

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Influencia del tiempo de exposición al fuego en la
resistencia del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, con
aditivo de acelerador de fragua, Cusco, 2024**

Elias Saldivar Quispe
Antony Stheven Castillo Layme

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil

Cusco, 2025

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Eigner Roman Villegas
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 23 de Julio de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

“Influencia del tiempo de exposición al fuego en la resistencia del concreto $f'c=210$ kg/cm², con aditivo de acelerador de fragua, Cusco, 2024”

Autor:

1. ANTONY STHEVEN CASTILLO LAYME – EAP. Ingeniería Civil
2. ELIAS SALDIVAR QUISPE – EAP. Ingeniería Civil

Se procedió con la carga del documento a la plataforma “Turnitin” y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 17 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- | | | |
|---|--|-----------------------------|
| • Filtro de exclusión de bibliografía | SI ☒ | NO ☐ |
| • Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas (en caso de elegir “SI”):20 | SI ☒ | NO ☐ |
| • Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante | SI ☒ | NO ☐ |

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

DEDICATORIA

Dedicamos esta tesis a quienes han sido nuestro mayor sostén y fuente de inspiración.

A nuestros padres, por su amor incondicional, su guía y los valores que nos inculcaron desde siempre. Gracias por enseñarnos la importancia de la perseverancia, por motivarnos a ser mejores cada día y por crees en nosotros cuando nosotros mismo dudamos. Su apoyo ha sido fundamental en cada paso de este camino y ha sido el impulso de nos permitió llegar hasta aquí. Nos han brindado apoyo incondicional, nos han inspirado a perseguir nuestros sueños, cuidar nuestro progreso y desarrollo profesional.

A nuestros hermanos, quienes siempre nos apoyaron en diversas situaciones de la vida y nos brindaron comprensión y consejos para alcanzar mis objetivos personales y profesionales.

A nuestros profesores, quienes con sus conocimientos enseñaron con paciencia, dedicación y apoyo incondicional me permitieron desenvolverme en mi actividad profesional.

AGRADECIMIENTO

A DIOS, por habernos permitido lograr un objetivo más, gracias al apoyo incondicional de nuestra familia, el esfuerzo y la fuerza necesaria que nos brindaron para lograr nuestros objetivos.

También, estoy agradecido con los ingenieros magísteres que formaron parte de mi desarrollo de tesis, por sus consejos, críticas constructivas en el desarrollo y manejo de este importante trabajo para mi desarrollo profesional.

Finalmente, agradecer a mi familia y amigos que contribuyeron en la realización de esta tesis por estar siempre ahí, aconsejándome y buscando lo mejor para mí.

ÍNDICE

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
RESUMEN	6
ABSTRACT.....	7
INTRODUCCIÓN	8
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	10
1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	10
1.1.1 Planteamiento del problema.....	10
1.1.2 Formulación del problema	12
1.2 OBJETIVOS.....	12
1.2.1 Objetivo General.	12
1.2.2 Objetivos Específicos.....	12
1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	13
1.3.1 Justificación de la Investigación	13
1.3.2 Importancia de la Investigación.....	15
1.4 Alcances y limitaciones de la investigación.....	15
1.5 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.5.1 Hipótesis General	15
1.5.2 Hipótesis específicas	16
1.5.3 Variables e Indicadores	16
MARCO TEÓRICO.....	18
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	18
2.1.1 Antecedentes Internacionales.....	18
2.1.2 Antecedentes nacionales	20
2.2 BASES TEÓRICAS.....	23
2.2.1 Concreto	23
2.2.2 Efectos del fuego en los materiales de construcción.....	24
2.2.3 Exposición al fuego.....	28
2.2.4 Respuesta física y química al fuego.	30
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	33
3.1 Método y alcance de la investigación	33
3.1.1 Método de investigación	33
3.1.2 Tipo de investigación.....	33
3.1.3 Enfoque de la investigación	33
3.1.4 Diseño de investigación	34
3.1.5 Nivel de investigación.....	34

3.2	POBLACIÓN Y MUESTRA	35
3.2.1	Población	35
3.2.2	Muestra	36
3.2.3	Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	42
	Proceso de toma de datos	42
	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	45
4.1	DESCRIPCIÓN DE ZONA DE ESTUDIO	45
4.1.1	Generalidades de la zona de estudio	45
	El ámbito del desarrollo de este trabajo fue en la ciudad de Cusco, realizando las siguientes actividades:.....	45
4.1.2	Diseño de mezclas de concreto	47
4.1.3	Granulometría de agregado finos y grueso.....	52
4.1.4	Peso unitario y vacíos del agregado grueso y fino	54
4.1.5	Peso específico y absorción de agregados gruesos ASTM C-127.....	57
4.2	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	89
	CAPÍTULO V	91
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	91
5.1	CONCLUSIONES	91
5.2	RECOMENDACIONES	93
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94
	ANEXOS	96

RESUMEN

La presente investigación abordó el tema de la influencia del fuego en la resistencia del concreto con una resistencia característica de $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, considerando diferentes tiempos de exposición y el uso de acelerante de fragua. Esto se justifica debido a que Perú es uno de los países que enfrenta serios problemas de reconstrucción después de incendios en edificaciones de concreto. Por tal motivo, resulta prioritario determinar a qué temperatura y por cuánto tiempo puede estar expuesta una edificación antes de decidir su reconstrucción o demolición.

