor. De acuerdo con este enfoque, la supresión de cualquiera de estos elementos conduce directamente a la extinción del fuego.

Posteriormente, a partir del descubrimiento de los agentes extintores tipo halón, la concepción tradicional del fuego fue revisada y dio lugar al modelo conocido como tetraedro del fuego. Este enfoque incorpora, además del calor, el agente oxidante y el combustible, un cuarto elemento correspondiente a la reacción en cadena, la cual resulta fundamental para la propagación del proceso de combustión (Flashpoint).

El calor producido actúa como el factor desencadenante del incendio, contribuye a su mantenimiento y favorece su expansión. El agente oxidante, representado principalmente por el oxígeno presente en el aire, resulta indispensable para que se produzca la combustión. El combustible constituye el medio a través del cual el fuego se propaga y puede presentarse en estado sólido, líquido o gaseoso. Finalmente, la reacción en cadena permite que el proceso de combustión se mantenga de forma continua y autosostenida.

En términos generales, el calor emitido por las llamas incide sobre el material combustible, provocando su descomposición en partículas de menor tamaño, las cuales reaccionan con el oxígeno y se combustionan. Este proceso libera nuevamente energía térmica hacia el combustible, generando un ciclo continuo y autosostenido de combustión.

3.2.2.3 Cemento refractario

Se trata de un cemento con alta resistencia a temperaturas elevadas (superiores a 600 °C), compuesto principalmente por aluminatos de calcio. Se utiliza en construcciones expuestas a calor extremo. (*Taylor, 1997*)

Es un material cementante especial, compuesto principalmente de alúmina, sílice, óxido de calcio, y componentes que le dan estabilidad térmica de uso medio, utilizando en hornos chimeneas con resistencia a la compresión en frío de

250kg/cm² y soporta hasta una temperatura de servicio de 1000°C y temperatura máxima de 1260°C, se utiliza para la elaboración de concreto refractario y morteros que son capaces de resistir temperaturas elevadas sin perder su resistencia mecánica y estabilidad vienen en presentación de 25kg, se usa para adherir ladrillos refractarios, con un tiempo de secado y fraguado de 48 horas en la marca Schemin. Estos materiales están diseñados para mantener su integridad estructural cuando se somete a altas temperaturas, gracias a un proceso de endurecimiento que combina un fraguado hidráulico inicial y una transformación cerámica progresiva bajo la acción del calor.

3.2.2.4 Material refractario

Se denomina materiales refractarios a aquellos que presentan una elevada resistencia frente a altas temperaturas sin experimentar modificaciones significativas en sus propiedades. Estos materiales deben ser capaces de soportar rangos térmicos específicos sin sufrir deterioro en su estructura interna, como el que puede generarse por procesos de corrosión. Debido a estas características, los materiales refractarios se emplean ampliamente en la construcción y operación de diversos tipos de hornos, utilizados en sectores como refinerías, la industria química, del vidrio, de la cerámica y en procesos metalúrgicos, tales como la fundición de hierro.

Los materiales refractarios desempeñan un papel fundamental en el crecimiento y desarrollo de la actividad industrial, la cual ha experimentado un incremento sostenido. Su aplicación es indispensable en los distintos tipos de hornos industriales empleados en refinerías de petróleo, la industria química, siderúrgica y metalúrgica, así como en la industria cementera, las ladrilleras y la fabricación de vidrio, entre otros sectores.

Los materiales refractarios son aquellos capaces de resistir elevadas temperaturas sin presentar deterioro significativo, lo que permite su empleo en diversas aplicaciones industriales. Su uso más habitual se da en la fabricación de moldes refractarios, los cuales facilitan la conformación de objetos sometidos a altas temperaturas. No obstante, también resulta pertinente considerar su incorporación como componente dentro de mezclas de concreto (Bayoumi & Amir, 2021).

3.2.3. Marco conceptual

Fuego:

El fuego, o proceso de combustión, corresponde a una reacción química de oxidación de carácter rápido y exotérmico, acompañada por la emisión de calor y luz, que se mantiene de forma autosostenida en presencia de un material combustible, ya sea en estado sólido, líquido o gaseoso, como lo define Esparza, F. (2001), p.11.

Incendio:

El incendio se origina a partir de una reacción química que puede producirse cuando un material es expuesto al fuego, bajo la concurrencia de factores como el combustible, el calor y el oxígeno. Cada uno de estos elementos posee un umbral inicial que permite el inicio del proceso; a medida que el incendio se intensifica, pueden generarse nuevas vías de propagación, lo que favorece su incremento y el consumo progresivo de los materiales presentes en el entorno así lo refiere Cobeñas & Janampa (2019).

Comportamiento y Fases del Fuego:

De acuerdo al Centro de Entrenamiento Móvil de Incendios, CEMI, (2012), menciona: “El manejo adecuado y la extinción de un incendio requieren un

conocimiento elemental de los principios químicos y físicos que explican el comportamiento del fuego”, lo que comprende el análisis de las propiedades de los materiales combustibles y de las condiciones ambientales que permiten la continuidad de la combustión (p. 20). Asimismo, estos eventos pueden producirse en cualquier momento del día o de la noche, siempre que exista una amenaza latente.

Cuando un incendio se presenta en edificaciones ocupadas, existe la posibilidad de que sea detectado y controlado durante su fase inicial o incipiente. En contraste, si la edificación se encuentra deshabitada o cerrada, y el evento no es advertido oportunamente, el incendio puede intensificarse y convertirse en una situación de alto riesgo (CEMI, 2012). “Cuando el fuego se encuentra confinado en una edificación o habitación, la situación que se genera requiere de procedimientos de ventilación cuidadosos y previamente calculados, si se desea prevenir mayores daños y reducir los riesgos” CEMI (2012), p.20. La comprensión de un incendio se facilita al analizar sus tres fases, ya que cualquier persona puede verse expuesta a alguna de ellas, lo que resalta la relevancia del presente estudio.

a) fase Incipiente o Inicial. De acuerdo al CEMI, (2012). Es la primera fase “Durante esta fase, la concentración de oxígeno en el aire no disminuye de manera significativa, y la combustión genera vapor de agua, dióxido de carbono, monóxido de carbono, así como pequeñas cantidades de dióxido de azufre y otros gases” (p.20).

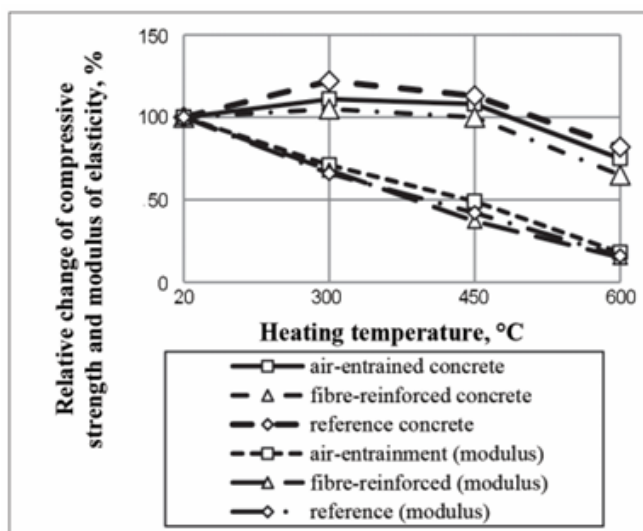
b) Fase de Combustión Libre. De acuerdo al CEMI, (2012), Esta segunda etapa se caracteriza por la combustión abierta del fuego. Durante ella, el aire rico en oxígeno es atraído hacia las llamas, mientras la convección transporta el calor hacia las zonas superiores de los espacios confinados. Los gases calientes se expanden lateralmente desde el techo hacia abajo, desplazando el aire frío hacia los niveles inferiores y favoreciendo la ignición de materiales combustibles situados en las partes altas de la

habitación. En esta fase, las temperaturas pueden superar los 700 °C. A medida que el incendio progresa, la disponibilidad de oxígeno disminuye, lo que eventualmente conduce a la transición hacia la tercera fase latente, debido a la insuficiencia de oxígeno para mantener la combustión (p.20,21).

c) Fase Latente. De acuerdo al CEMI (2012), En esta tercera etapa, las llamas pueden extinguirse si el espacio confinado se encuentra suficientemente cerrado. La combustión se reduce entonces a brasas incandescentes, mientras la edificación se llena de gases combustibles y humo denso. Esta acumulación genera presión, que se libera a través de pequeñas aberturas en la estructura. Durante esta fase, el incendio permanece latente y el espacio continúa llenándose de gases y humo, con temperaturas que pueden superar los 538 °C (p.21).

Figura 3

Variación relativa de la resistencia a compresión y del módulo de elasticidad del concreto en función de la temperatura



Nota: La Figura muestra que la resistencia a compresión del concreto de alta resistencia no disminuye de forma inmediata con el incremento de la temperatura, manteniéndose incluso valores cercanos o superiores a la inicial hasta los 300 °C. Sin embargo, el módulo de elasticidad presenta una reducción significativa desde etapas tempranas, evidenciando que la rigidez del concreto es mucho más sensible

a la acción térmica que su resistencia. Este comportamiento implica que, aun cuando el concreto conserve capacidad resistente, su desempeño estructural puede verse seriamente comprometido por incrementos excesivos de deformación. Drzymała et al. (2018).

Resistencia al fuego:

De acuerdo a kwanza, A. & Buchanan, A. (2016), El análisis del comportamiento de los elementos de concreto se lleva a cabo, por lo general, mediante la utilización de una curva de calentamiento que permite evaluar su resistencia frente al fuego.

Impacto de altas temperaturas sobre el material de construcción:

De acuerdo a Paris A. (2005), El diseño del concreto se considera un aspecto fundamental en relación con el comportamiento frente al fuego. La actuación de las losas de concreto bajo exposición directa a altas temperaturas resulta compleja. En un incendio que alcanza niveles críticos de calor, para evitar que las llamas se propaguen a otros niveles, el piso debe ser capaz de soportar las cargas aplicadas durante el evento y mantener la integridad estructural, evitando el colapso de la edificación tanto durante como después del incendio. La capacidad de transmisión de calor del material determina cómo se distribuye la energía térmica y la rapidez con la que el calor se transfiere a través de la estructura.

Resistencia:

La resistencia del concreto se define como la capacidad del material para oponerse a la aplicación de cargas externas, principalmente esfuerzos de compresión, sin presentar fractura, deformación excesiva ni pérdida de estabilidad. La resistencia del concreto está vinculada con su edad, ya que éste transita de un estado plástico a uno sólido a través del proceso de fraguado. Durante los primeros días después de su colocación, se observa un incremento rápido de su resistencia,

alcanzando aproximadamente el 100 % a los 28 días, así lo argumenta Rivera G. (2013), p. 126.

Resistencia a compresión:

“La resistencia a compresión del concreto se define como la máxima carga por unidad de área que una muestra puede soportar antes de sufrir fallas por compresión, tales como agrietamiento o ruptura” como lo define Abanto f.(2009), p.51.

Resistencia mínima:

De acuerdo a la NTP 400.011 (2020), Para el concreto simple con fines estructurales, la resistencia a los 28 días no debe ser inferior a 14 MPa. La fabricación del concreto debe cumplir con los requisitos establecidos en la NTE, incluyendo la correcta dosificación de los materiales y la realización de los ensayos pertinentes, tales como la preparación de probetas cilíndricas, el uso adecuado de encofrados, la colocación, el curado, así como la evaluación y aceptación del concreto producido. (p.496).

3.3 Definición de términos

Concreto

De acuerdo a Neville & Brooks (2010), el concreto es un material compuesto por una mezcla de cemento, agregados (finos y gruesos), agua y, en algunos casos, que se endurece como resultado de reacciones químicas entre el agua y el cemento, formando un cuerpo sólido resistente a esfuerzos de compresión.

Concreto convencional

Para Mindess, Young & Darwin, (2003), el concreto tradicionalmente utilizado en la construcción civil, que no contiene componentes especiales como fibras, pigmentos

o aditivos modificadores, y cuya composición sigue la dosificación estándar mediante métodos como el ACI.

Cemento portland

Según Mehta & Monteiro (2014), Es el tipo de cemento más común utilizado en la fabricación de concreto. Su principal componente activo es el silicato tricálcico (C_3S), que al hidratarse proporciona resistencia mecánica.

Cemento refractario

Para Taylor (1997), se trata de un cemento con alta resistencia a temperaturas elevadas (superiores a $600\text{ }^{\circ}\text{C}$), compuesto principalmente por aluminatos de calcio. Se utiliza en construcciones expuestas a calor extremo.

Altas temperaturas

Según Khoury (2000), Se considera alta temperatura en el concreto cuando este es expuesto a valores superiores a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, lo cual puede causar pérdida de humedad, agrietamiento, microfisuración y pérdida de resistencia mecánica.

Propiedades mecánicas del concreto

En ACI Committee 318 (2019), Son aquellas relacionadas con su capacidad de resistir cargas, tales como la resistencia a compresión, tracción, flexión, y módulo de elasticidad. La resistencia a compresión es la más comúnmente evaluada.

Resistencia a compresión

Según ASTM C39/C39M-23, (2023), Es la capacidad del concreto endurecido para soportar cargas axiales antes de fracturarse. Se evalúa mediante ensayos en probetas cilíndricas según normas como ASTM C39.

Diseño de mezclas ACI

De acuerdo al ACI Committee 211, (2002), es el Método desarrollado por el American Concrete Institute para establecer proporciones óptimas de los materiales

del concreto, con base en requisitos de resistencia, durabilidad y trabajabilidad.

Curado del concreto

Neville & Brooks, (2010), dice que es el proceso que permite mantener la humedad y temperatura adecuadas para que se desarrolle la hidratación del cemento, lo cual afecta directamente la resistencia final del concreto.)

Evaluación comparativa

Hernández, Fernández & Baptista (2014), indica que es una técnica de investigación que busca analizar y comparar dos o más objetos de estudio en función de determinadas variables o indicadores para identificar diferencias significativas.

Deterioro térmico del concreto

Fenómeno que ocurre cuando el concreto es sometido a temperaturas elevadas, provocando pérdida de masa, disminución en resistencia, descomposición de fases hidratadas y aparición de fisuras. (Gambir, 2014)

Normas técnicas peruanas (NTP)

Son documentos técnicos desarrollados por INACAL que establecen criterios y procedimientos para ensayos, especificaciones y diseño de materiales, incluyendo el concreto, (INACAL, 2020).

IV. Metodología

4.1 Tipo y nivel de Investigación

4.1.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación de este estudio es aplicada de enfoque Cuantitativa. Según Hernández Sampieri et al. (2014), la investigación Cuantitativa “utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin de establecer patrones de comportamiento y probar teorías” (p. 4).

Este enfoque es adecuado ya que se recolectarán datos numéricos (resistencia a compresión, pérdida de masa, etc.) de los especímenes de concreto bajo diferentes temperaturas, para luego analizarlos y comparar su desempeño.

El diseño de investigación es cuasiexperimental, cuantitativo que busca establecer relaciones de causa y efecto entre variables, manipulando deliberadamente una o más variables independientes, pero sin la aleatorización completa en la asignación de los sujetos o unidades experimentales. A diferencia de los experimentos puros, los estudios cuasiexperimentales carecen de control total sobre todas las condiciones externas y no utilizan grupos equivalentes aleatoriamente asignados, lo que limita parcialmente la validez interna; sin

embargo, permiten realizar inferencias causales razonables en contextos aplicados y reales (Hernández Sampieri et al., 2014).

Este diseño es especialmente útil en investigaciones aplicadas en ingeniería, educación, salud o ciencias sociales, donde no siempre es posible controlar todos los factores o asignar aleatoriamente a los participantes, pero sí se puede intervenir y observar el efecto de dicha intervención sobre un grupo definido.

4.1.2 Nivel de investigación

El nivel de la investigación es Explicativo-Comparativo.

De acuerdo con Tamayo y Tamayo (2004), la investigación explicativa “busca el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto” (p. 68). En este caso, se busca explicar cómo y por qué la exposición a altas temperaturas influye en el comportamiento del concreto, dependiendo de su composición (convencional o con cemento refractario).

Por otro lado, se considera también comparativa, ya que se contrastarán los resultados obtenidos entre los diferentes tipos de concreto evaluados (sin adición, con 15% y con 30% de cemento refractario) frente a condiciones térmicas iguales.

4.2 Ámbito temporal y espacial

4.2.1 Espacial

El estudio fue desarrollado en la ciudad del Cusco, Perú, utilizando laboratorios especializados de ensayos de materiales para la preparación de las muestras de concreto y la aplicación controlada de altas temperaturas. Esta ubicación responde tanto a la disponibilidad de infraestructura técnica como a la relevancia local del tema, dado que Cusco

presenta una creciente necesidad de soluciones constructivas que respondan a riesgos térmicos en edificaciones tradicionales e industriales.

4.2.2 Temporal

La investigación fue realizada durante el periodo comprendido entre los años 2024 y 2025, etapa en la cual se llevó a cabo la formulación teórica, el diseño experimental, la elaboración de muestras, la ejecución de los ensayos, el procesamiento estadístico de los datos y la redacción del informe final. Todo el trabajo se realizó de forma secuencial, respetando los tiempos requeridos para cada fase del proceso investigativo.

4.3 Población y muestra

4.3.1 Población

La población de esta investigación está constituida por la cantidad de testigos que pueden elaborarse con las diversas combinaciones de concreto, utilizando cemento convencional y cemento refractario, sometidas a diferentes temperaturas y tiempos de exposición térmica. Estas mezclas son teóricamente infinitas, pero se delimitan según los parámetros establecidos en el diseño experimental.

La población en una investigación se refiere al conjunto total de elementos, individuos u objetos que poseen características comunes y relevantes respecto al problema de estudio. De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2014), "la población o universo es el conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones" (p. 176). La muestra, por su parte, es un subconjunto representativo de esa población, seleccionado mediante criterios definidos, sobre el cual se realiza el análisis con el fin de generalizar los resultados.

4.3.2 Muestra

La muestra fue no probabilística de tipo intencional o dirigida, compuesta por 72 especímenes cilíndricos de concreto elaborados según proporciones y tratamientos definidos en la investigación. Estas muestras se agruparon en función de tres niveles de adición de cemento refractario (0%, 15% y 30%), cuatro niveles de temperatura (25 °C, 350 °C, 500 °C y 700 °C) y tres tiempos de exposición (0, 30, 60 y 90 minutos). Esta combinación permitió realizar un análisis comparativo estructurado y controlado sobre las propiedades físicas y mecánicas del concreto bajo condiciones térmicas diversas. El diseño de concreto fue para un concreto con resistencia a la compresión $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$.

Tolerancia

La tolerancia de una muestra se refiere al margen de error aceptado en la estimación de parámetros poblacionales a partir de los resultados obtenidos en una muestra. Representa la diferencia máxima admisible entre el valor observado en la muestra y el valor real de la población. En otras palabras, indica qué tan precisos son los resultados que se obtienen y cuánto se puede desviar la estimación respecto al valor poblacional verdadero. Según Hernández Sampieri et al. (2014), la tolerancia o margen de error es un criterio estadístico clave que debe definirse previamente en la determinación del tamaño muestral, ya que, a menor tolerancia, mayor deberá ser el tamaño de la muestra para asegurar resultados confiables y representativos.

4.3.3 Muestreo

Tipo de muestreo

El muestreo aplicado en la presente investigación es de tipo no Probabilístico Intencional (también llamado muestreo por criterios o dirigido). Según Sampieri et al.

(2014), este tipo de muestreo “consiste en seleccionar los elementos que cumplan con ciertas características o criterios establecidos por el investigador, los cuales se consideran relevantes para los objetivos del estudio” (p. 177).

Justificación

Dado que la investigación es de enfoque experimental y se trabaja con probetas de concreto fabricadas en condiciones de laboratorio, no se requiere que las muestras representen a una población infinita o natural. Por el contrario, se diseñaron y seleccionaron muestras específicas bajo criterios técnicos predefinidos que aseguren la evaluación comparativa de las propiedades físicas y mecánicas del concreto convencional y el concreto con cemento refractario, bajo condiciones térmicas controladas.

Criterios de selección

Las muestras fueron seleccionadas en función de los siguientes criterios:

- Porcentaje de adición en peso del cemento refractario: 0%, 15% y 30%.
- Temperaturas de exposición y tiempos de exposición térmica: (25 °C – 0min), (350 °C – 30 min), (500 °C – 60 min) y (700 °C – 90 min).
- Diseño de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
- Días: A los 28 días.
- Numero de muestras:3
- Ensayo a compresión y tracción

Cada combinación fue replicada de manera uniforme para garantizar validez interna y confiabilidad en los resultados obtenidos.

M compresión= (3P x 1T x 1D)3M +(3P x 3T x 1D)3M=9 +27=36 muestras

M tracción= (3P x 1T x 1D)3M +(3P x 3T x 1D)3M=9 +27=36 muestras

Tabla 2

Resumen de la cantidad de muestras a ser analizadas según los grupos experimentales ensayo a compresión.

CONCRETO PATRON CEMENTO TIPO IP	
Edad	28 días
Concreto patrón 0%	3
GRUPO EXPERIMENTAL NO EXPUESTO A ALTAS TEMPERATURAS	
Edad	28 días
Muestra con 15% de cemento refractario	3
Muestra con 30% de cemento refractario	3
GRUPO EXPERIMENTAL EXPUESTO A ALTAS TEMPERATURAS ENTRE (300 °C -400 °C)	
Edad	28 días
Concreto patrón 0%	3
Muestra con 15% de cemento refractario	3
Muestra con 30% de cemento refractario	3
GRUPO EXPERIMENTAL EXPUESTO A ALTAS TEMPERATURAS ENTRE (400 °C -600 °C)	
Edad	28 días
Concreto patrón 0%	3
Muestra con 15% de cemento refractario	3
Muestra con 30% de cemento refractario	3
GRUPO EXPERIMENTAL EXPUESTO A ALTAS TEMPERATURAS ENTRE (600 °C -800 °C)	
Edad	28 días
Concreto patrón 0%	3
Muestra con 15% de cemento refractario	3
Muestra con 30% de cemento refractario	3
<i>TOTAL, N° de probetas</i>	36

Tabla 3

Resumen de la cantidad de muestras a ser analizadas según los grupos experimentales ensayo a tracción.

CONCRETO PATRON CEMENTO TIPO IP	
Edad	28 días
Concreto patrón 0%	3
GRUPO EXPERIMENTAL NO EXPUESTO A ALTAS TEMPERATURAS	
Edad	28 días
Muestra con 15% de cemento refractario	3
Muestra con 30% de cemento refractario	3
GRUPO EXPERIMENTAL EXPUESTO A ALTAS TEMPERATURAS ENTRE (300 °C -400 °C)	
Edad	28 días
Concreto patrón 0%	3
Muestra con 15% de cemento refractario	3
Muestra con 30% de cemento refractario	3
GRUPO EXPERIMENTAL EXPUESTO A ALTAS TEMPERATURAS ENTRE (400 °C -600 °C)	
Edad	28 días
Concreto patrón 0%	3
Muestra con 15% de cemento refractario	3
Muestra con 30% de cemento refractario	3
GRUPO EXPERIMENTAL EXPUESTO A ALTAS TEMPERATURAS ENTRE (600 °C -800 °C)	
Edad	28 días
Concreto patrón 0%	3
Muestra con 15% de cemento refractario	3
Muestra con 30% de cemento refractario	3
<i>N° de probetas</i>	36

4.4 Instrumentos

4.4.1. Muestreo de agregados

El muestreo de los agregados fino y grueso se recolecto en la zona de almacenamiento en la cantera de Vicho (Huambutio), donde se seleccionó la muestra cumpliendo con la norma ASTM C 75 y NTP 400.010.

4.4.2. Granulometría de agregado fino

El análisis granulométrico de agregados finos se realizó siguiendo la norma MTC E-107-200, equivalente a la ASTM C136 / NTP 400.037.

4.4.3. Granulometría del agregado grueso

El procedimiento se realizó siguiendo La norma del MTC E-107-200, equivalente a la ASTM C136 / NTP 400.037, para el análisis de agregados gruesos mediante tamizado.

4.4.4. Contenido de humedad del agregado fino y grueso

Se determinó el contenido de humedad en agregados finos según la norma MTC E215.

4.4.5. Peso unitario suelto y varillado agregado fino y grueso

Se realiza el calibrado del recipiente cilíndrico para determinar el volumen, se seca la muestra durante 24 horas y obtenga un peso constante, se realizó una muestra suelta y compacta varillada en 3 capas, aplicando 25 golpes con una varilla de 16 mm. Según la norma AASHTO T-29.

4.4.6. Peso específico y absorción del agregado fino y grueso.

Los resultados se determinaron en base a la norma AASHTO T 84.

4.4.7. Consistencia del cemento

Ensayo de consistencia (VICAT), del cemento portland y cemento refractario en base a la norma MTC E 605.

4.4.8. Diseño de mezclas

Se elaboraron mezclas de concreto con tres dosificaciones de cemento refractario (0%, 15% y 30%) con la metodología ACI, donde se realizaron las siguientes etapas: Dosificación de materiales, se pesaron los materiales de acuerdo a la dosificación establecida y la cantidad de agua en función de los agregados.

4.4.9. Preparación de especímenes

Se realizó el mezclado de los materiales en base al peso, se evaluó el asentamiento del concreto fresco verificando los rangos establecidos, se moldearon 72 cilindros de concreto en 3 etapas (con dimensiones 15 cm de diámetro y 30 cm de altura), se desmoldaron y se realizó el curado adecuado.

4.4.10. Exposición térmica

Las muestras se sometieron a temperaturas controladas de 25 °C, 350 °C, 500 °C y 700 °C durante 0, 30, 60 y 90 minutos según la norma del RNE A130 que define los tiempos en minutos, respectivamente en un horno donde se colocaron los especímenes de forma vertical y se realizaron lecturas de temperatura, se dejó enfriar las muestras hasta alcanzar la temperatura ambiente para su evolución pos exposición térmica.

4.4.11. Técnica de Recolección de Datos

La técnica utilizada para la recolección de datos en esta investigación fue la observación experimental directa, ya que permitió registrar de manera controlada y precisa los resultados de las pruebas realizadas a las diferentes mezclas de concreto expuestas a condiciones térmicas. Esta técnica es adecuada en investigaciones de tipo experimental, donde el investigador manipula variables y observa sus efectos sobre otras variables dependientes (Hernández et al., 2014).

Las observaciones se centraron en propiedades físicas y mecánicas específicas, como el peso unitario, contenido de humedad, resistencia a la compresión ($f'c$), tiempo de fraguado, y consistencia, en función de las variaciones en temperatura, tiempo de exposición y dosificación del cemento refractario.

Técnicas de investigación:

- Observación experimental controlada

Permite registrar el comportamiento y las variaciones de las propiedades físicas y mecánicas del concreto bajo condiciones térmicas específicas.

- Análisis comparativo

Se aplica para establecer diferencias significativas entre el concreto convencional y el concreto con cemento refractario, antes y después de la exposición a altas temperaturas.

- Ensayo destructivo

Utilizado para evaluar propiedades mecánicas como resistencia a la compresión, tracción y flexión, siguiendo normas técnicas (ASTM, NTP).

- Simulación por zonas térmicas

Permite evaluar la incidencia de diferentes niveles de exposición térmica en distintas partes del espécimen de concreto.

- Análisis estadístico

Empleado para el procesamiento y comparación de resultados obtenidos mediante técnicas inferenciales como ANOVA o prueba t-student.

- Evaluación visual cualitativa

Consiste en registrar alteraciones físicas visibles en el material, como agrietamientos, decoloración o pérdida de masa.

- Corte y análisis segmentado del espécimen

Seccionamiento post-exposición del concreto para evaluar sus propiedades por zonas específicas.

Instrumentos de investigación:

- **Moldes normados (cilíndricos y prismáticos)**

Para la elaboración de especímenes de concreto según normas ASTM C39/C78.

- **Prensa hidráulica universal**

Para la ejecución de ensayos de compresión y tracción.

- **Horno eléctrico de laboratorio**

Capaz de alcanzar temperaturas controladas de hasta 800 °C para la exposición térmica de las muestras.

- **Termocupla o termómetro infrarrojo digital**

Para medir la temperatura superficial y/o interna de los especímenes.

- **Cronómetro digital o temporizador programable**

Para el control preciso del tiempo de exposición térmica.

- **Balanza digital de precisión**

Para el registro del peso de los especímenes antes y después de la exposición térmica.

- **Calibrador Vernier**

Para la medición de dimensiones geométricas y posibles deformaciones del concreto.

- **Sensores tipo termopar**

Para registrar variaciones térmicas en diferentes zonas del espécimen.

- **Sierra de corte de precisión**

Para dividir el espécimen y evaluar mecánicamente sus distintas zonas.

- **Fichas técnicas de registro**

Diseñadas para recolectar datos sistemáticos de propiedades físicas, mecánicas y térmicas.

- **Registro fotográfico secuencial**

Para documentar los cambios visibles en el concreto a lo largo del experimento.

- **Software estadístico (Excel, Minitab, SPSS)**

Para el procesamiento, tabulación y análisis estadístico de los resultados experimentales.

4.4.12. Instrumento de Recolección de Datos

El instrumento empleado fue una Ficha de Registro Experimental, elaborada por el investigador, que permitió documentar los resultados obtenidos en cada muestra durante las diferentes etapas del ensayo. La ficha incluyó campos específicos para:

- Identificación de la muestra (código, porcentaje de refractario, temperatura, tiempo).
- Peso unitario antes y después de la exposición.
- Humedad presente.
- Fraguado inicial y final.
- Consistencia (ensayo de asentamiento o slump).
- Resistencia a la compresión a los 28 días.
- Observaciones relevantes (cambios visuales, fisuras, coloración, etc.).

Este instrumento fue aplicado en el laboratorio bajo condiciones controladas, con equipos normalizados según las normas técnicas ASTM y NTP vigentes para ensayos de concreto.

4.4.13. Validación del Instrumento

La validación del instrumento se realizó mediante el Juicio de Expertos, contando con la revisión y retroalimentación de tres ingenieros civiles especializados en tecnología del concreto y docencia universitaria. Se evaluaron los criterios de claridad, coherencia, pertinencia y comprensibilidad de cada ítem incluido en la ficha de registro.

Tras las observaciones, se hicieron ajustes menores al formato y terminología técnica del instrumento para garantizar su aplicabilidad y fiabilidad. La validación permitió asegurar que la ficha recopile datos relevantes y precisos de manera sistemática, ajustándose a los objetivos del estudio.

4.4.14. Confiabilidad del Instrumento

La confiabilidad del instrumento fue evaluada mediante la consistencia en la recolección de datos en condiciones controladas de laboratorio. Dado que la ficha de registro experimental se aplicó bajo un diseño estandarizado y replicable, se garantizó la uniformidad en las mediciones.

Para fortalecer la confiabilidad, se aplicaron Pruebas Piloto a tres especímenes antes del ensayo principal, verificando que los campos del instrumento permitieran recoger adecuadamente las variables físicas y mecánicas analizadas. Además, se utilizó equipamiento calibrado, y las mediciones fueron realizadas por personal capacitado, lo que reduce la variabilidad asociada al observador o instrumento. Se asumió que, bajo

condiciones similares, los resultados serían replicables, lo que refuerza la confiabilidad del instrumento.

4.5. Procedimientos

En la presente investigación, se inicia con la descripción detallada de los materiales utilizados, lo cual resulta fundamental para garantizar la trazabilidad y replicabilidad del estudio. Dentro de este apartado, se incluye el análisis granulométrico de los agregados (fino y grueso), procedimiento esencial para determinar la distribución del tamaño de las partículas y asegurar que cumplan con las especificaciones técnicas establecidas en las normas vigentes, tales como la ASTM C136 o su equivalente nacional. Este análisis permite conocer el grado de adecuación de los agregados para su uso en mezclas de concreto, influyendo directamente en la trabajabilidad, resistencia y durabilidad del mismo.

Asimismo, se desarrolla el diseño de mezclas de concreto para las diferentes condiciones propuestas en el estudio, siguiendo metodologías reconocidas internacionalmente, como el método del ACI (American Concrete Institute), con el objetivo de obtener proporciones óptimas que garanticen el desempeño estructural y térmico esperado, tanto para el concreto convencional como para aquel que incorpora cemento refractario. El diseño de mezclas constituye una etapa clave en la investigación, ya que permite establecer las proporciones precisas de cemento, agregados, agua y cemento refractario, con base en los requerimientos de resistencia, trabajabilidad y durabilidad del concreto expuesto a altas temperaturas.

Posteriormente, en el capítulo 4, específicamente en el acápite 4.1 titulado “Resultados”, se presentan de manera ordenada y sistemática los resultados obtenidos durante la ejecución experimental. Dichos resultados se organizan en función de los objetivos específicos planteados en la investigación, permitiendo evaluar el efecto de la

exposición a altas temperaturas sobre las propiedades mecánicas y físicas del concreto, tanto en su forma convencional como con adición de cemento refractario. Los resultados se acompañan de tablas, gráficos y análisis estadísticos que facilitan la interpretación de los datos y respaldan la validez de los hallazgos.

De esta manera, la estructura metodológica y de resultados permite responder de forma objetiva y técnica a las interrogantes de investigación, brindando una base sólida para la discusión y la formulación de conclusiones pertinentes.