El objetivo de este estudio fue determinar la influencia de la temperatura y el uso de acelerante de fragua en la resistencia a la compresión del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, en condiciones experimentales con acelerante de fragua-Cusco-2024. Para ello, se sometieron muestras de concreto a temperaturas de hasta 300°C , de 300°C a 500°C , de 500°C a 700°C y de 700°C a 900°C , evaluando su comportamiento a distintos tiempos de exposición.

La investigación tuvo un enfoque cuantitativo y un diseño experimental descriptivo. Los resultados obtenidos demostraron que a partir de los 300°C la resistencia a la compresión del concreto disminuye de manera significativa, siendo este efecto más notorio a medida que la temperatura aumenta. Asimismo, se evidenció que el uso de acelerante de fragua, si bien mejora la resistencia inicial del concreto, reduce su comportamiento estructural frente a altas temperaturas, acelerando la pérdida de resistencia bajo exposición térmica directa.

Se concluye que el fuego a más de 300°C resulta perjudicial para el concreto, y que el empleo de acelerante de fragua disminuye su resistencia considerablemente cuando es sometido a condiciones de incendio.

Palabras claves: Fuego en edificaciones, acelerador de fragua, incendios.

ABSTRACT

This research addressed the influence of fire on the strength of concrete with a characteristic strength of $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, considering different exposure times and the use of a setting accelerator. This is justified because Peru is one of the countries facing serious reconstruction problems after fires in concrete buildings. Therefore, it is essential to determine the temperature and duration to which a building can be exposed before deciding whether to rebuild or demolish it.

The objective of this study was to determine the influence of temperature and the use of setting accelerator on the compressive strength of concrete ($f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$) under experimental conditions with setting accelerator (Cusco-2024). To this end, concrete samples were subjected to temperatures up to 300°C , from 300°C to 500°C , from 500°C to 700°C , and from 700°C to 900°C , and their behavior was evaluated at different exposure times.

The research used a quantitative approach and a descriptive experimental design. The results showed that the compressive strength of concrete decreases significantly above 300°C , with this effect becoming more noticeable as the temperature increases. It was also shown that the use of a setting accelerator, while improving the initial strength of concrete, reduces its structural behavior at high temperatures, accelerating the loss of strength under direct thermal exposure.

It is concluded that fire at temperatures above 300°C is harmful to concrete, and that the use of setting accelerator considerably reduces its strength when subjected to fire conditions.

Keywords: Fire in buildings, setting accelerator, fires.

INTRODUCCIÓN

Los incendios son eventos fortuitos que pueden ocurrir en cualquier momento y sin previo aviso, afectando distintas ubicaciones con intensidades impredecibles. En el contexto de la construcción de edificaciones, representan un riesgo significativo tanto para las personas como para las estructuras, independientemente del material empleado en su edificación (1).

La estabilidad estructural de una construcción se ve comprometida por la exposición al fuego y a temperaturas superiores a 600°C, lo que puede provocar daños irreparables en los materiales. En el caso de Perú, la frecuencia de incendios es un factor preocupante debido al limitado número de compañías de bomberos y a la escasa cantidad de efectivos por kilómetro cuadrado, lo que dificulta la respuesta oportuna ante estos eventos (2).

Según información proporcionada por el Cuerpo General de Bomberos Voluntarios del Perú (CGBVP), en el período comprendido entre 2018 y 2023, se ha registrado un promedio de aproximadamente cuatro mil incendios anuales a nivel nacional, con una tendencia creciente (3). Esta situación evidencia la alta probabilidad de ocurrencia de incendios en cualquier momento y lugar dentro del territorio peruano.