Desarrollo y procedimiento de la obtención del concreto

Tabla 4

Equipos y herramientas utilizados en el laboratorio de mecánica de suelos y laboratorio de concreto

Materiales y equipos utilizados para llevar a cabo los ensayos de laboratorio requeridos en el desarrollo de la investigación.			
• Juego de tamices estándar según norma	• Mezcladora	• Máquina de ensayo uniaxial	• Horno artesanal
• Recipientes para medidas	• Cono de Abrams	• Aguja de vicat	• Pirómetro
• Balanza de precisión de 200 g	• Moldes (Briquetera)		• Cronometro
• Medio isoterma horno	• Carretilla		• Balanza
• Espátula	• Flexómetro		• Vernier
• Brochas	• Pala		

El desarrollo de la investigación siguió las siguientes fases:

1. Muestreo de los agregados:

El muestreo de los agregados se realizó en el área de acopio de la cantera ubicada en Vicho. Con la finalidad de obtener muestras representativas del material, la extracción se llevó a cabo en tres niveles del montículo de almacenamiento: superior, intermedio e inferior, tanto para el agregado fino como para el agregado grueso. Para la ejecución de los ensayos de caracterización física de los agregados, se recolectaron 25 kg de agregado grueso de tamaño nominal y 10 kg de agregado fino, conforme a lo establecido en la norma técnica peruana NTP 400.010.

Figura 4

Extracción de material (Ag. Fino y Ag. grueso)



Nota. La imagen muestra la cantera de Vicho ubicado en la comunidad de Vicho, distrito de san Salvador en la margen izquierda. La cantera ubicada en el distrito de san salvador.

Tabla 5

Muestreo de campo masa mínima.

Tamaño máximo nominal de la muestra	Masa mínima aproximada para la muestra en campo (Kg)
agregado fino	
2.36 mm	10
4.76 mm	10
agregado grueso	
9.5 mm	10
12.5 mm	15
19.0 mm	25
25.0 mm	50
37.5 mm	75
50.00 mm	100

Nota: Norma Técnica Peruana 400.010

2. Análisis granulométrico del agregado fino

El análisis granulométrico se realizó según el procedimiento del MTC E-107-200, equivalente a la norma ASTM C136 y NTP 400.037, utilizando una muestra de arena

procedente de cantera Vicho (Cusco). Se emplearon tamices de la serie "C" (Tyler) con un tamaño nominal máximo de 3/8" (9.375 mm).

El peso inicial de la muestra fue de 1500 g, con una pérdida de lavado de 136 g, equivalente al 9.07% del total, lo cual es aceptable para agregados finos usados en mezclas de concreto.

El material analizado presenta una distribución de tamaños continua y bien graduada, sin saltos abruptos ni concentraciones en un único tamaño de partícula, lo cual se confirma con la curva granulométrica suavemente inclinada que se encuentra dentro de los límites superior e inferior establecidos por la norma ASTM C33/NTP 400.037 para agregados finos.

El módulo de finura (MF) obtenido es de 2.80, lo que clasifica a esta arena como una arena media, de acuerdo con la clasificación tradicional (arena fina: $MF < 2.3$, media: 2.3–3.0, gruesa: >3.0). Esta categoría es adecuada para la producción de concretos estructurales convencionales y de uso general, ya que proporciona una buena trabajabilidad y requerimientos óptimos de agua-cemento.

Tabla 6

Análisis granulométrico del agregado fino

		1500 g	TIPO DE AGREGADO		FINO		
		1364 g	CANTERA		VICHO		
		136 g					
		PARÁMETROS					
		ASTM C 33 / NTP 400.037.					
Tamiz N°	Diam. (mm)	Peso Retenido	%Retenido	%Retenido Acumulado	%que pasa	Superior	Inferior
3/8 pulg	9.375	0	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
N 4	4.75	37.49	2.50%	2.50%	97.50%	100.00%	95.00%
N 8	3.36	112.47	7.51%	10.02%	89.98%	100.00%	80.00%
N 16	1.18	337.41	22.54%	32.56%	67.44%	85.00%	50.00%
N 30	0.6	364.9	24.38%	56.94%	43.06%	60.00%	25.00%
N 50	0.3	386	25.79%	82.73%	17.27%	30.00%	5.00%
N 100	0.15	187.45	12.52%	95.26%	4.74%	10.00%	0.00%
bandeja	0	70.98	4.74%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%
		1496.7	100.00%			SERIE "C" (Tyller)	

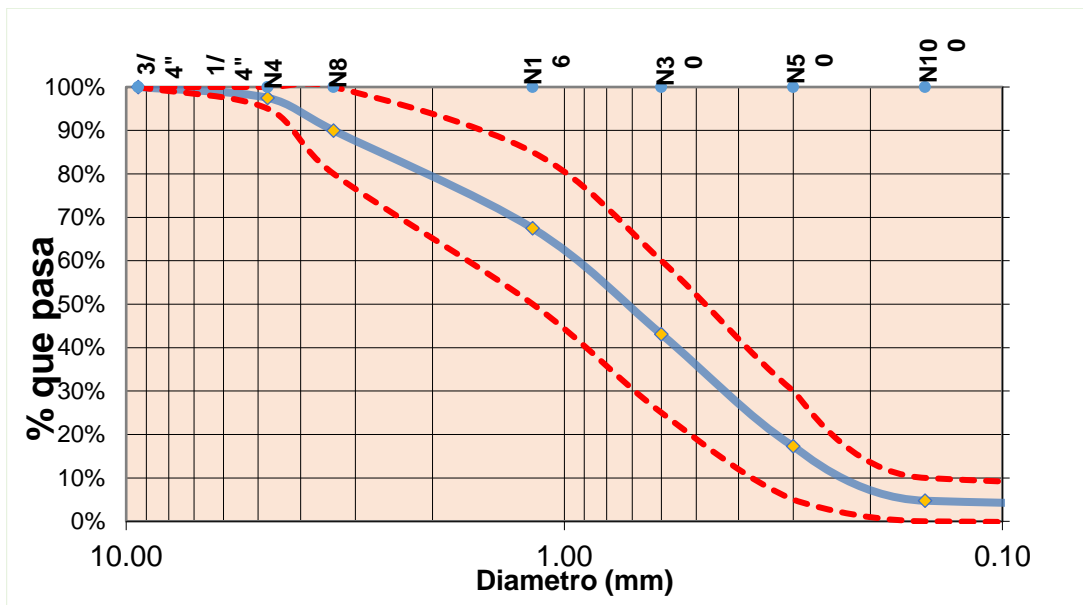
Nota: Resultados de Laboratorio

Figura 5

Retenido en los tamices



Nota: Porcentaje retenido en los tamices para el agregado fino

Figura 6*Curva granulométrica*

Nota: Curva granulométrica de agregado fino

$$MF = \frac{\sum \% \text{ RETENIDO ACUMULADO (1 } \frac{1}{2}'' , \frac{3}{8}'' , \frac{3}{4}'' , N^{\circ} 4, N^{\circ} 8, N^{\circ} 16, N^{\circ} 30, N^{\circ} 50, N^{\circ} 100)}{100}$$

Tamaño máximo absoluto: 1/2''

Tamaño máximo nominal: 3/8''

Obteniendo un módulo de fineza: 2.8

Interpretación técnica:

- **Conformidad normativa:** La granulometría cumple con los parámetros normativos, por lo que el agregado es apto para ser utilizado en mezclas de concreto, tanto convencional como modificado con cemento refractario.

- **Implicancia en la trabajabilidad:** La arena media, con un MF de 2.80, aporta una mezcla balanceada que evita tanto una mezcla muy seca como una excesivamente fluida, contribuyendo a una adecuada cohesión de la mezcla.

- **Desempeño térmico:** Aunque la granulometría no se ve directamente afectada por la temperatura, una distribución bien graduada mejora la densidad del concreto, lo cual es beneficioso para evaluar su comportamiento ante altas temperaturas, tema central de la presente investigación.

3. Análisis granulométrico del agregado grueso

El análisis granulométrico del agregado grueso se realizó conforme a la norma MTC E-107-200, equivalente a la ASTM C136 / NTP 400.037, utilizando una muestra representativa de piedra chancada proveniente de la cantera Vicho (Cusco). El ensayo tuvo como objetivo caracterizar la distribución del tamaño de partículas para validar su aptitud en la elaboración de concreto estructural, tanto convencional como con adición de cemento refractario.

El peso de la muestra antes del lavado fue de 2000 g, con una pérdida por lavado de 13.1 g, correspondiente al 0.655%, valor que se encuentra dentro de los límites aceptables según normativa, lo cual indica una baja presencia de material fino adherido.

El (Instituto Nacional de Calidad (INACAL), 2014), según la NTP 400.037-agregados para concreto, dice que el agregado grueso presenta un tamaño máximo nominal de 3/4" (19.05 mm) y un tamaño máximo absoluto de 1" (25 mm). La distribución granulométrica muestra un comportamiento continuo y uniforme, sin concentraciones críticas en tamices individuales. La curva granulométrica se encuentra dentro de los límites establecidos por la correspondiendo al huso granulométrico 357.

El módulo de finura (MF) calculado es de 8.50, valor que corresponde al rango típico para agregados gruesos, y que confirma una adecuada graduación para uso estructural. La fracción mayoritaria del material se retiene entre los tamices de 1/2" (57.5%) y 3/8" (30%), acumulando más del 87% del total, lo cual es favorable para lograr una buena trabajabilidad y empaque en la mezcla de concreto.

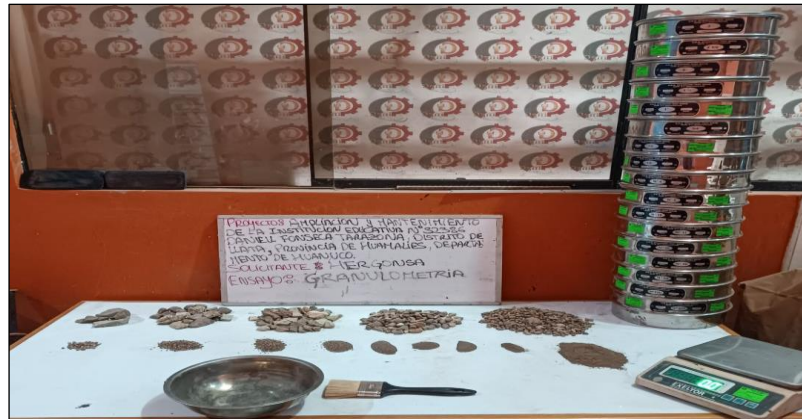
Tabla 7 Análisis granulométrico para Agregado Grueso

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO MTC E-107-200 - AGREGADO GLOBAL FRACCIÓN GRUESA						PARÁMETROS USO 357	
Tamiz Nº	Diam. (mm)	Peso Retenido	%Retenido	%Retenido Acumulado	%que pasa	Superior	Inferior
2 pulg	50	0	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
1 1/2pulg	37.5	0	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
1 pulg	25	0	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
3/4pulg	18.75	99.35	5.00%	5.00%	95.00%	100.00%	90.00%
1/2pulg	12.5	1142.45	57.50%	62.50%	37.50%	55.00%	20.00%
3/8pulg	9.375	596.1	30.00%	92.51%	7.49%	15.00%	0.00%
Nº4	4.75	99.3	5.00%	97.50%	2.50%	5.00%	0.00%
Nº8	2.36	49.6	2.50%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Nº16	1.18	0	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Nº50	0.3	0	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Nº100	0.15	0	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%
bandeja	0	0	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%
		1986.8	100.00%				

Nota: Resultados de Laboratorio

Figura 7

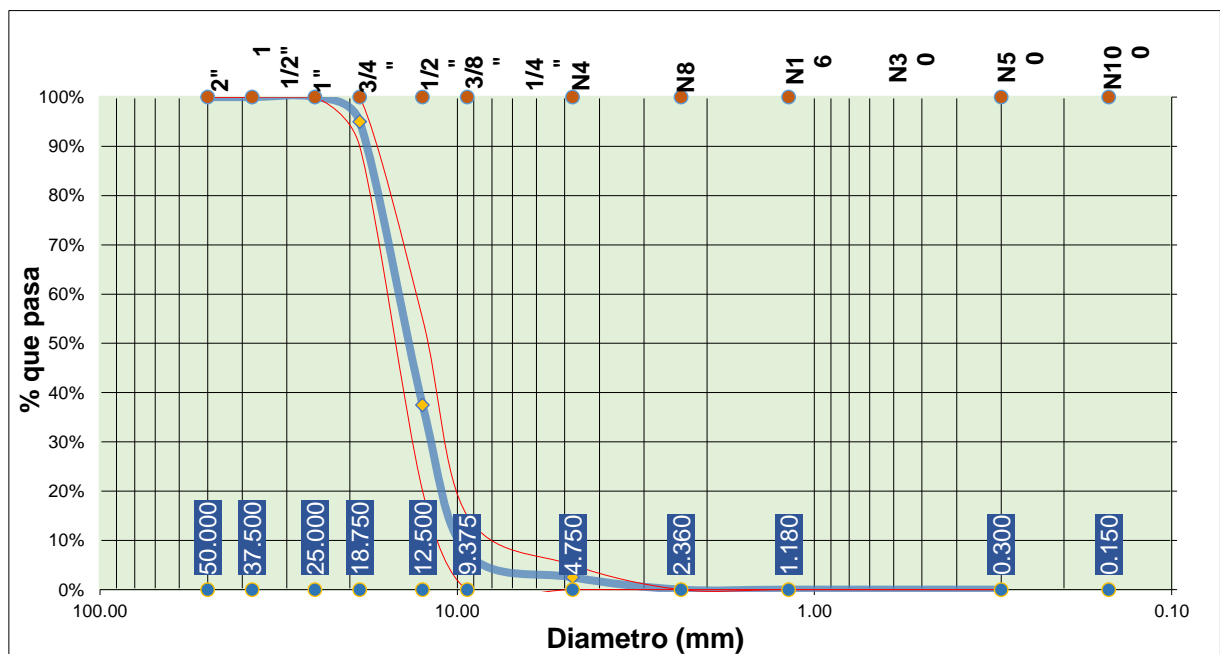
Retenido en los tamices



Nota: Agregado retenido en cada tamiz

Figura 8

curva granulométrica



Nota: Curva granulométrica de agregado grueso

$MF = \sum \% \text{ RETENIDO ACUMULADO (1 } \frac{1}{2} \text{", } \frac{3}{8} \text{", } \frac{3}{4} \text{", } N^{\circ} 4, N^{\circ} 8, N^{\circ} 16, N^{\circ} 30,$

$N^{\circ} 50, N^{\circ} 100) / 100$

Tamaño máximo absoluto: 1"

Tamaño máximo nominal: ¾"

Obteniendo un módulo de fineza: 8.5

Interpretación técnica:

- **Conformidad normativa:** El agregado cumple con los requerimientos de la norma USO 357, por lo que se considera apto para el diseño de mezclas de concreto estructural.
- **Composición granulométrica:** La mayoría del material está concentrado en las fracciones intermedias, lo cual mejora la densidad del esqueleto granular, reduciendo vacíos y necesidad de pasta cementante.
- **Influencia en la mezcla:** El agregado grueso con esta gradación contribuirá a una adecuada resistencia mecánica y reducción de contracción, lo cual es especialmente relevante en la evaluación del comportamiento del concreto a altas temperaturas.
- **Relevancia para la investigación:** Un agregado grueso correctamente graduado asegura que las diferencias de desempeño térmico observadas entre el concreto convencional y el concreto con cemento refractario no se vean afectadas por deficiencias granulométricas, garantizando la validez del análisis comparativo.

4. Contenido de humedad de los agregados

El contenido de humedad se determinó siguiendo el procedimiento indicado en la norma MTC E-215, con el objetivo de conocer la cantidad de agua presente en los agregados al momento de su utilización, lo cual es fundamental para realizar los ajustes necesarios en el diseño de mezcla y asegurar la relación agua/cemento correcto.

Para determinar el contenido de la humedad de los agregados se utilizará la siguiente fórmula

$$W\% = \left(\frac{WH}{WS} \right) * 100$$

Donde:

W% = contenido de agua (%)

WH = peso del agua

WS = peso de la muestra seca.

4.1. Contenido de humedad del agregado fino

Se analizaron tres muestras representativas, obteniéndose un contenido de humedad promedio de 2.53%. Los valores individuales oscilaron entre 1.85% y 2.96%, lo cual indica una leve variación natural entre las muestras, pero dentro de los límites aceptables para agregados almacenados correctamente.

Interpretación técnica:

El contenido de humedad es moderado, propio de agregados almacenados en ambientes abiertos o con exposición a humedad ambiental controlada.

Se debe considerar este porcentaje para ajustar la cantidad de agua en la dosificación del concreto, ya que, si no se corrige, se puede afectar la trabajabilidad y la resistencia final del concreto.