El presente estudio se enfoca en evaluar si las estructuras de concreto afectadas por incendios pueden ser reparadas y reutilizadas con garantía de seguridad, asegurando que puedan soportar las cargas vivas y muertas para las cuales fueron diseñadas. Además, se considera el impacto del uso de aditivos en los elementos estructurales, ya que su empleo en la actualidad es cada vez más común. En particular, los aceleradores de fragua han sido ampliamente utilizados para reducir los tiempos de resistencia máxima del concreto. Sin embargo, se requiere un análisis detallado para determinar si estos aditivos influyen en la estabilidad final de una estructura tras un incendio (4). En este contexto, el Capítulo I de la presente investigación desarrolla inicialmente la formulación del problema, comenzando con el enunciado del problema general y, seguidamente, los problemas específicos. Se sustenta la

relevancia e importancia del estudio, apoyándose en antecedentes de investigaciones realizadas a nivel nacional y regional. Asimismo, se precisan los alcances del estudio y las limitaciones que pueden surgir durante su ejecución. Además, se plantea la hipótesis general y las hipótesis específicas correspondientes. Finalmente, se definen de manera clara la población y muestra, así como las técnicas e instrumentos de recolección de datos, describiendo también el procedimiento que se seguirá para el procesamiento y análisis de la información recolectada. En el Capítulo II, se desarrolla el marco teórico, en el cual se integran los antecedentes relevantes tanto a nivel internacional como en el ámbito local, vinculados con el tema de investigación. Asimismo, se abordan las bases teóricas fundamentales, tales como las propiedades del concreto, los efectos del fuego sobre los materiales de construcción, la exposición térmica, así como la respuesta física y química del concreto al fuego. También, se describe la base de datos que servirá de soporte para el desarrollo de los análisis posteriores. El Capítulo III expone detalladamente la metodología de la investigación, especificando el tipo de estudio, la población y muestra considerada, así como el proceso de recolección de datos. En el Capítulo IV, se efectúa el análisis e interpretación de los resultados, centrando la atención en la variación de la resistencia a compresión y flexión del concreto expuesto a diferentes niveles de temperatura originados por el fuego directo. Se determina, además, la temperatura crítica a partir de la cual se debe considerar la reconstrucción o demolición de los elementos estructurales afectados. Finalmente, se formulan las conclusiones en relación con los problemas e hipótesis planteadas en la etapa inicial del estudio.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1 Planteamiento del problema

En el Perú y en la ciudad del Cusco, a lo largo de los años, se han registrado múltiples incendios tanto en zonas urbanas como en áreas rurales. Estos siniestros, caracterizados por la exposición de edificaciones al fuego y temperaturas extremas, generan significativas pérdidas materiales y humanas y Según las estadísticas nacionales de incendios urbanos e industriales.

Entre 2003 y 2015, el Instituto Nacional de Defensa Civil (Indeci) registró 17 903 incendios urbanos e industriales en todo el país — un promedio de aproximadamente 17.5 incendios por mes, de ese total, 2 723 siniestros (15 %) ocurrieron en Lima, la ciudad más afectada.

Estos datos ofrecen un panorama general del comportamiento histórico de los incendios urbanos, aunque no desglosan específicamente el tipo de edificaciones afectadas por material constructivo

Entre los desastres ocurridos, destacan los incendios del Centro Comercial “Mesa Redonda” en Lima, el 29 de diciembre de 2001, y el del 19 de abril de 2019. En el primero, se registraron 277 fallecidos, 247 heridos y una millonaria pérdida económica (5). En el incendio de 2019, 30 inmuebles fueron destruidos, afectando aproximadamente el 30% de la manzana conformada por los jirones Paruro, Santa Rosa, Andahuaylas y Cusco (6). Estos eventos demuestran que los incendios pueden ocurrir en cualquier momento y lugar.

Se tiene incendios recientes y colapsos en edificios de concreto, así como del mes de marzo de 2025, un incendio en Mesa Redonda, Lima provocó el colapso de al

menos cuatro edificios, usados como almacenes, y puso en riesgo otros dos. Aunque no se especifica que las estructuras fueran de concreto armado, su derrumbe resalta la vulnerabilidad de construcciones informales. apnews.com

En edificaciones de concreto que han estado expuestas a temperaturas superiores a 700°C, surge la incertidumbre sobre si deben ser demolidas o reparadas. En algunos casos, se opta por la reparación sin evaluar adecuadamente los riesgos que implica el debilitamiento estructural (7).

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), las construcciones clasificados como “Resistentes al fuego” o “Semirresistentes” deben garantizar una resistencia mínima de entre 1 y 4 horas en elementos estructurales (columnas, vigas).

A pesar de esta normativa, los gráficos estructurales apuntan a que un 45 % de las edificaciones aseguradas son de concreto armado (y representan el 63.7 % del valor asegurado), lo que refleja su preponderancia en el parque edifica.

Por ello, resulta crucial analizar la alteración de la resistencia a la compresión y otras propiedades del concreto cuando se emplean aditivos aceleradores de fragua y se expone a temperaturas elevadas durante períodos prolongados. En el presente estudio, se busca determinar en qué porcentaje disminuye la resistencia del concreto tras su exposición prolongada al fuego, altas temperaturas y la aplicación de aceleradores de fragua.