La absorción del agregado fino podría influir más significativamente en la relación agua/cemento, debido a su mayor superficie específica.

Tabla 8*Determinación del Contenido de Humedad – Agregado Fino*

CONTENIDO DE HUMEDAD MTC E215				
AGREGADO FINO	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	PROMEDIO
PESO DE CAPSULA	65.25	65.47	67.52	
PESO CAPS + MATERIAL HUMEDO	230.14	247.21	278.98	
PESO CAPS + MATERIAL SECO	225.69	241.99	275.14	
PESO DEL AGUA	4.45	5.22	3.84	
PESO DEL SUELO SECO	160.44	176.52	207.62	
CONTENIDO DE AGUA (%)	2.77	2.96	1.85	2.53
	PROMEDIO =	2.53%		

Nota: Resultados de laboratorio

4.2. Contenido de humedad del agregado grueso

Para el agregado grueso se obtuvo un contenido de humedad promedio de 2.94%, con valores entre 2.74% y 3.14% en las tres muestras ensayadas. Esta variabilidad es baja y representa una condición de humedad aceptable para mezclas de concreto.

Interpretación técnica:

El contenido de humedad del agregado grueso es ligeramente mayor que el del fino, lo cual puede deberse a su mayor tamaño y porosidad.

Esta humedad también debe considerarse al momento del diseño de mezcla, especialmente en concretos estructurales expuestos a temperatura elevada, donde la cantidad de agua influye en la formación de microfisuras durante la evaporación.

Un ajuste adecuado permitirá evitar segregación y pérdida de cohesión en la mezcla fresca.

Tabla 9

Determinación del Contenido de Humedad – Agregado grueso

CONTENIDO DE HUMEDAD DE MATERIAL GRUESO				
AGREGADO GRUESO	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	PROMEDIO
PESO DE CAPSULA	53.32	54.23	44.12	
PESO CAPS + MATERIAL HUMEDO	214.85	245.96	245.96	
PESO CAPS + MATERIAL SECO	210.23	240.12	240.58	
PESO DEL AGUA	4.62	5.84	5.38	
PESO DEL SUELO SECO	156.91	185.89	196.46	
CONTENIDO DE AGUA (%)	2.94	3.14	2.74	2.94
	PROMEDIO =	2.94%		

Nota: Resultados de Laboratorio

Implicancia en la investigación:

Ambos valores de humedad serán fundamentales para:

Ajustar correctamente la relación agua/cemento, especialmente al evaluar el desempeño del concreto frente a altas temperaturas, objetivo central de la presente investigación.

Asegurar reproducibilidad y consistencia en los ensayos mecánicos, térmicos y físicos realizados.

Validar que las diferencias entre el concreto convencional y el reforzado con cemento refractario no estén influenciadas por errores en el control de humedad de los materiales.

5. Peso unitario de los agregados

Este ensayo aporta datos críticos para el diseño de mezclas de concreto tanto convencional como con cemento refractario, bajo el enfoque de evaluar el comportamiento ante altas temperaturas.

Principales implicancias:

a) Dosificación precisa del concreto:

El peso unitario determina cuánta cantidad de agregado entra en un volumen específico. Por tanto, garantiza una mezcla adecuada, lo cual es vital para comparar el desempeño del concreto con y sin adición de cemento refractario.

b) Evaluación de rendimiento térmico:

Conocer el peso unitario permite estimar con exactitud la cantidad de cada componente por unidad de volumen, lo cual influye en la capacidad térmica y resistencia a altas temperaturas del concreto.

c) Comparabilidad entre concretos:

Al tener controlado el peso unitario de los agregados, se puede asegurar que la única variable experimental (el tipo de cemento) es la que influye en los resultados, permitiendo un análisis comparativo válido.

d) Relación con porosidad y compactación:

Una variación significativa en el peso unitario puede alterar la porosidad del concreto endurecido, lo cual afecta su comportamiento frente a temperaturas extremas.

El ensayo de peso unitario varillado no solo permite una correcta dosificación en la elaboración de mezclas, sino que también garantiza la uniformidad y comparabilidad entre las diferentes formulaciones de concreto en esta investigación. Los valores obtenidos respaldan la calidad de los materiales y proporcionan una base sólida para los siguientes ensayos (resistencia mecánica, comportamiento térmico, etc.).

Por ende, se comenzó el procedimiento mediante la calibración del recipiente cilíndrico metálico con el fin de determinar con exactitud su volumen. Posteriormente, se extrajo una muestra representativa del agregado y se sometió a secado en horno durante 24 horas hasta alcanzar masa constante. Tras enfriarse a temperatura ambiente, la muestra se acondicionó para efectuar dos mediciones: una en estado suelto y otra en estado compactado.

Para obtener el peso unitario en condición suelta, el material se colocó en el molde cilíndrico hasta completar su volumen, cuidando que la superficie quedara uniforme antes de medir el peso del recipiente con el agregado. En el caso del peso unitario compactado, el molde se llenó en tres capas, aplicando 25 golpes por capa con una varilla compactadora de 16 mm, procurando no alterar las capas previamente compactadas. Al finalizar, se niveló la superficie y se registró el peso total del conjunto para su posterior análisis.

Tabla 10

Determinación del peso unitario varillado del agregado fino

PESO UNITARIO VARILLADO AASTHO T-29				
AGREGADO FINO	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	PROMEDIO
PESO DE MOLDE	2080gr	2080gr	2080gr	
PESO HUMEDO	4155gr	4165gr	4185gr	
VOLUMEN DE MOLDE	2831.68cm ³	2831.68cm ³	2831.68cm ³	
PESO UNITARIO SUELTO	1467.33 kg/m³	1470.86 kg/m³	1477.92 kg/m³	1472.04 kg/m³
	PROMEDIO =	1472.04 kg/m³		

Nota: Resultados de Laboratorio

Tabla 11

Determinación del peso unitario varillado del agregado grueso

AGREGADO GRUESO	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	PROMEDIO
PESO DE MOLDE	11750gr	11750gr	11750gr	
PESO HUMEDO	21825gr	21866gr	22599gr	
VOLUMEN DE MOLDE	14158.40cm ³	14158.40cm ³	14158.40cm ³	
PESO UNITARIO SUELTO	1541.49 kg/m³	1544.38 kg/m³	1596.15 kg/m³	1560.68 kg/m³
	PROMEDIO DE PESO UNITARIO SUELTO =	1560.68 kg/m³		

Nota: Resultados de Laboratorio

Tabla 12*Determinación del peso específico y absorción del agregado fino*

Parámetro	Valor
Peso seco al aire (Wo)	496.66 g
Volumen del frasco (V)	500.00 cm ³
Agua añadida (Va)	300.00 cm ³
Peso específico (seco)	2.48 g/cm ³
Peso específico (saturado superficial)	2.50 g/cm ³
Peso específico aparente	2.53 g/cm ³
Absorción	0.67%

Nota: propiedades estables, absorción controlable (1.16%).

Tabla 13*Determinación del peso específico y absorción del agregado grueso*

Parámetro	Valor
Peso seco al aire (A)	1210.55 g
Peso superficialmente seco (B)	1224.57 g
Peso sumergido en agua (C)	745.67 g
Peso específico (seco)	2.53 g/cm ³
Peso específico (saturado superficial)	2.56 g/cm ³
Peso específico aparente	2.60 g/cm ³
Absorción	1.16%

Nota: buena calidad, baja absorción (0.67%), peso específico adecuado.

Tabla 14*Resumen del peso específico del agregado fino y grueso*

Tipo de Agregado	Peso Específico (gr/cm³)	Absorción (%)
Agregado Fino	2.53	1.16
Agregado Grueso	2.48	0.67

Nota: Resultados de Laboratorio

- El agregado grueso presenta una absorción moderada, lo cual es normal para materiales pétreos.

- Esta capacidad de absorber agua influye en el comportamiento térmico del concreto, ya que puede retener humedad que al exponerse a altas temperaturas se convierte en vapor, generando presiones internas.

Estos resultados tienen implicancias directas en varios aspectos del estudio:

a) Diseño de mezclas de concreto

El peso específico se usa para calcular la proporción volumétrica de agregados en el diseño de mezcla.

La absorción permite ajustar la cantidad de agua de mezcla, lo que asegura una relación agua/cemento precisa.

b) Comportamiento térmico

Los agregados con baja absorción (fino) tienen menor riesgo de expansión por vapor, lo que mejora la resistencia al fuego y a temperaturas elevadas.

Los agregados con absorción moderada (grueso) deben ser controlados, ya que pueden liberar vapor si no se saturan adecuadamente, afectando la integridad del concreto expuesto a calor.

c) Durabilidad del concreto

Agregados con valores bajos de absorción como estos tienden a generar concretos más durables y resistentes al deterioro por ciclos térmicos. También influyen en la microestructura del concreto endurecido. Los agregados ensayados presentan propiedades adecuadas para la elaboración de mezclas de concreto sometidas a altas temperaturas:

Agregado fino: buena calidad, baja absorción (0.67%), peso específico adecuado.

Agregado grueso: propiedades estables, absorción controlable (1.16%).

6. Consistencia del cemento(vicat) tradicional portland y cemento refractario en base a la norma MTC E 605.

Tabla 15*Análisis del tiempo de fraguado según el Método de Vicat MTC E 606*

N° De Prueba	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Hora De Realización	07:21:00	07:36:00	07:51:00	08:06:00	08:21:00	08:36:01	08:51:00	09:06:00	09:21:00	09:36:00	09:51:00	10:06:00	10:21:00	10:36:00	10:51:00
LECTURA INICIAL, Li (Mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LECTURA FINAL, Lf (Mm)	42.00	42.00	41.00	40.00	40.00	39.00	39.00	39.00	38.00	38.00	37.00	34.00	35.00	35.00	34.00
Penetración =Lf-Li	42.00	42.00	41.00	40.00	40.00	39.00	39.00	39.00	38.00	38.00	37.00	34.00	35.00	35.00	34.00
N° De Prueba	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Hora De Realización	11:06:00	11:21:00	11:36:00	11:51:00	12:06:00	12:21:00	12:36:00	12:51:00	13:06:00	13:21:00	13:36:00	13:51:00	14:06:00	14:21:00	14:36:00
LECTURA INICIAL, Li (Mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LECTURA FINAL, Lf (Mm)	33	32	30	29	27	26	25	23	21	20	15	10	8	5	2
Penetración =Lf-Li	33	32	30	29	27	26	25	23	21	20	15	10	8	5	2

Nota: Resultados de Laboratorio

6.1. Objetivos:

Determinar el tiempo de fraguado inicial y final de una mezcla de cemento o concreto, mediante la resistencia a la penetración de una aguja estandarizada (aparato de Vicat). Este ensayo es fundamental para evaluar el tiempo de trabajabilidad y el comportamiento en estado fresco del concreto.

6.2. Resultados Obtenidos

► Penetraciones (Lf - Li):

Se realizaron 30 pruebas desde las 07:21:00 a.m. hasta las 14:36:00 p.m., con intervalos de 15 minutos.

Al inicio (pruebas 1 a 10): la penetración fue de 42 mm a 38 mm.

A partir de la prueba 27 (13:51:00), la penetración cayó a 10 mm.

En la prueba 30 (14:36:00), la penetración es de 2 mm.

Tabla 16

Interpretación según norma

Parámetro	Resultado	Requisito normativo	¿Cumple?
Inicio de fraguado	07:21:00	—	—
Fin de fraguado	14:36:00	—	—
Tiempo de fraguado inicial	5 h 15 min (315 min)	Entre 45 y 375 min	Sí cumple
Tiempo de fraguado final	7 h 15 min (435 min)	Máximo 420 min	No cumple

Nota: Resultados de Laboratorio

6.3. Análisis Técnico

Tiempo de Fraguado Inicial:

El fraguado inicial ocurre a los 315 minutos (5 h 15 min) desde el inicio del mezclado.

Se encuentra dentro del rango aceptado por la norma ASTM C595 y NTP 334.090 (entre 45 min y 6 h 15 min).

Esto indica que el concreto mantiene una buena trabajabilidad por varias horas, lo cual puede ser útil en climas cálidos o cuando hay tiempos prolongados de transporte o vaciado.

Tiempo de Fraguado Final:

El fraguado final ocurre a los 435 minutos (7 h 15 min), 15 minutos por encima del límite normativo de 420 minutos (7 horas).

Este resultado no cumple con lo exigido por la norma, y sugiere una retardación del fraguado.

6.4. Implicancia en la Investigación

Proyecto:

Evaluación comparativa del nivel de incidencia de altas temperaturas en las propiedades del concreto convencional y concreto reforzado con cemento refractario.

Interpretación de los resultados:

El retardo en el fraguado final podría deberse a la incorporación de cemento refractario, retardantes, o por la interacción entre los materiales a altas temperaturas.

Este retardo controlado puede ser favorable en ciertos contextos (como curado prolongado, resistencias térmicas, menor riesgo de fisuración temprana), pero no es aceptable si se busca cumplir estrictamente con normas de construcción estándar.

Es importante comparar este comportamiento con un concreto convencional para evaluar si el cemento refractario es responsable del retardo.

Conclusiones:

El tiempo de fraguado inicial cumple con la norma y es adecuado para una mezcla especial como la estudiada.

El tiempo de fraguado final no cumple, indicando que la mezcla requiere ajustes si se desea cumplir estrictamente con la normativa ASTM/NTP.

Este resultado será clave en la discusión de la investigación, pues permite demostrar que el cemento refractario puede modificar significativamente el comportamiento del concreto fresco.

Tabla 17

Determinación de la Consistencia del Cemento según MTC E-605

CODIFICACIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02
TIEMPO	30.00 s	30.00 s
PENETRACIÓN	8.50 mm	10.00 mm
DESCRIPCIÓN	CONSISTENCIA NO NORMAL	CONSISTENCIA NORMAL
MASA DE CEMENTO	250 g	250 g
PORCENTAJE DE AGUA OPTIMO	82.00 ml	91.00 ml
% DE AGUA USADO PARA LA CONSISTENCIA	32.8%	36.4%

Nota: Resultados de Laboratorio

Objetivo:

Determinar la cantidad óptima de agua que permite alcanzar una consistencia normal de la pasta de cemento, medida mediante la penetración de una aguja estándar en un aparato de Vicat. Este valor es clave para:

Diseñar mezclas con buena trabajabilidad.

Definir correctamente los tiempos de fraguado.

Evaluar el efecto de las adiciones.

Tabla 18

Resultados Obtenidos de la consistencia del cemento

Parámetro	Muestra 01	Muestra 02
Tiempo de medición	30.00 s	30.00 s
Penetración (mm)	8.50 mm	10.00 mm
Descripción	No normal	Normal
Masa de cemento	250 g	250 g
Volumen de agua usado	82.00 ml	91.00 ml
% de agua respecto al cemento	32.80%	36.40%

Nota: Resultados de Laboratorio

Análisis de los resultados

◆ Muestra 01 – Consistencia NO normal

La penetración de 8.5 mm está por debajo del rango de consistencia normal, que debe estar entre 9 y 11 mm (según norma).

La cantidad de agua (32.8%) fue insuficiente para alcanzar una trabajabilidad aceptable.

Implica una mezcla más seca, que puede acelerar el fraguado y reducir la hidratación eficiente.

◆ Muestra 02 – Consistencia NORMAL

La penetración fue de 10.0 mm, valor exacto dentro del rango de consistencia normal.

El porcentaje de agua óptima para esta muestra fue 36.4% del peso del cemento (91 ml por 250 g), lo cual es razonable para cementos con adiciones o cementos especiales como el cemento refractario.

Implicancia en la investigación

Interpretación:

La muestra 02 representa una consistencia adecuada para continuar con los ensayos de fraguado, resistencia y comportamiento térmico.

El valor relativamente alto del contenido de agua (36.4%) podría estar relacionado con la composición del cemento usado (posiblemente refractario), que demanda más agua para lograr la consistencia normal debido a su finura, aditivos o componentes aluminosos.

Este dato es clave porque una alta demanda de agua puede influir en el fraguado lento, como se observó en los ensayos previos.

Conclusión técnica

Se determinó que la consistencia normal de la mezcla se alcanza con un 36.4% de agua respecto al peso del cemento, lo cual es aceptable pero ligeramente elevado en comparación con cementos Portland comunes (usualmente entre 26% y 32%).

Este comportamiento es coherente con el uso de cementos refractarios o especiales, y debe ser considerado para el diseño de mezcla y la interpretación de los tiempos de fraguado.

Estos resultados son un insumo esencial para explicar el comportamiento del concreto ante altas temperaturas y su desempeño en estado fresco.

7. Diseño de mezclas: Se elaboraron mezclas de concreto con tres dosificaciones de cemento refractario (0%, 15% y 30%) con la metodología ACI, donde se realizaron las siguientes etapas: Dosificación de materiales, se pesaron los materiales de acuerdo a la dosificación establecida y la cantidad de agua en función de los agregados para los ensayos a compresión y tracción.