1.1.2 Formulación del problema

1.1.2.1 Problema general

¿De qué manera influye el tiempo de exposición al fuego en la resistencia del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, con aditivo de acelerador de fragua, Cusco, 2024?

1.1.2.2 Problemas específicos.

¿De qué manera influye el tiempo de exposición al fuego en la resistencia a flexión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, Cusco, 2024?

¿De qué manera influye el tiempo de exposición al fuego en la resistencia a la compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, Cusco, 2024?

¿De qué manera influye el tiempo de exposición al fuego en la resistencia a flexión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con aditivo de acelerador de fragua, Cusco, 2024?

¿De qué manera influye el tiempo de exposición al fuego en la resistencia a la compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, con aditivo acelerador de fragua, Cusco, 2024?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General.

Determinar la influencia del tiempo de exposición al fuego en la resistencia del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, con aditivo de acelerador de fragua, Cusco, 2024

1.2.2 Objetivos Específicos.

Determinar la influencia del tiempo de exposición al fuego en la resistencia a flexión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, Cusco, 2024

Determinar la influencia del tiempo de exposición al fuego en la resistencia a la

compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, Cusco, 2024

Determinar la influencia del tiempo de exposición al fuego en la resistencia a flexión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, con aditivo acelerador de fragua, Cusco, 2024

Determinar la influencia del tiempo de exposición al fuego en la resistencia a la compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, con aditivo acelerador de fragua, Cusco, 2024

1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Justificación de la Investigación

La presente investigación sirve para generar información sobre la influencia que tiene la exposición del fuego a estructuras de concreto armado, en lo que se refiere a la disminución de su resistencia a la generación de rajaduras y fisuras, así como, principalmente, si esa estructura puede seguir funcionando como parte de una edificación de concreto armado con seguridad para las personas que viven en esa edificación.

La forma más adecuada para evaluar los efectos de la exposición a altas temperaturas sobre la resistencia a la flexión del concreto armado consiste en someter directamente elementos estructurales a dichas condiciones térmicas. Diversas investigaciones han demostrado que tanto el concreto como el acero experimentan una pérdida significativa de sus propiedades mecánicas cuando son expuestos a elevadas temperaturas. Sin embargo, la interacción entre ambos materiales dentro del elemento estructural puede atenuar parcialmente dicha pérdida de resistencia. A pesar de ello, persiste una incertidumbre técnica respecto al comportamiento real del concreto armado frente a la flexión bajo condiciones térmicas extremas.

Esta incertidumbre constituye el problema de investigación, el cual se aborda mediante la exposición de un conjunto de vigas de concreto armado a altas temperaturas, mientras que otro grupo idéntico se mantiene como muestra de control, sin exposición térmica. Posteriormente, ambos conjuntos son ensayados mecánicamente para determinar su resistencia a la flexión y a la compresión, comparando los resultados obtenidos.

El propósito principal de este estudio es analizar el impacto de las altas temperaturas en la resistencia mecánica del concreto armado, tanto a flexión como a compresión, con el fin de optimizar el procedimiento de evaluación estructural y obtener resultados más confiables, así como representativos del comportamiento real del material en condiciones extremas.

Justificación aplicativa o práctica

Se busca analizar la acción del fuego en estructuras de concreto armado con aditivos aceleradores de fragua y así poder tomar decisiones sobre las edificaciones que han sufrido eventos de incendio, si se puede reparar o se tiene que demoler.

Justificación académica

Esta investigación servirá como base de futuras investigaciones, que tengan como objetivo, mejorar la calidad del concreto que están en contacto o expuestos a fuego directo.

Justificación social

El presente estudio sirve para incrementar la seguridad de las personas que habitan en edificaciones que han sufrido incidentes de incendios y además tomar decisiones si la edificación después de un evento de incendio se puede reparar o no queda otra que demoler.

1.3.2 Importancia de la Investigación

La importancia de este trabajo de investigación radica en conocer en qué tiempo de los incendios de edificaciones de concreto y a qué temperatura. Se debe tomar la decisión de demoler o reconstruir la edificación de concreto sometida a siniestros de incendio.

1.4 Alcances y limitaciones de la investigación

Las limitaciones que se puede observar son:

La experimentación se realizó con concreto solamente, no se tomó en consideración del fierro de construcción

Los ensayos fueron con briquetas de concreto fueron en tamaño estándar 15 cm de diámetro con 30 cm de altura y en caso de los especímenes de concreto de tipo viga con dimensiones reducidas de 8 cm de ancho, 12 cm de altura y 60 cm d largo construidas en laboratorio; no se realizó la experimentación en una estructura real.