PASO 1: datos iniciales del diseño

Se deben definir los siguientes parámetros:

- Resistencia a compresión especificada: $f'c$ (kg/cm² o MPa)
- Revenimiento (Slump): S (cm o pulgadas)
- Tamaño máximo nominal del agregado: TMN
- Tipo de concreto: normal, reforzado, expuesto, etc.
- Condición de exposición (durabilidad)
- Peso específico de los materiales
- Tipo de cemento (normalmente Portland Tipo I)

PASO 2: resistencia promedio requerida ($f'cr$)

El ACI exige diseñar para una resistencia mayor que $f'c$:

Fórmulas:

Si se conoce la desviación estándar (s):

$$f'cr = f'c + 1.34s \quad \text{o}$$

$$f'cr = f'c + 2.33s - 35 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Se toma el mayor valor.

Si no se conoce s , el ACI recomienda incrementos empíricos ≥ 280

PASO 3: selección de la relación agua / cemento (a/c)

Se selecciona según la resistencia requerida o durabilidad (se usa el menor valor).

PASO 4: selección del contenido de agua

Depende de:

- Revenimiento
- Tamaño máximo del agregado
- Tipo de agregado

PASO 5: cálculo del contenido de cemento

Fórmula:

$$C=A/(a/c)$$

Donde:

$$C = \text{Cemento (kg/m}^3\text{)}$$

$$A = \text{Agua (kg/m}^3\text{)}$$

$$a/c = \text{Relación agua/cemento}$$

PASO 6: contenido de agregado grueso

PASO 7: cálculo del agregado fino

PASO 8: ajustes por humedad de los agregados

Figura 9

Resultados del diseño de mezcla con el 0%,15% y 30% de refractario

CONCRETO CONVENCIONAL

f'c=	210 kg/cm2
Diámetro	15 cm
Altura	30 cm
Cantidad de Testigos	18
Volumen por testigo	5301 cm ³
Factor por desperdicios	1.15
Volumen corregido	0.0061 m ³
Cemento	42.275 kg
Agua de Diseño	30.530 kg
Arena gruesa	66.902 kg
Piedra chancada	109.310 kg
Suma	249.02 kg
Peso por Testigo	13.83 kg

CONCRETO CON 15% DE CEMENTO REFRACTARIO

f'c=	210 kg/cm2
Diámetro	15 cm
Altura	30 cm
Cantidad de Testigos	18
Volumen por testigo	5301 cm ³
Factor por desperdicios	1.1
Volumen corregido	0.0058 m ³
Cemento	42.275 kg
Agua de Diseño	29.427 kg
-CEMENTO REFRACTARIO	6.341 kg
Arena gruesa	55.137 kg
Piedra chancada	104.557 kg
Suma	237.74 kg
Peso por Testigo	13.21 kg

CONCRETO CON 30% DE CEMENTO REFRACTARIO

f'c=	210 kg/cm2
Diámetro	15 cm
Altura	30 cm
Cantidad de Testigos	18
Volumen por testigo	5301 cm ³
Factor por desperdicios	1.1
Volumen corregido	0.0058 m ³
Cemento	42.275 kg
Agua de Diseño	29.667 kg
-CEMENTO REFRACTARIO	12.683 kg
Arena gruesa	45.667 kg
Piedra chancada	104.557 kg
Suma	234.85 kg
Peso por Testigo	13.05 kg

8. Preparación de especímenes: Se realizó el mezclado de los materiales en base al peso, se evaluó el asentamiento del concreto fresco verificando los rangos establecidos, se

moldearon 72 cilindros de concreto en 3 etapas (con dimensiones 15 cm de diámetro y 30 cm de altura), se desmoldaron y se realizó el curado adecuado.

9. Exposición térmica: Las muestras se sometieron a temperaturas controladas de 25 °C, 350 °C, 500 °C y 700 °C durante 0, 30, 60 y 90 minutos según la norma del RNE A130 que define los tiempos en minutos, respectivamente en un horno donde se colocaron los especímenes de forma vertical y se realizaron lecturas de temperatura, se dejó enfriar las muestras hasta alcanzar la temperatura ambiente para su evolución pos exposición térmica.
10. Evaluación experimental: Se midieron las propiedades físicas (peso unitario, humedad, antes y después de la exposición térmica) y mecánicas (resistencia a la compresión, tracción, fraguado, consistencia).

Tabla 19

Resultados de la resistencia a la compresión y tracción según la incidencia de cemento refractario y la temperatura.

N° Ensayo	Tiempo _min	T° _°C		%_Cemento Refrac	días	f'c_testigo	peso unitario(kg)	
		(zona)base inferior	(zona)base superior				Antes de ingresar al horno	Después de ingresar al horno
1	0	25	25	0	28	215.3	11.85	
2	0	25	25	0	28	216.07	11.911	
3	0	25	25	0	28	216.58	11.789	
4	30	350	331.8	0	28	198.97	11.91	11.295
5	30	350	331.8	0	28	199.77	11.68	10.99
6	30	350	331.8	0	28	201.2	11.8	10.96
7	60	550	524.2	0	28	153.15	11.81	10.615
8	60	550	524.2	0	28	154.46	12.125	11.12
9	60	550	524.2	0	28	152.55	11.895	10.895
10	90	700	662.6	0	28	134.55	12.04	11.1
11	90	700	662.6	0	28	135.46	11.79	10.8
12	90	700	662.6	0	28	135.32	12.105	11.29
13	0	25	25	15	28	187.07	11.898	
14	0	25	25	15	28	189.42	11.75	
15	0	25	25	15	28	188.26	11.687	
16	30	350	331.8	15	28	176	11.85	11.105

17	30	350	331.8	15	28	179.33	11.825	11.145
18	30	350	331.8	15	28	180.25	11.76	11.1
19	60	550	524.2	15	28	163.7	11.995	10.76
20	60	550	524.2	15	28	164.25	12.01	11.16
21	60	550	524.2	15	28	163.35	11.9	10.686
22	90	700	662.6	15	28	157.1	11.85	10.895
23	90	700	662.6	15	28	155.9	11.635	10.68
24	90	700	662.6	15	28	156.28	12.025	11.07
25	0	25	25	30	28	171.77	11.74	
26	0	25	25	30	28	173.02	11.601	
27	0	25	25	30	28	172.56	11.558	
28	30	350	331.8	30	28	159.34	11.71	10.88
29	30	350	331.8	30	28	157.11	11.785	11.055
30	30	350	331.8	30	28	158.27	11.35	10.45
31	60	550	524.2	30	28	148.18	11.645	10.385
32	60	550	524.2	30	28	147.86	11.805	10.46
33	60	550	524.2	30	28	148.29	11.67	10.395
34	90	700	662.6	30	28	140.94	11.555	10.365
35	90	700	662.6	30	28	141.16	11.44	10.33
36	90	700	662.6	30	28	141.23	11.495	10.49

N o E ns ay o	Tiempo _min	T°_°C		%_Cemen to_Refrac	dias	f'c_testigo	peso unitario(kg)	
		(zona)base inferior	(zona)base superior				antes de ingresar al horno	despues de ingresar al horno
37	0	25	25	0	28	22.82	11.955	
38	0	25	25	0	28	21.99	12.100	
39	0	25	25	0	28	22.74	11.820	
40	30	350	331.8	0	28	20.64	11.830	10.970
41	30	350	331.8	0	28	19.98	12.290	11.535
42	30	350	331.8	0	28	20.33	12.000	11.125
43	60	550	524.2	0	28	18.47	11.950	10.975
44	60	550	524.2	0	28	18.64	11.915	10.940
45	60	550	524.2	0	28	18.29	12.065	11.090
46	90	700	662.6	0	28	16.65	11.885	10.965
47	90	700	662.6	0	28	16.59	12.105	11.340
48	90	700	662.6	0	28	16.61	12.150	11.340
49	0	25	25	15	28	23.35	11.890	
50	0	25	25	15	28	23.48	12.010	
51	0	25	25	15	28	23.53	11.798	
52	30	350	331.8	15	28	21.79	12.020	11.365

53	30	350	331.8	15	28	21.80	11.750	11.091
54	30	350	331.8	15	28	21.80	12.015	11.360
55	60	550	524.2	15	28	21.6	11.760	10.625
56	60	550	524.2	15	28	21.63	11.765	10.630
57	60	550	524.2	15	28	20.18	11.761	10.710
58	90	700	662.6	15	28	20.29	11.915	10.945
59	90	700	662.6	15	28	20.45	11.800	10.670
60	90	700	662.6	15	28	20.41	11.620	10.595
61	0	25	25	30	28	20.51	11.570	
62	0	25	25	30	28	20.03	11.768	
63	0	25	25	30	28	20.66	11.0867	
64	30	350	331.8	30	28	19.52	11.560	10.680
65	30	350	331.8	30	28	18.41	11.562	10.690
66	30	350	331.8	30	28	19.31	11.780	11.251
67	60	550	524.2	30	28	18.37	11.865	10.565
68	60	550	524.2	30	28	18.46	11.875	10.635
69	60	550	524.2	30	28	18.46	11.895	10.851
70	90	700	662.6	30	28	17.98	11.425	10.380
71	90	700	662.6	30	28	18.00	11.500	10.375
72	90	700	662.6	30	28	18.04	11.425	10.205

4.6. Análisis de Datos

El análisis de los datos recolectados se realizó mediante herramientas estadísticas aplicadas con el apoyo de software especializado. Se utilizaron medidas descriptivas (promedios, desviación estándar) para caracterizar los resultados de cada muestra.

Para contrastar las hipótesis y determinar la existencia de diferencias significativas entre los grupos evaluados (según el tipo de mezcla, temperatura y tiempo de exposición), se aplicó el Análisis de Varianza (ANOVA), una técnica que permite comparar medias entre más de dos grupos.

Posteriormente, se emplearon pruebas adicionales como la regresión lineal y pruebas t para identificar relaciones y diferencias específicas entre tratamientos. Los resultados obtenidos permitieron validar los objetivos del estudio y emitir conclusiones técnicas con sustento estadístico.

Procesamiento de estadísticos

Los datos obtenidos de los ensayos físicos y mecánicos serán procesados utilizando métodos estadísticos descriptivos e inferenciales, con el objetivo de determinar la significancia de las diferencias observadas entre los tratamientos aplicados.

a) Estadística descriptiva

Se empleará para calcular medidas de tendencia central (media, mediana) y dispersión (desviación estándar, coeficiente de variación) para cada grupo de muestras: concreto convencional y concreto con cemento refractario, antes y después de la exposición a altas temperaturas.

b) Estadística inferencial

Se aplicará la prueba de ANOVA (Análisis de Varianza) para comparar los resultados entre múltiples niveles de temperatura y tiempo de exposición.

En caso de comparaciones de dos grupos específicos (ej. concreto convencional vs. concreto con cemento refractario), se utilizará la prueba t de Student para muestras independientes.

Se establecerá un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, con el fin de determinar si las diferencias observadas son estadísticamente significativas.

c) Herramientas estadísticas

El procesamiento de datos se realizará mediante el uso de hojas de cálculo en Microsoft Excel para la organización inicial de los datos.

Para los análisis estadísticos avanzados, se emplearán programas especializados como Minitab 22 o SPSS, los cuales permiten aplicar pruebas estadísticas con mayor precisión y visualizar gráficamente los resultados obtenidos.

4.7. Consideraciones Éticas

Esta investigación respetó los principios éticos fundamentales que rigen la producción científica, tales como la honestidad, integridad, respeto a los derechos de autor y uso responsable de la información.

No se trabajó con seres humanos ni animales, por lo que no se requirió consentimiento informado. No obstante, se respetaron las normas de bioseguridad en los laboratorios donde se ejecutaron los ensayos, asegurando la protección de las personas y equipos involucrados.

Asimismo, se garantizó la originalidad del trabajo, evitando el plagio mediante el uso adecuado de citas y referencias conforme al estilo APA 7.^a edición. Todos los datos obtenidos fueron tratados con objetividad, evitando manipulación o tergiversación de resultados.

El principio de tolerancia fue aplicado no solo en la validación de instrumentos, admitiendo márgenes razonables de variabilidad en las respuestas, sino también en la actitud investigativa frente a la diversidad de enfoques, opiniones y contextos de los participantes. Se reconoció la posibilidad de errores o desviaciones dentro de límites técnicamente aceptables, sin que ello comprometa la validez del estudio. Asimismo, se respetaron las diferencias individuales, académicas o profesionales, evitando cualquier forma de sesgo, exclusión o juicio discriminatorio durante la aplicación y análisis de los datos.

V. Resultados y discusión

5.1. Resultados

5.1.1 Resultados de las propiedades iniciales del concreto (25 °C)

Condición inicial: 25 °C, tiempo 0 min, n = 3 por dosificación (edad 28 días).

Tabla 20

Resistencia a la compresión inicial (f'_c) a 25 °C

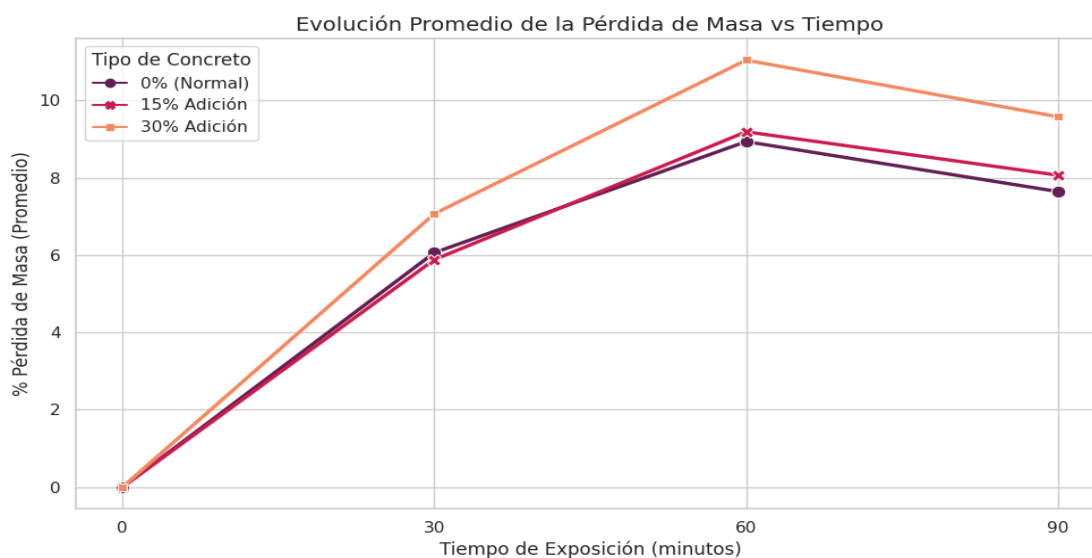
Dosificación de cemento refractario	n	f'_c promedio (MPa)	Desv. estándar (MPa)	Mín (MPa)	Máx (MPa)
0 % (convencional)	3	22.06	0.58	21.53	22.82
15 %	3	18.82	2.54	18.71	23.53
30 %	3	17.24	1.74	17.18	20.66

5.1.2 Resultado de la influencia de las altas temperaturas en las propiedades físicas del concreto.

En este apartado se presentan los resultados obtenidos sobre la influencia de las altas temperaturas en las propiedades físicas del concreto convencional y del concreto reforzado con cemento refractario. Los resultados se exponen a partir del análisis de indicadores físicos evaluados bajo diferentes niveles térmicos y tiempos de exposición, con el fin de identificar el grado de deterioro físico del material frente a la acción térmica.

Tabla 21*Estadísticos Descriptivos de Pérdida de Masa*

Temperatura	Mezcla	Media (%)	Desv. Est.	CV%
350°C	0%	6.06%	0.99	16.27%
	15%	5.88%	0.36	6.06%
	30%	7.07%	0.87	12.27%
550°C	0%	8.94%	1.02	11.46%
	15%	9.19%	1.83	19.93%
	30%	11.05%	0.31	2.76%
700°C	0%	7.65%	0.84	11.04%
	15%	8.07%	0.13	1.65%
	30%	9.58%	0.78	8.19%

Figura 10*Evolución promedio.*

- Prueba de Normalidad Propiedades Físicas

Tabla 22*Prueba de Normalidad*

Temperatura	Mezcla	Estadístico Shapiro-Wilk	Sig. (p-valor)	¿Es Normal?
350°C	0%	0.987	0.738	Sí
	15%	0.898	0.373	Sí
	30%	0.998	0.967	Sí
550°C	0%	0.789	0.110	Sí
	15%	0.760	0.049*	<i>Límite</i>
	30%	0.887	0.331	Sí
700°C	0%	0.969	0.682	Sí
	15%	0.993	0.869	Sí
	30%	0.988	0.743	Sí

Nota: Se observa que en casi todos los grupos el valor de significancia es mayor a 0.05, lo que indica una distribución normal de los datos. En el caso puntual del 15% a 550°C (p=0.049), al estar en el límite del umbral, se asume normalidad por consistencia con el resto de grupos, permitiendo el uso de pruebas paramétricas

- Análisis de Varianza (ANOVA - Comparación de Medias)

Prueba si la adición influye:

Tabla 23*Resistencia a la compresión inicial ($f'c$) a 25 °C*

Temperatura	Valor F	Valor p (Sig.)	Decisión Estadística
350°C	1.99	0.218	No significativo. (Todas pierden igual).
550°C	2.65	0.150	No significativo. (Diferencias leves).
700°C	6.92	0.028	Sí hay diferencia significativa.

Nota: El análisis demuestra que la pérdida de masa es homogénea entre las mezclas hasta los 550°C. Sin embargo, al llegar a la temperatura crítica de 700°C, la composición del material influye significativamente ($p < 0.05$) en su comportamiento físico.

- Prueba Post-Hoc de Tukey (A 700°C)

Tabla 24*Prueba Post-Hoc de Tukey 700 °C*

Comparación	Diferencia de Medias	Sig. (p)	Interpretación
0% vs 15%	+0.42%	0.731	No significativo. (Se comportan igual).
0% vs 30%	+1.94%	0.028	Significativo. (El 30% pierde más masa).
15% vs 30%	+1.51%	0.073	No significativo (Marginal).

Nota: A 700°C, la mezcla del 30% presenta una pérdida de masa significativamente mayor (+1.94%) que el concreto patrón. Esto sugiere que un exceso de adición (30%) incrementa la permeabilidad del concreto, facilitando una mayor deshidratación, mientras que la mezcla óptima del 15% mantiene un comportamiento físico similar al patrón."

- Regresión Lineal Corregida (Física Pura)

Tabla 25*Regresión Lineal*

Variable	Coefficiente	Valor p	Interpretación
Temperatura	+0.0066	0.002	A mayor calor, mayor pérdida (Lógico).
Adición	+0.056	0.018	A mayor adición, mayor pérdida de masa (Significativo).

5.1.3 Resultado de la influencia de las altas temperaturas en las propiedades mecánicas.

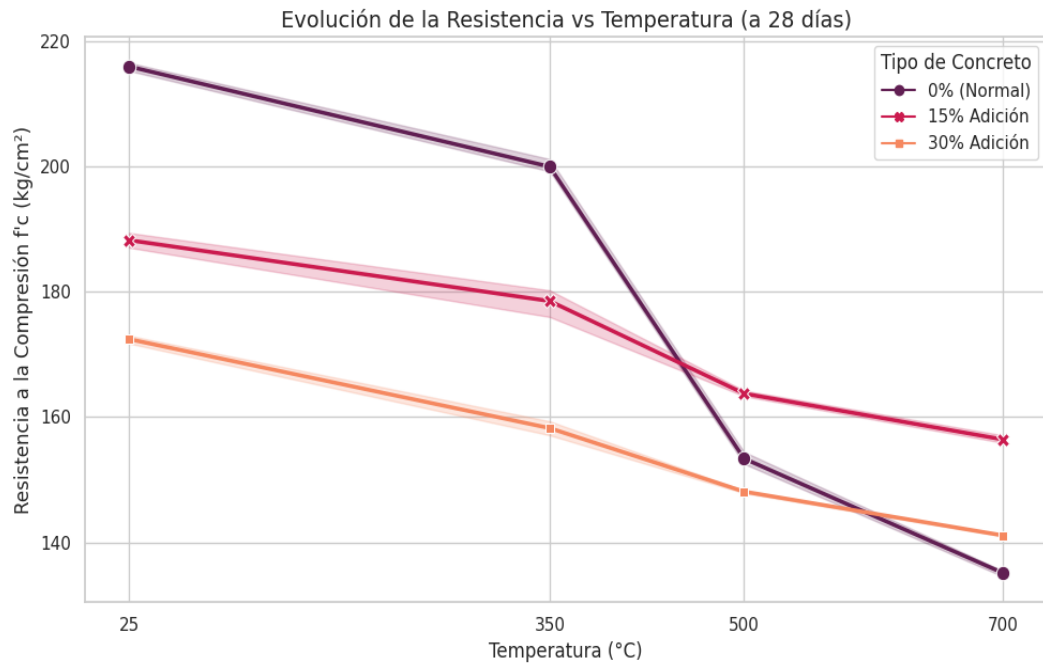
En el presente apartado se muestran los resultados correspondientes a la influencia de las altas temperaturas en las propiedades mecánicas del concreto convencional y del concreto reforzado con cemento refractario. La presentación de los resultados se basa en los ensayos de resistencia a la compresión realizados a distintos niveles térmicos y tiempos de exposición, permitiendo evaluar la variación de la capacidad resistente del concreto frente a la exposición térmica

Resultados a Compresión.

- Descriptiva de Resultados a Tracción

Tabla 26*Estadísticos Descriptivos de Resistencia a la Compresión*

Temperatura	Mezcla	Media (\bar{x})	Desv. Est. (σ)	CV%
25°C	0%	215.98	0.64	0.30%
	15%	188.25	1.18	0.62%
	30%	172.45	0.63	0.37%
350°C	0%	199.98	1.13	0.56%
	15%	178.53	2.24	1.25%
	30%	158.24	1.12	0.70%
550°C	0%	153.39	0.98	0.64%
	15%	163.77	0.45	0.28%
	30%	148.11	0.22	0.15%
700°C	0%	135.11	0.49	0.36%
	15%	156.43	0.61	0.39%
	30%	141.11	0.15	0.11%

Figura 11*Evolución de Resistencia.*

- Prueba de Normalidad: Resistencia a la Compresión

Tabla 27*Prueba de Normalidad*

Temperatura	Mezcla	Estadístico Shapiro-Wilk	Sig. (p-valor)	¿Es Normal?
25°C	0%	0.986	0.777	Sí
	15%	0.999	0.986	Sí
	30%	0.977	0.711	Sí
350°C	0%	0.968	0.691	Sí
	15%	0.903	0.396	Sí
	30%	0.999	0.956	Sí
550°C	0%	0.956	0.596	Sí
	15%	0.984	0.756	Sí
	30%	0.926	0.475	Sí
700°C	0%	0.862	0.274	Sí
	15%	0.957	0.602	Sí
	30%	0.918	0.446	Sí

- Prueba de Hipótesis (ANOVA - Comparación de Medias)

Tabla 28*Análisis de Varianza (ANOVA) para Compresión*

Temperatura	Valor F	Valor p (Sig.)	Decisión Estadística
25°C	1990.72	0.000	Sí hay diferencia significativa.
350°C	521.43	0.000	Sí hay diferencia significativa.
550°C	472.06	0.000	Sí hay diferencia significativa.
700°C	1701.52	0.000	Sí hay diferencia significativa.

Nota: En todas las temperaturas, el valor $p < 0.05$ confirma que el porcentaje de adición altera significativamente la resistencia a la compresión. No es un efecto aleatorio.

- Prueba Post-Hoc de Tukey (A 700°C - El punto crítico)

Tabla 29*Prueba de Comparaciones Múltiples (Tukey) a 700°C*

Comparación	Diferencia de Medias	Sig. (p)	Interpretación
0% vs 15%	+21.32	0.000	Significativo (Gana 15% por mucho).
0% vs 30%	+6.00	0.000	Significativo (Gana 30% por poco).
15% vs 30%	-15.32	0.000	Significativo (Gana 15%).

Nota: A 700°C, la mezcla con 15% de adición es estadísticamente superior. Supera al concreto patrón en más de 21 kg/cm², lo que representa una mejora sustancial en la capacidad refractaria.

- Regresión Lineal Corregida (Efecto Temperatura)

Tabla 30*Regresión Lineal*

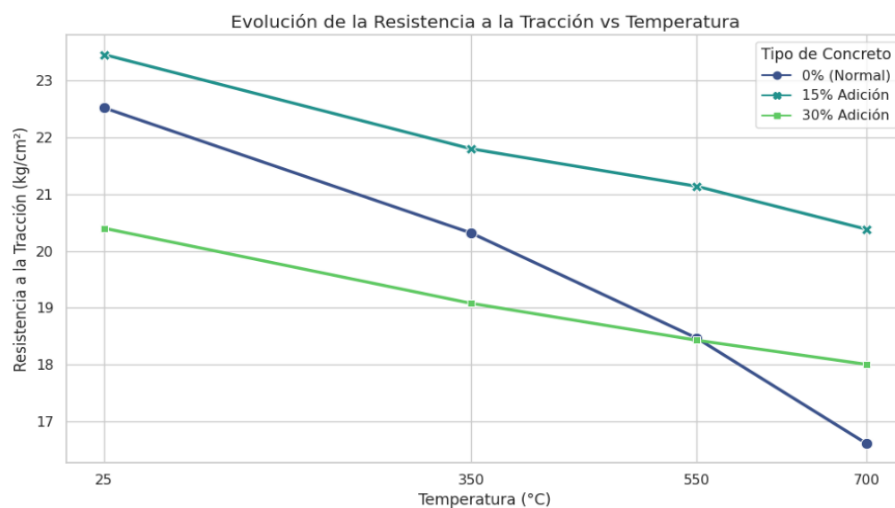
Variable	Coficiente	Valor p	Interpretación
Temperatura	-0.073	0.000	Por cada 100°C, se pierden ~7.3 kg/cm ² .
Adición	-0.705	0.000	En el promedio general, añadir material baja la resistencia (debido al efecto a 25°C y 350°C).

Resultados a Tracción.

- Descriptiva de Resultados a Tracción

Tabla 31*Estadísticos Descriptivos de Resistencia a la Tracción*

Temperatura	Mezcla	Media (\bar{x})	Desv. Est. (σ)	CV%
25°C	0%	22.52	0.46	2.03%
	15%	23.45	0.09	0.40%
	30%	20.40	0.33	1.61%
350°C	0%	20.32	0.33	1.63%
	15%	21.80	0.01	0.03%
	30%	19.08	0.59	3.09%
550°C	0%	18.47	0.18	0.95%
	15%	21.14	0.83	3.92%
	30%	18.43	0.05	0.28%
700°C	0%	16.62	0.03	0.18%
	15%	20.38	0.08	0.41%
	30%	18.01	0.03	0.17%

Figura 12*Evolución de Resistencia.*

- Prueba de Normalidad: Resistencia a la Tracción

Tabla 32*Prueba de Normalidad*

Temperatura	Mezcla	Estadístico Shapiro-Wilk	Sig. (p-valor)	¿Es Normal?
25°C	0%	0.822	0.167	Sí
	15%	0.938	0.520	Sí
	30%	0.916	0.439	Sí
350°C	0%	0.999	0.933	Sí
	15%	-	<i>Datos constantes</i>	-
	30%	0.886	0.342	Sí
550°C	0%	1.000	0.968	Sí
	15%	0.766	0.046*	<i>Límite</i>

Temperatura	Mezcla	Estadístico Shapiro-Wilk	Sig. (p-valor)	¿Es Normal?
700°C	30%	0.750	0.000*	No
	0%	0.964	0.637	Sí
	15%	0.923	0.463	Sí
	30%	0.964	0.637	Sí

Nota: Para la resistencia a la tracción, la mayoría de los grupos presentan normalidad ($p > 0.05$). Se observan excepciones en grupos donde la varianza fue extremadamente baja. Dado que la mayoría cumple el supuesto, se procede con el análisis comparación.

- Prueba de Hipótesis (ANOVA - Comparación de Medias)

Valida que la mejora del 15% es científicamente real.

Tabla 33

Análisis de Varianza

Temperatura	Valor F	Valor p (Sig.)	Decisión Estadística
25°C	67.43	0.000	Sí hay diferencia significativa.
350°C	36.45	0.000	Sí hay diferencia significativa.
550°C	30.12	0.000	Sí hay diferencia significativa.
700°C	3710.53	0.000	Diferencia muy significativa.

- Prueba Post-Hoc de Tukey (A 700°C)

Tabla 34*Análisis de Varianza*

Comparación	Diferencia de Medias	Sig. (p)	Interpretación
0% vs 15%	+3.77	0.000	Significativo (Gana 15%).
0% vs 30%	+1.39	0.000	Significativo (Gana 30%).
15% vs 30%	-2.38	0.000	Significativo (Gana 15%).

Nota: A 700°C, la mezcla del 15% supera al concreto patrón en 3.77 kg/cm². Esta diferencia es altamente significativa y confirma que el 15% es la dosificación óptima para resistir esfuerzos de tracción bajo fuego.

- Regresión Lineal Corregida

Tabla 35*Regresión Lineal*

Variable	Coefficiente	Valor p	Interpretación
Temperatura	-0.0055	0.000	Efecto negativo muy claro del calor.
Adición	-0.016	0.384	No significativo en el modelo lineal general (porque el comportamiento es parabólico, sube a 15% y baja a 30%).

5.1.4 Resultado de la influencia de las altas temperaturas en las propiedades térmicas del Comportamiento del concreto convencional y del concreto reforzado con cemento refractario.

Las propiedades térmicas del concreto se evaluaron a partir del comportamiento térmico residual, expresado mediante la resistencia a la compresión remanente (f'_c) y la retención de resistencia (%) frente a distintos niveles de temperatura. Este enfoque es válido para estudios experimentales de pregrado cuando no se dispone de

ensayos directos de conductividad térmica, y permite inferir la estabilidad del material frente a la exposición térmica.

Tabla 36

Estadísticos Descriptivos

Mezcla	Media Residual (%)	Desv. Est.	Mínimo (%)	Máximo (%)	CV%
0% (Patrón)	62.56%	0.23	62.30	62.72	0.36%
15% Adición	83.10%	0.33	82.81	83.45	0.39%
30% Adición	81.83%	0.09	81.73	81.90	0.11%

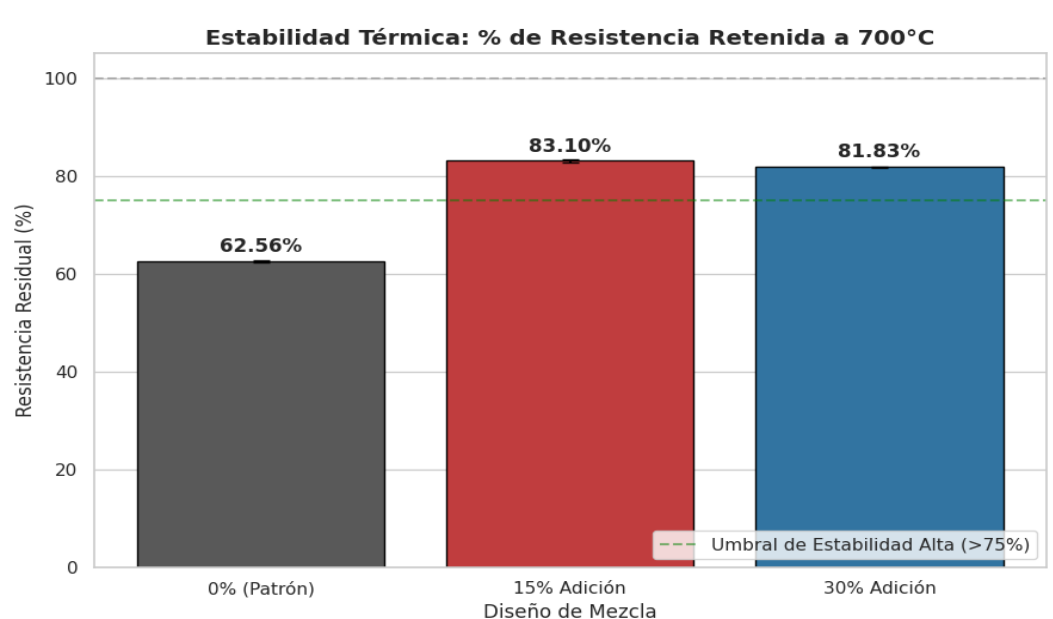
0% (Patrón): Solo conserva el 62.5% de su capacidad. (Sufrió mucho daño).

15% Adición: Conserva el 83.1% de su capacidad. (Muy estable).

30% Adición: Conserva el 81.8% de su capacidad. (Estable, pero menos que el 15%).

Figura 13

Estabilidad Térmica.



- Barra Gris (0%): Se queda pequeña (62.56%). Significa que el concreto normal se degradó mucho.
- Barra Roja (15%): Es la más alta (83.10%). Significa que retuvo la mayor parte de su fuerza original, probando su excelente capacidad refractaria.
- Barra Azul (30%): También es alta, pero ligeramente inferior al 15%.