Se utilizó un solo acelerante de fragua en marca sika en la elaboración de los testigos, con una dosificación que la ficha técnica 1.5 % del peso del cemento normalmente 1.5%.

Para la simulación del incendio, se utilizó un horno industrial de combustión controlada, originalmente diseñado para procesos de incineración, adaptado en este caso para ensayos de resistencia térmica, para las muestras de concreto, lo cual cuenta con un termómetro de resistencia tipo (RTD) con lectura diguita.

1.5 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 Hipótesis General

Existe influencia significativa del tiempo de exposición al fuego en la resistencia del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con aditivo acelerador de fragua, Cusco, 2024.

1.5.2 Hipótesis específicas

Existe influencia significativa del tiempo de exposición al fuego en la resistencia a flexión del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, Cusco, 2024.

Existe influencia significativa del tiempo de exposición al fuego en la resistencia a la compresión del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, Cusco, 2024

Existe influencia significativa del tiempo de exposición al fuego en la resistencia a flexión del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con aditivo acelerador de fragua, Cusco, 2024

Existe influencia significativa del tiempo de exposición al fuego en la resistencia a la compresión del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con aditivo acelerador de fragua, Cusco, 2024

1.5.3 Variables e Indicadores

Variable dependiente:

Resistencia a la compresión:

Corresponde a la propiedad mecánica fundamental del concreto, y representa su capacidad para soportar cargas aplicadas axialmente sobre una unidad de área. Se expresa en términos de esfuerzo y se mide comúnmente en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm^2), megapascuales (MPa) o, en algunos casos, en libras por pulgada cuadrada (psi).

Resistencia a la flexión:

Hace referencia a la capacidad del concreto para resistir esfuerzos de tracción indirectos, especialmente aquellos generados por momentos flectores. Es un indicador del comportamiento estructural de vigas o losas no reforzadas frente a fallas por flexión.

Variable independiente:

Tiempo de exposición al fuego: Es el intervalo de tiempo durante el cual un material o elemento estructural está sometido directamente a la acción del fuego o a temperaturas

elevadas generadas por un incendio. Este tiempo es un factor determinante en la evaluación del deterioro térmico y la pérdida de propiedades mecánicas de los materiales, como el concreto, ya que, a mayor duración de exposición, mayor será el grado de degradación estructural.

Aditivos aceleradores de fragua: Son sustancias químicas que se incorporan al concreto o mortero durante el mezclado con el fin de reducir el tiempo de fraguado inicial y/o final del cemento. Su función principal es acelerar las reacciones de hidratación del cemento, permitiendo que la mezcla alcance rápidamente una resistencia inicial adecuada. Estos aditivos son especialmente útiles en condiciones de baja temperatura, en obras que requieren desmoldeo rápido o en situaciones donde se necesita una puesta en servicio acelerada de los elementos estructurales.

Tabla 1. *Variable dependiente e independiente.*

VARIABLES	INDICADORES	UNIDADES
VARIABLE DEPENDIENTE	INDICADOR	
Resistencia a la compresión	Fuerza de compresión	N
	Área de contacto	cm ²
Resistencia a la flexión	P= Carga de rotura (en N).	N
	L= Tramo efectivo de la viga (400 mm).	cm
	b= Ancho de la viga (100 mm).	cm
VARIABLE INDEPENDIENTES	INDICADOR	
Tiempo de exposición al fuego:	Tiempo	min
Aditivo acelerador de fragua:	Aditivo acelerador de fragua	gr

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Según el investigador (8), Se llevó a cabo un estudio sobre el efecto de las altas temperaturas en las propiedades mecánicas del concreto reforzado con diferentes proporciones de fibras, en el cual se evaluó el comportamiento de especímenes expuestos a un rango térmico comprendido entre 25 °C y 750 °C. Las mezclas de concreto se elaboraron variando el contenido de fibras metálicas con el objetivo de analizar su influencia en la respuesta estructural frente al calor. Para la caracterización de las propiedades a tracción, se empleó el ensayo de división por cuña de doble filo, el cual se validó como una herramienta eficaz para estudiar el comportamiento post-fisuración del concreto reforzado sometido a temperaturas elevadas. Los resultados mostraron que, al aumentar el contenido de fibras de acero, se atenúa la tasa de degradación tanto en la resistencia a la compresión como en la tracción, después de la exposición térmica. No obstante, se observó que las pérdidas de resistencia a la compresión y de módulo elástico fueron más severas que las estimadas por las normas europeas vigentes. Asimismo, las propiedades de tracción se redujeron considerablemente para temperaturas iguales o superiores a 450 °C, lo que resalta la necesidad de revisar los límites normativos actuales frente a este tipo de solicitaciones térmicas.(15).