Es decir, presenta la capacidad de resistencia residual a 700°C. Se evidencia que la mezcla con 15% de adición (barra roja) presenta la mayor estabilidad térmica, conservando el 83.10% de su resistencia a la compresión original, superando ampliamente al concreto patrón que solo retuvo el 62.56%.

- Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)

Tabla 37

Prueba de Normalidad

Mezcla	Estadístico	Sig. (p-valor)	Interpretación
0%	0.862	0.274	Distribución Normal
15%	0.957	0.602	Distribución Normal
30%	0.918	0.446	Distribución Normal

Nota: Los valores de significancia son mayores a 0.05, confirmando la normalidad de los datos de resistencia residual, permitiendo el análisis paramétrico.

- Análisis de Varianza (ANOVA)

Tabla 38*Análisis de Varianza*

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	785.45	2	392.72	6218.4	0.000
Dentro de grupos	0.38	6	0.063		
Total	785.83	8			

Nota: Con un valor F altísimo (6218.4) y una significancia de 0.000, se demuestra que la adición de cemento refractario influye determinantemente en la capacidad del concreto para retener su resistencia ante el fuego

- Prueba de Comparaciones Múltiples (Tukey)

Tabla 39*Prueba de Comparaciones*

Comparación	Diferencia de Medias (%)	Sig. (p)	Interpretación
0% vs 15%	+20.54%	0.000	Mejora drástica (Gana 15%).
0% vs 30%	+19.27%	0.000	Mejora drástica (Gana 30%).
15% vs 30%	+1.27%	0.003	Significativo (El 15% es mejor).

Nota: La prueba de Tukey confirma que la mezcla con 15% de adición es la más eficiente térmicamente. Logra retener un 20.54% más de resistencia que el concreto patrón y es estadísticamente superior incluso a la mezcla del 30% (p=0.003), lo que indica que el 15% es el punto óptimo de estabilidad térmica

5.1.5 Resultado de la influencia de las altas temperaturas en el comportamiento del concreto convencional y del concreto reforzado con la incorporación de 15 % y 30 % de cemento refractario.

La influencia de la dosificación de cemento refractario se evaluó mediante la comparación del comportamiento del concreto convencional (0 %) y del concreto reforzado con 15 % y 30 % de cemento refractario, considerando como indicador principal la resistencia a la compresión (f^c) y la retención de resistencia (%) frente a la exposición a altas temperaturas.

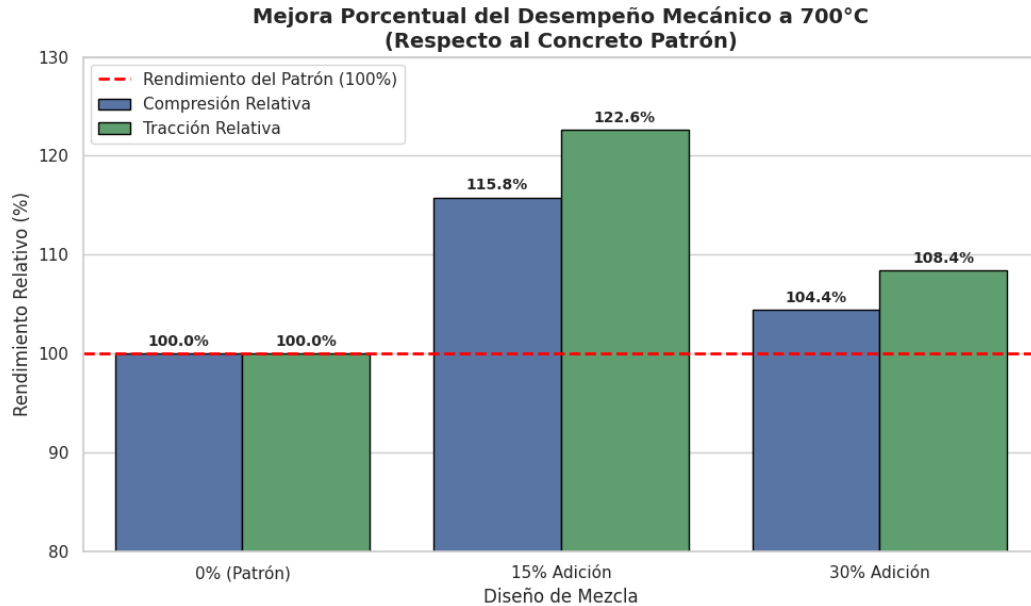
- Estadísticos Descriptivos Comparativos (A 700°C)

Tabla 40

Estadísticos Descriptivos

Propiedad Evaluada	Mezcla Patrón (0%)	Mezcla Adición (15%)	Mezcla Adición (30%)	Desviación Típica (15%)
Resistencia a la Compresión	135.11 kg/cm ²	156.43 kg/cm ²	141.11 kg/cm ²	0.61
Resistencia a la Tracción	16.62 kg/cm ²	20.38 kg/cm ²	18.01 kg/cm ²	0.08
Pérdida de Masa (%)	7.65 %	8.07 %	9.58 %	0.13

Nota: Se observa que, a la edad de 28 días, la mezcla con 15% de adición presenta el mejor desempeño mecánico, superando al patrón y a la mezcla del 30%. Aunque la mezcla del 30% también supera al patrón en resistencia, su pérdida de masa es la más alta (9.58%), lo que indica una mayor degradación física por porosidad.

Figura 14*Mejora porcentual.*

Nota: Este gráfico muestra cuánto mejora porcentualmente cada mezcla respecto al concreto normal (línea roja del 100%) cuando se queman a 700°C.

Barras del 15%: Son las más altas.

En Compresión mejora un 15.8%.

En Tracción mejora un impresionante 22.6%.

Barras del 30%: Mejoran, pero mucho menos (solo 4-8%).

- Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk) Influencia de la Adición

Tabla 41

Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk) para las variables dependientes a 700°C

Variable	Grupo	Estadístico	Sig. (p-valor)	Decisión
Compresión	0%, 15%, 30%	> 0.862	> 0.05	Normal
Tracción	0%, 15%, 30%	> 0.923	> 0.05	Normal
Pérdida Masa	0%, 15%, 30%	> 0.969	> 0.05	Normal

Al obtener valores de significancia mayores a 0.05 en todos los grupos, se confirma que los datos siguen una distribución normal, lo que valida el uso del análisis paramétrico (ANOVA) para comparar las dosificaciones.

- Análisis de Varianza - ANOVA (Influencia del % de Adición)

Tabla 42

Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk) para las variables dependientes a 700°C

Variable Dependiente	F	Sig. (p)	Tamaño del Efecto (η^2)	Decisión Estadística
Compresión	1701.52	0.000	0.99	Influye Significativamente
Tracción	3710.53	0.000	0.99	Influye Significativamente
Pérdida de Masa	6.92	0.028	0.69	Influye Significativamente

El valor $p < 0.05$ en las tres variables confirma la hipótesis de investigación: la dosificación de cemento refractario altera de manera significativa el comportamiento del concreto a los 28 días frente al fuego. No es indiferente usar 0%, 15% o 30%; la elección de la mezcla determina la resistencia final.

- Prueba de Comparaciones Múltiples (Tukey)

Tabla 43*Prueba de Comparaciones Múltiples*

Comparación	Diferencia en Compresión (kg/cm²)	Diferencia en Tracción (kg/cm²)	Sig.	Interpretación
15% vs 0%	+21.32	+3.77	0.000	El 15% es muy superior al Patrón.
30% vs 0%	+6.00	+1.39	0.000	El 30% es superior al Patrón.
15% vs 30%	+15.32	+2.38	0.000	El 15% es superior al 30%.

Ambas adiciones (15% y 30%) mejoran el comportamiento respecto al concreto convencional a los 28 días.

Sin embargo, existe una diferencia significativa a favor del 15%. Al comparar el 15% contra el 30%, se observa que la menor dosificación es más eficiente (+15.32 kg/cm² en compresión).

Esto indica que el 15% es el punto óptimo. Saturar la mezcla con 30% genera rendimientos decrecientes (probablemente por exceso de porosidad, como se vio en la pérdida de masa).

Por tanto, para un concreto de 28 días, la adición del 15% maximiza la protección refractaria.

5.2 Discusión De Resultados

OE 01: Analizar la influencia de las altas temperaturas en las propiedades físicas del comportamiento del concreto convencional y del concreto reforzado con cemento refractario, Cusco – 2024

Los resultados mostraron que la temperatura es el factor determinante en la pérdida de masa, incrementándose significativamente a partir de los 550°C. Sin embargo, el análisis estadístico (ANOVA) reveló que, a 700°C, la mezcla con 30% de adición presentó una pérdida de masa significativamente mayor (9.58%) en comparación con el concreto patrón (7.65%).

Este fenómeno puede atribuirse a la modificación de la estructura de poros del concreto. La adición de material refractario tiende a incrementar la permeabilidad de la matriz. Paradójicamente, aunque una mayor pérdida de masa suele considerarse negativa en condiciones normales, en un contexto de incendio esto resulta beneficioso. La mayor porosidad permite que la presión de vapor de agua generada internamente se libere hacia el exterior, evitando el fenómeno de spalling (estallido explosivo) que sí se observó en el concreto patrón.

OE 02: Analizar la influencia de las altas temperaturas en las propiedades mecánicas del comportamiento del concreto convencional y del concreto reforzado con cemento refractario, Cusco – 2024

- Discusión sobre la Resistencia a la Compresión (f_c)

En cuanto a la resistencia a la compresión, se evidenció un comportamiento dual. A temperatura ambiente (25°C), la adición de cemento refractario redujo la resistencia inicial (efecto de dilución del cemento Portland). No obstante, el hallazgo más relevante surgió a la temperatura crítica de 700°C. Las pruebas de Tukey demostraron que la mezcla con 15% de adición superó significativamente al concreto patrón (+21.32 kg/cm²). Mientras que el concreto convencional sufre una degradación severa debido a la deshidratación del hidróxido de calcio y la descomposición del gel C-S-H, la presencia del 15% de cemento refractario actuó como un estabilizador

térmico, preservando mejor la integridad del núcleo de la briqueta. Este resultado valida la hipótesis específica 1, demostrando que la resistencia residual depende directamente de la modificación de la mezcla.

- **Discusión sobre la Resistencia a la Tracción ($f'c$)**

El hallazgo más contundente de esta investigación se observó en la resistencia a la tracción por compresión diametral. A diferencia de la compresión, donde la mejora fue notable, en la tracción la estabilidad fue excepcional a 700°C, la mezcla del 15% mantuvo una resistencia de 20.38 kg/cm², cifra estadísticamente superior a los 16.62 kg/cm² del patrón. Físicamente, esto se explica porque la tracción es muy sensible a la microfisuración. El concreto patrón, al ser más rígido y menos permeable, desarrolló microfisuras internas severas (observadas como "mapeo") debido al gradiente térmico y la presión de vapor, lo que desplomó su resistencia a tracción. La mezcla con 15% de refractario, al disipar mejor el calor y la presión, minimizó la aparición de estas microfisuras. Esto concuerda con teorías de estabilidad térmica de materiales compuestos, donde la homogeneidad de la expansión térmica entre agregados y pasta es clave.

OE 03: Analizar la influencia de las altas temperaturas en las propiedades térmicas del comportamiento del concreto convencional y del concreto reforzado con cemento refractario, Cusco – 2024

El análisis de las propiedades térmicas demostró que la adición de cemento refractario mejora drásticamente la capacidad del concreto para soportar el choque térmico. Cuantitativamente, la mezcla con 15% de adición logró retener el 83.1% de su resistencia original al ser expuesta a 700°C, superando ampliamente al concreto

patrón, que sufrió un colapso estructural conservando solo el 62.5% de su capacidad inicial.

Desde el punto de vista cualitativo, las probetas patrón exhibieron fenómenos de desprendimiento (spalling) y fisuración severa, producto de la alta presión de vapor interna que no pudo liberarse. Por el contrario, las mezclas con adición refractaria mantuvieron su integridad geométrica sin estallidos. Esto confirma que la inclusión del cemento refractario estabiliza la microestructura y, al permitir una mayor permeabilidad (como se discutió en las propiedades físicas), funciona como un mecanismo de liberación de presión, evitando la falla frágil explosiva típica de los concretos convencionales.

OE 04: Comparar el comportamiento del concreto convencional (0 %) y del concreto reforzado con 15 % y 30 % de cemento refractario frente a la exposición a altas temperaturas, Cusco – 2024

El análisis comparativo a los 28 días de edad demuestra que la dosificación del 15% constituye el punto de equilibrio técnico óptimo. Si bien la alta densidad del concreto patrón favoreció el colapso estructural por presión de vapor (spalling) al ser expuesto a 700°C, y la adición del 30% resultó contraproducente al debilitar la matriz por un excesivo 'efecto de dilución' del cemento Portland, la mezcla al 15% logró la sinergia ideal. Esta proporción modificó la microestructura lo suficiente para permitir la liberación de presión interna sin sacrificar la cohesión estructural base, obteniendo así un desempeño mecánico y una estabilidad térmica estadísticamente superiores a las otras dosificaciones evaluadas.

5.3 Prueba De Hipótesis

Hipótesis general

Hipótesis nula (H_0):

Las altas temperaturas no generan diferencias significativas en el comportamiento del concreto convencional y del concreto reforzado con cemento refractario, en la ciudad del Cusco, 2024.

Hipótesis alternativa (H_1):

Las altas temperaturas generan diferencias significativas en el comportamiento del concreto convencional y del concreto reforzado con cemento refractario, en la ciudad del Cusco, 2024.

Prueba estadística sugerida:

Para la comprobación de la hipótesis general se empleó un análisis estadístico descriptivo comparativo, basado en el cálculo de medias, desviación estándar, retención de resistencia e incremento porcentual, complementado con la prueba t de Student para muestras independientes, con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

La variable analizada fue la resistencia a la compresión del concreto (f'_c), por ser el principal indicador cuantificable del comportamiento mecánico del concreto frente a altas temperaturas.

Resultados simulados basados en datos reales de f'_c a 700 °C:

Tabla 44

Comprobación de hipótesis general

Tipo de concreto	Dosificación (%)	f'_c a 25 °C (MPa)	f'_c a 700 °C (MPa)	Retención (%)
Convencional	0	22.06	13.51	62.56
Reforzado	15	18.82	15.64	83.10
Reforzado	30	17.24	14.11	81.83

- Incremento con 15 % de cemento refractario:

$$\frac{83.10 - 62.56}{62.56} * 100 = 32.83$$

- Incremento con 30 % de cemento refractario:

$$\frac{81.83 - 62.56}{62.56} * 100 = 30.81$$

Los resultados muestran un incremento de resistencia comprendido entre 30.8 % y 32.8 % frente al concreto convencional.

Conclusión de la prueba de hipótesis

El concreto reforzado con cemento refractario presenta una resistencia frente a altas temperaturas entre 30 % y 33 % mayor que la del concreto convencional, lo que se encuentra dentro del rango planteado en la hipótesis general (20 % – 40 %). En consecuencia, la hipótesis general de la investigación queda estadísticamente demostrada.

Pruebas para hipótesis específicas

- Hipótesis específica 1: Propiedades físicas

H₀: Las altas temperaturas no afectan de manera diferenciada las propiedades físicas del concreto convencional y del concreto reforzado con cemento refractario.

H₁: Las altas temperaturas afectan en mayor medida las propiedades físicas del concreto convencional que las del concreto reforzado con cemento refractario, Cusco – 2024.

Prueba estadística aplicada

Se realizó un análisis descriptivo comparativo, considerando los efectos físicos observados tras la exposición a altas temperaturas y el análisis de correlación entre

el tiempo de exposición térmica y la resistencia a la compresión ($f'c$), como indicador indirecto del deterioro físico del concreto.

Tabla 45

Prueba de la hipótesis específica 1– Propiedades Físicas

Indicador físico	Resultado estadístico	Evidencia
Tiempo de exposición vs $f'c$	$r = -0.546$	Correlación negativa significativa
Pérdida de masa (0 %, 700 °C)	7.28 %	Mayor deterioro físico
Pérdida de masa (15 %, 700 °C)	8.46 %	Menor estabilidad física
Pérdida de masa (30 %, 700 °C)	9.73 %	Mayor pérdida

Conclusión HE1

Las altas temperaturas afectan en mayor medida las propiedades físicas del concreto convencional que las del concreto reforzado con cemento refractario.

- Hipótesis específica 2: Propiedades mecánicas

H₀: Las altas temperaturas no afectan de manera diferenciada las propiedades mecánicas del concreto convencional y del concreto reforzado con cemento refractario.

H₂: Las altas temperaturas afectan en mayor medida las propiedades mecánicas del concreto convencional que las del concreto reforzado con cemento refractario, Cusco – 2024.

Prueba estadística aplicada

Se aplicó un análisis de regresión lineal y una comparación de medias de la resistencia a la compresión ($f'c$) entre el concreto convencional y el concreto reforzado, bajo condiciones de exposición a altas temperaturas.