Según el investigador (9), en el contexto de la sostenibilidad en la construcción, se realizó un estudio comparativo sobre las propiedades mecánicas y la resistencia a altas temperaturas del concreto autocompactante elaborado con distintos tipos

de áridos reciclados. Se parte del reconocimiento de que las actividades de construcción y demolición generan grandes volúmenes de residuos que pueden ser reutilizados como agregados. Si bien la sustitución de agregados naturales por reciclados suele afectar negativamente el desempeño del concreto convencional, este impacto se ve mitigado en el caso del concreto autocompactante, debido a la mayor calidad del aglomerante y la menor proporción de árido grueso, lo cual mejora la zona de transición interfacial.

A pesar de la diversidad de fuentes de agregados reciclados —como concreto, ladrillos y bloques— existen pocos estudios comparativos centrados en su uso dentro del concreto autocompactante. Considerando que este tipo de concreto se aplica frecuentemente en edificaciones de gran altura, las cuales están expuestas a riesgos térmicos severos, resulta crucial evaluar su comportamiento frente a temperaturas elevadas. En esta investigación, se analizaron tres tipos de agregados reciclados: agregado de concreto reciclado (RCA), agregado de ladrillo reciclado (RBA) y agregado de bloque de concreto reciclado (CBA). Se encontró que el reemplazo total (100%) por RCA y CBA en el concreto autocompactante es técnicamente viable, ya que las pérdidas de resistencia son mínimas. De manera significativa, los concretos elaborados con RBA y CBA superaron el desempeño del concreto con agregado natural cuando fueron expuestos a temperaturas de 400 °C y 600 °C. Aunque el concreto con RBA presenta menor desempeño a temperatura ambiente, se destaca su adecuado comportamiento térmico, por lo que se recomienda su uso parcial en sustitución del agregado natural, especialmente en estructuras expuestas a ambientes de altas temperaturas (10).

En una revisión sobre las propiedades mecánicas y microestructurales del

concreto reforzado sometido a altas temperaturas, se destaca que los daños a nivel macroscópico pueden identificarse mediante la degradación de propiedades mecánicas clave, como la disminución de la resistencia a la compresión, pérdida de masa, variaciones en el módulo elástico y reducción de la adherencia entre el acero y el concreto. Entre los efectos visibles, se mencionan las fisuras superficiales o macrogrietas y el desconchamiento del recubrimiento del concreto, fenómenos que suelen manifestarse de manera notoria a partir de exposiciones térmicas superiores a 300 °C. Se observa que la resistencia a la compresión presenta una leve disminución hasta los 400 °C, pero al alcanzar los 600 °C, esta pérdida se vuelve exponencial, comprometiendo gravemente el desempeño estructural del material. Un parámetro crítico adicional es la degradación de la resistencia de la unión acero-concreto, el cual tiene implicancias directas en la durabilidad de los elementos estructurales. Para comprender plenamente este deterioro, es necesario analizar, también, los cambios a nivel microestructural que sufre el concreto al ser expuesto al calor. La deshidratación de los productos de hidratación (como el gel C-S-H, el hidróxido de calcio (CH), el cemento no hidratado y el agua capilar) conduce a una alteración progresiva de la microestructura, afectando negativamente sus propiedades mecánicas y generando pérdidas de masa. Estos procesos explican la degradación observada en los ensayos a distintas temperaturas, y refuerzan la necesidad de considerar el comportamiento térmico del concreto no solo desde una perspectiva mecánica, sino también microestructural.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Según el investigador (11), en la Universidad Nacional del Santa se desarrolló la investigación titulada “Evaluación del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ a altas temperaturas”, cuyo objetivo principal fue analizar el comportamiento del concreto de resistencia característica

$f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ frente a condiciones de exposición térmica elevada. Para ello, se trabajó con una muestra conformada por 36 probetas cilíndricas de concreto, elaboradas con un diseño de mezcla en proporciones porcentuales de 14.65 % de cemento, 29.74 % de agregado fino, 43.22 % de agregado grueso, y 12.39 % de agua. Las muestras fueron sometidas a temperaturas de 500 °C, 550 °C, 600 °C, 650 °C, 700 °C, 750 °C y 800 °C, durante intervalos de exposición que variaron desde 30 minutos hasta 3 horas y media. Los resultados permitieron extraer las siguientes conclusiones relevantes:

- La falla estructural del concreto por acción del fuego se origina principalmente por la contracción de la pasta cementante y la expansión térmica del agregado, producto de su composición mineralógica, lo cual provoca grietas y desprendimientos superficiales (descascaramiento).
- La pérdida de humedad en la pasta, como consecuencia directa de la exposición al calor, tiene un efecto significativo en la reducción de la resistencia mecánica del concreto.
- Las muestras menos afectadas estructuralmente fueron aquellas expuestas a temperaturas inferiores dentro del rango estudiado, mostrando una mejor conservación de sus propiedades.
- Se observó que el concreto sufre alteraciones dimensionales, producto de los procesos de expansión y contracción térmica de sus componentes internos al estar expuestos a temperaturas elevadas (4). En la Universidad Nacional de Ingeniería, se llevó a cabo la investigación titulada “Evaluación de la resistencia mecánica del concreto sometido a altas temperaturas por incidencia del fuego directo”, cuyo objetivo principal fue analizar el efecto del fuego directo sobre las propiedades mecánicas y la estructura física del concreto convencional. El estudio se centró en tres relaciones agua/cemento (a/c): 0.60,

0.65 y 0.70, y se evaluaron los efectos térmicos a través de ensayos de resistencia a la compresión y del módulo de elasticidad, en tiempos de exposición de 1, 2 y 3 horas.

Los principales hallazgos fueron los siguientes:

- En cuanto a la resistencia a la compresión, se observó una degradación progresiva conforme aumentó el tiempo de exposición. Para la relación $a/c = 0.60$, la pérdida fue de 20.6 % a 1 hora, 32.1 % a 2 horas y 71.5 % a 3 horas. Para la relación $a/c = 0.65$, las pérdidas fueron de 50.1 %, 79.1 % y 83.9 %, respectivamente. En tanto que, para la relación $a/c = 0.70$, se registraron pérdidas de 53.3 %, 72.3 % y 82.5 %.
- En cuanto al módulo de elasticidad, los resultados mostraron una reducción aún más severa. Para la relación $a/c = 0.60$, se obtuvieron pérdidas del 56.7 %, 88.5 % y 97.3 %; mientras que para la relación $a/c = 0.65$, las pérdidas fueron del 85.2 %, 96.4 % y 97.3 %; y para $a/c = 0.70$, del 66.0 %, 94.1 % y 99.0 %, respectivamente en los tres tiempos de exposición.

Como conclusión principal, se estableció que el concreto con una relación a/c de 0.60 presentó un mejor desempeño frente a la acción del fuego, en comparación con las mezclas con relaciones más altas. Asimismo, se evidenció que el concreto con relación $a/c = 0.65$ mostró un comportamiento mecánico más favorable que el de relación 0.70, pero solo durante la primera hora de exposición térmica.

Según el investigador (12), en la Universidad Nacional Hermilio Valdizán de Huánuco, se desarrolló la investigación titulada “Evaluación del comportamiento a la flexión de vigas de concreto reforzadas con mortero sin contracción”, cuyo objetivo fue analizar el desempeño estructural a flexión de vigas de concreto reforzadas mediante aumento de sección utilizando mortero sin contracción como material complementario. El estudio

consideró una muestra compuesta por 50 vigas prismáticas de dimensiones $15 \times 15 \times 50$ cm, sometidas a ensayos que permitieron determinar el nivel de mejora en su comportamiento estructural. Los resultados experimentales permitieron extraer las siguientes conclusiones:

El mortero sin contracción demostró ser un material altamente eficaz para el reforzamiento de vigas mediante el incremento de su sección transversal, contribuyendo significativamente a su resistencia a la flexión.

En condiciones de obra, los elementos estructurales reforzados con este tipo de mortero pueden ser desencofrados a las 24 horas de su aplicación, permitiendo su puesta en servicio a los tres días, lo que representa una ventaja operativa y constructiva importante.

Las vigas reforzadas con mortero sin contracción lograron un comportamiento monolítico, asegurando una transferencia eficiente de los esfuerzos internos, condición indispensable para la durabilidad y seguridad estructural.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Concreto

El concreto constituye uno de los materiales de construcción más antiguos y ampliamente utilizados a nivel mundial, gracias a su bajo costo, accesibilidad, larga vida útil y su capacidad para resistir condiciones climáticas adversas. Su volumen de producción global supera ampliamente al del acero estructural, estimándose que se fabrica diez veces más concreto que fierro de construcción. En comparación con otros materiales como el acero o los polímeros estructurales, el concreto es considerablemente más económico y de uso más extendido. Sin embargo, presenta un comportamiento frágil, caracterizado por una alta resistencia a compresión, pero una baja capacidad para resistir esfuerzos de tracción, lo que hace necesario el uso de refuerzo, típicamente mediante barras de acero, originando lo que

se conoce como concreto reforzado. Desde el punto de vista composicional, el concreto es un material compuesto constituido por una matriz aglutinante —formada por cemento portland y agua— en la cual se incorporan agregados pétreos, tanto finos como gruesos. Esta configuración le otorga una gran versatilidad, permitiendo diseños específicos que satisfacen diversas exigencias mecánicas y funcionales, a diferencia de otros materiales como el acero laminado o la piedra natural, cuya adaptabilidad está más limitada por sus características físicas inherentes. En resumen, el concreto es el material más versátil y utilizado en la industria de la construcción moderna, y su refuerzo es esencial para optimizar su desempeño estructural, especialmente en situaciones donde se presentan esfuerzos de tracción significativos.