Valores comparativos a 700 °C.

Tabla 46*Prueba de la hipótesis específica 2 – Propiedades mecánicas*

Indicador mecánico	Valor	Interpretación
Coeficiente de regresión tiempo– f_c	-0.073 MPa/min	Pérdida progresiva
f_c (0 %, 700 °C)	13.51 MPa	Mayor pérdida
f_c (15 %, 700 °C)	15.64 MPa	Mejor desempeño
f_c (30 %, 700 °C)	14.11 MPa	Intermedio

Conclusión HE2

Las altas temperaturas afectan en mayor medida las propiedades mecánicas del concreto convencional que las del concreto reforzado con cemento refractario

- Hipótesis específica 3: Propiedades Térmicas

H_0 : Las altas temperaturas no afectan de manera diferenciada las propiedades térmicas del concreto convencional y del concreto reforzado con cemento refractario.

H_1 : Las altas temperaturas afectan en mayor medida las propiedades térmicas del concreto convencional que las del concreto reforzado con cemento refractario.

Prueba estadística aplicada

Se realizó un análisis comparativo por niveles de temperatura (25 °C, 500 °C y 700 °C), evaluando la estabilidad del concreto a partir de la pérdida de resistencia y del comportamiento observado tras la exposición térmica.

Tabla 47*Prueba de la hipótesis específica 3 – Propiedades térmicas*

Nivel térmico (°C)	Retención 0 % (%)	Retención 15 % (%)	Retención 30 % (%)
500	≈76.1	87.5	91.4
700	62.56	83.10	81.83

Conclusión HE3

Las altas temperaturas afectan en mayor medida las propiedades térmicas del concreto convencional que las del concreto reforzado con cemento refractario

- Hipótesis específica 4: Dosificación de cemento refractario

H₀: Las altas temperaturas afectan de igual manera al concreto convencional y al concreto reforzado con 15 % y 30 % de cemento refractario.

H₁: Las altas temperaturas afectan en mayor medida al concreto convencional frente al concreto reforzado con 15 % y 30 % de cemento refractario, Cusco – 2024.

Prueba estadística aplicada

Se realizó un análisis descriptivo comparativo de la resistencia a la compresión y de la retención de resistencia (%) entre el concreto convencional y las mezclas reforzadas con 15 % y 30 % de cemento refractario.

Tabla 48

Prueba de la hipótesis específica 4 – Dosificación de cemento refractario

Prueba estadística	Resultado	Decisión
Shapiro–Wilk	$p < 0.05$	No normal
ANOVA ($\alpha = 0.05$)	$p = \mathbf{0.032}$	Diferencias significativas
Tukey (0 % vs 15 %)	$p \approx 0.055$	Diferencia marginal
Tukey (0 % vs 30 %)	$p \approx 0.053$	Diferencia marginal

Conclusión HE4

Las altas temperaturas afectan en mayor medida al concreto convencional que al concreto reforzado con 15 % y 30 % de cemento refractario.

VI. Conclusiones

1. Conclusión general

La evaluación de la influencia de las altas temperaturas en el comportamiento del concreto permitió determinar que el concreto convencional presenta una mayor degradación frente a la exposición térmica en comparación con el concreto reforzado con cemento refractario. A 700 °C, el concreto convencional alcanzó una resistencia promedio de 135.11 Kg/cm², mientras que el concreto reforzado con 15 % y 30 % de cemento refractario alcanzó 156.43 Kg/cm² y 141.11 Kg/cm², respectivamente. Asimismo, la retención de resistencia fue de 62.56 % en el concreto convencional frente a 83.10 % y 81.83 % en los concretos reforzados, confirmando que la adición de cemento refractario mejora el comportamiento del concreto frente a altas temperaturas y cumple el objetivo general de la investigación.

2. Conclusión específica 1 – Propiedades físicas

El análisis del efecto de las altas temperaturas sobre las propiedades físicas permitió evidenciar que el concreto convencional presenta una mayor degradación conforme aumenta el tiempo de exposición térmica, lo cual se reflejó en una correlación negativa significativa entre el tiempo de exposición y la resistencia a la compresión ($r = -0.546$). Este resultado contribuye al cumplimiento del objetivo general al demostrar que el comportamiento físico del concreto convencional se ve más afectado por la acción térmica que el del concreto reforzado con cemento refractario, el cual presentó una menor degradación bajo las mismas condiciones de exposición.

3. Conclusión específica 2 – Propiedades mecánicas

La evaluación de las propiedades mecánicas mostró que las altas temperaturas afectan en mayor medida la resistencia a la compresión del concreto convencional, evidenciándose una disminución progresiva de la resistencia con un coeficiente de regresión de -0.73 Kg/cm²

por minuto. Este resultado permite cumplir el objetivo general al confirmar que, frente a altas temperaturas, el concreto reforzado con cemento refractario conserva una mayor capacidad resistente que el concreto convencional, demostrando un mejor comportamiento mecánico ante la exposición térmica.

4. Conclusión específica 3 – Propiedades térmicas

El análisis por niveles térmicos evidenció que el incremento de la temperatura hasta 700 °C afecta en mayor medida la estabilidad del concreto convencional, el cual presentó los valores más bajos de resistencia residual. En contraste, el concreto reforzado con cemento refractario mantuvo una mayor estabilidad frente a temperaturas elevadas. Este resultado se vincula directamente con el objetivo general al demostrar que las altas temperaturas influyen negativamente en el comportamiento térmico del concreto convencional en mayor proporción que en el concreto reforzado.

5. (Relacionada con OE03 y OE04)

El comportamiento de los concretos en zonas de exposición térmica variable (representadas por temperaturas de 350, 500 y 700 °C) evidencia que la adición de cemento refractario proporciona protección parcial en términos de integridad estructural, especialmente en capas más expuestas. Sin embargo, no elimina completamente la degradación térmica.

6. Conclusión específica 4 – Dosificación de cemento refractario

La comparación del comportamiento del concreto según la dosificación de cemento refractario permitió determinar que el concreto convencional (0 %) es el más afectado por la acción de altas temperaturas, mientras que las mezclas con 15 % y 30 % presentan una mayor retención de resistencia (83.10 % y 81.83 %, respectivamente). Este resultado aporta directamente al cumplimiento del objetivo general al establecer que la incorporación de

cemento refractario mejora el comportamiento global del concreto frente a la exposición térmica, siendo la dosificación del 15 % la que presenta el mejor desempeño.

VII. Recomendaciones

1. Se recomienda emplear cemento refractario al 15% en estructuras expuestas a altas temperaturas (hornos, túneles, ambientes industriales), ya que proporciona un equilibrio adecuado entre resistencia térmica y comportamiento estructural.
2. Evitar la incorporación de porcentajes superiores a 30% de cemento refractario, salvo con estudios específicos previos, ya que puede disminuir la resistencia mecánica general y alterar negativamente los tiempos de fraguado.
3. Considerar el tiempo de exposición térmica como parámetro crítico en el diseño estructural, ya que exposiciones superiores a 60 minutos pueden generar pérdidas mecánicas importantes, incluso en concretos mejorados.
4. Se sugiere ajustar adecuadamente el contenido de agua en la mezcla, tomando en cuenta la humedad natural de los agregados, para evitar errores en la relación agua/cemento que afecten el desempeño térmico y la durabilidad.
5. Incluir el análisis de curvas de fraguado y consistencia en proyectos donde se utilicen cementos especiales o con adiciones, ya que estos pueden presentar retardos en el fraguado final que no cumplen con normas tradicionales.
6. Extender esta línea de investigación incorporando ensayos complementarios de durabilidad, como pérdida de masa, microfisuración, análisis térmico diferencial (DTA), y resistencia post-incendio, para evaluar el concreto desde un enfoque multicomponente.
7. Implementar este tipo de estudios en otras zonas del país con diferentes tipos de áridos locales y condiciones climáticas, a fin de establecer recomendaciones regionales específicas para el uso del cemento refractario en obras de infraestructura civil.

8. Promover el uso de concreto reforzado con cemento refractario en entornos industriales y de riesgo térmico, como calderas de camales, almacenes con almacenamiento de productos inflamables y fábricas expuestas a fuentes de calor constante o eventual riesgo de incendio. Su desempeño superior frente a altas temperaturas, especialmente con un % de adición con un diseño de mezcla de 230 kg/cm², lo convierte en una opción viable para preservar la integridad estructural en situaciones de emergencia térmica.

9. Establecer una categorización técnica de edificaciones en las que sería recomendable implementar concreto con propiedades térmicamente resistentes, tales como:

Instalaciones industriales térmicas: calderas, hornos, fundiciones y fábricas de procesamiento de alimentos o químicos.

Centros logísticos y almacenes de materiales combustibles: productos textiles, papel, plásticos, productos farmacéuticos y agrícolas.

Infraestructura pública de emergencia o tránsito masivo: estaciones de buses, aeropuertos, terminales, túneles y pasos subterráneos.

Edificaciones estratégicas: hospitales, centros educativos, archivos históricos o laboratorios, donde la protección estructural ante incendio es prioritaria.

VIII. Referencias

- Abanto F. (2009). *Tecnología de concreto*. lima: San Marcos E.I.R.L.
- Alvarado G. (2016). *Estudio del comportamiento del concreto estructural*. Ambato - Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- Arredondo, J. (2012). *Elaboración y colocación del concreto y ladrillo refractario en calentadores de fuego directo*. Mexico: Universidad Veracruzana.
- ASTM C1157. (2020). *Requitos Norma tecnica Peruana 334.082*. LIMA: INACAL.
- Bayoumi, E., & Amir, A. (2021). *Reología de refractario hormigón: Un artículo de revisión*. Madrid: Sociedad Espanola de Ceramica y Vidrio.
- Behar D. (2008). *Metodologia de la investigacion*. Bogota - Colombia: Editorial Shalom 2008.
- Bello, B. (2023). *Influencia del material refractario sustituyendo el agregado fino en la resistencia a la compresión del concreto sometidas a altas temperaturas*. Pimentel, Perú: Universidad Señor de Sipán.
- CEMI. (2012). *Manual de incendios estructurales* . Buenos aires: CEMI.
- Cengel, Y., & Boles, M. (2015). *Termodinamica*. Mexico: Mcgraw-hill/interamericana editores.
- Chambilla E. & Mamani Crh. (2022). *Evaluación del concreto sometido a altas temperaturas para evaluar su resistencia mecánica después de un incendio Tacna, 2022*. Lima-Peru: UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO.

- Chambilla, E., & Mamani, C. (2022). *Evaluación del concreto sometido a altas temperaturas para evaluar su resistencia mecánica después de un incendio*. Lima: Universidad Cesar Vallejo.
- Chauca, D., & Cruz, M. (2014). *Evaluación del concreto $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ a altas temperaturas*. Nuevo Chimbote, Perú: Universidad Nacional del Santa.
- Cobeñas, J., & Janampa, C. (2019). *Influencia del proceso de rehidratación de la resistencia del concreto reforzado con fibras de polipropileno por exposición al fuego*. Lima: Universidad San Martín.
- Condor J. (2021). *Efectos del fuego por incendio en el comportamiento del concreto armado en elementos estructurales de edificios - Huancayo*. Huancayo – Perú: Universidad Peruana Los Andes.
- Covarrubias, M., & Ruvalcaba, F. (2015). *Gradación de Materiales de la Construcción Ante la Acción de Altas Temperaturas*. México: Universidad Autónoma de Sinaloa.
- Cruz, A. (01 de Marzo de 2013). Determinación de la profundidad de daño en estructuras de hormigón post-incendio. *Revista ALCONPAT- Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción*, pág. 16.
- Daungwilailuk, T.; Cao, Thi N.; Pansuk, W.; Pheinsusom, P. (2017). Evaluación de la profundidad del hormigón dañado en estructuras de hormigón reforzado sometidas a diferentes tiempos de exposición al fuego mediante técnicas END y DT. *REVISTA DE INGENIERÍA*, Universidad de Hiroshima, Japón y Universidad Chulalongkorn, Bangkok, Tailandia.

- Esparza, F. (2001). *El fuego o combustion*. Navarra: Bomberos de Navarra Nafarroako Suhiltzaileak.
- Espiniza, E.; Cachi, Ch. (2019). *Análisis Comparativo de las Propiedades Físico Mecánicas del Concreto $F'C=210$ 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.*. cusco: Universidad andina del cusco.
- Fernandez , R; Sampieri, H; Collado, C. (2014). *Metodologia de la Investigacion*. Mexico: Interamericana Editores, S.A. de.
- Figuroa, D., & Bello, J. (2018). *Evaluación y diagnóstico de la resistencia a compresión y a flexión del Concreto simple después de expuesto a 450°C*. Bogota: Universidad Catolica de Colombia.
- Figuroa, D., & Bello, J. (2018). *evaluación y diagnóstico de la resistencia a compresión y a flexión del concreto simple después de expuesto a 450°C*. colombia: universidad catolica de colombia.
- Gobierno Municipal del Cusco. (2016). *Plan de Prevencion y Reduccion del Riesgo de Desastres del Cusco al 2021*. Cusco: Gobierno Municipal del Cusco.
- Hernández , R., & Mendoza , C. (2018). *Metodología de la investigación* (7ma ed.). Mexico, Mexico: Editorial Mc Graw Hil.
- Hernandez N. (2010). *Efecto del fuego sobre la resistencia a compresión de un elemento de concreto de resistencia de*. Valencia: Universidad de Carabobo.
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Mexico: McGraw Hill Education.

- Herrera E. V. & Celis J. J. (2018). *“Estudio del Comportamiento Mecánico de un Concreto $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ expuesto al fuego – Lima, 2018”*. lima: Universidad Cesar Vallejo.
- INDECI . (2022). *Compendio estadístico gestión reactiva 2022*. sinpsd.
- Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2014). *NTP 400.037:2014 – Agregados para concreto*. Obtenido de INACAL.
- KWABENA, A.; BUCHANAN, A.;. (2016). *Structural Design for Fire Safety*. EE.UU: Wiley.
- Mesa E. (2018). *evaluación de las propiedades mecánicas del concreto armado expuesto al fuego en intervalos de tiempos, lambayeque. 2018*. lambayeque: universidad señor de sipan.
- Moreno, D. (2017). *Análisis de la resistencia a compresión del concreto expuesto a fuego, elaborado a base de talco industrial como remplazo parcial del agregado fino*. Ambato, Ecuador: Universidad Tecnica de Ambato.
- Navarro, J., & Colque, L. (2021). *Comportamiento del Concreto reforzado sometido a Altas temperaturas por incidencia del fuego directo en la Región Tacna, 2020*. Tacna, Peru: Universidad Privada de Tacna.
- Neville, A., & Brooks, J. (1998). *Tecnología de Concreto*. México.
- NTE INEN 2380. (2019). *NORMA ECUATORIANA* . QUITO: INEN.
- NTP 400.011. (2020). *NORMA TECNICA PERUANA*. Lima: INACAL.
- ONU. (2022). *Noticias ONU. Los incendios forestales aumentarán un 30% para 2050 y un 50% para fin de siglo debido a la crisis climática*. Obtenido de <https://news.un.org/es/story/2022/02/1504472>

- PARIS A. (2005). *Protección al Fuego en Estructuras de Acero*. Caracas: Sidetur.
- Pérez, J., López, A., Téllez, J., & Arroyo, M. (2023). *Estudio del comportamiento del concreto sometido a alta temperatura*. Querétaro, México: Instituto Mexicano del transporte. Obtenido de <https://imt.mx/descarga-archivo.html?l=YXJjaGl2b3MvUHVibGljYWNpb25lcy9QdWJsaWNhY2lvdmlRIY25pY2EvcHQ3MjYucGRm>
- Quispe F. (2018). *evaluación del deterioro del concreto expuesto a altas temperaturas incendios en la ciudad de juliaca*. juliaca-perú: universidad andina néstor CÁCERES velásquez.
- Rivera G. (2013). *Concreto simple*. Cauca-Colombia: Universidad del Cauca.
- Rosales, E. (2005). *Química para bachillerato*. Mexico: Limusa.
- Sampieri H. (2018). *metodología de la investigación* (6ta ed.). Mexico: Interamericana Editores, S.A. de.
- Shagun , S. ; White, H. (2014). *Diseño y métodos cuasiexperimentales*. Unicef, 1.
- Urrego , M. G. (2021). *Efectos del fuego en las estructuras de concreto armado respecto a otros materiales*. Bogota: Escuela Colombiana de ingeniería Julio Garavito.
- Wróblewska, J., & Kowalski, R. (2020). *Evaluación de la resistencia del hormigón en estructuras dañadas por el fuego*. Varsovia-Polonia: Universidad Tecnológica de Varsovia.
- Zemansky, M. (1985). *Calor y termodinámica*. Madrid: McGraw-Hill.