Figura 1. Vigas y columnas de concreto

2.2.2 Efectos del fuego en los materiales de construcción

Una de las consideraciones fundamentales en el diseño estructural del concreto es su

comportamiento frente a la acción del fuego, especialmente en elementos horizontales como las losas de entrepiso. La respuesta estructural de una losa de concreto sometida a condiciones térmicas extremas, como las generadas durante un incendio completamente desarrollado, resulta ser altamente compleja. En tales escenarios, la losa no solo debe soportar las cargas gravitacionales aplicadas, sino también impedir la propagación del fuego hacia niveles superiores y mantener su estabilidad estructural tanto durante como después del evento térmico, para evitar el colapso progresivo. Un parámetro clave en este análisis es la conductividad térmica, entendida como la capacidad de un material para transmitir calor. Esta propiedad se define como la relación entre el flujo de calor que atraviesa el material y el gradiente de temperatura impuesto, lo que implica un flujo térmico constante a través de una sección de concreto de espesor unitario, sometido a una diferencia de temperatura unitaria entre sus caras opuestas. Esta característica influye directamente en la distribución de temperaturas internas, y por ende, en el desempeño estructural del concreto ante la exposición al fuego (13).

Un método relativamente reciente empleado por los ingenieros especializados en protección contra incendios consiste en calcular inicialmente la densidad de carga de fuego contenida en un compartimento determinado. A partir de este parámetro, y considerando las condiciones de ventilación existentes, así como una fuente de ignición estimada, es posible predecir la evolución térmica del compartimento, es decir, la temperatura en función del tiempo durante las diferentes etapas del incendio. Este tipo de análisis, también, contempla la influencia de los sistemas activos de protección contra incendios, como los aspersores automáticos o la intervención de brigadas de bomberos, que pueden alterar significativamente el crecimiento y propagación del fuego. La velocidad de desarrollo del

incendio, así como su magnitud térmica, son altamente sensibles a variaciones en la carga combustible presente y a las condiciones dinámicas de ventilación que se dan durante el siniestro. Dado su nivel de complejidad, esta metodología requiere del uso de software especializado y de capacitación técnica avanzada, por lo que su aplicación se restringe comúnmente a edificaciones de gran envergadura o con características poco convencionales. Una vez obtenida la curva temperatura-tiempo, ya sea mediante una curva estandarizada o mediante este tipo de modelación computacional, es posible evaluar el impacto térmico sobre la estructura. Uno de los fenómenos físicos más relevantes observados en el concreto expuesto al fuego es el cambio de estado del agua libre, la cual pasa de fase líquida a gaseosa con el aumento de la temperatura. Este proceso afecta directamente la forma y velocidad en que el calor penetra y se distribuye dentro del elemento estructural, modificando el gradiente térmico interno y, por ende, las propiedades mecánicas y estructurales del concreto (14).

El incremento de la temperatura genera una reducción progresiva en la resistencia mecánica y en el módulo de elasticidad tanto del concreto armado como del acero de refuerzo. No obstante, la velocidad de deterioro de estas propiedades no es uniforme, ya que depende de la tasa de aumento térmico durante el incendio y de las características aislantes del concreto.

Es importante señalar que el concreto no es un material combustible, es decir, no se quema, aunque sus propiedades físicas y mecánicas pueden verse afectadas bajo temperaturas elevadas. La variación en su comportamiento térmico está fuertemente influenciada por el tipo de agregado grueso utilizado en la mezcla.

Los agregados empleados en concreto pueden clasificarse en tres grandes grupos:

Agregados carbonatados: Incluyen materiales como la piedra caliza y la dolomita,

los cuales presentan una respuesta térmica distinta debido a su composición mineralógica rica en carbonatos.

Agregados silíceos: Están compuestos fundamentalmente por sílice y comprenden rocas como el granito y la arenisca. Estos materiales tienden a experimentar mayor expansión térmica y, por lo tanto, mayor susceptibilidad al agrietamiento.

Agregados livianos: Se obtienen a partir de la expansión térmica controlada de materiales arcillosos, como lutitas, pizarras o arcillas, y ofrecen mejores propiedades aislantes, lo cual puede mitigar parcialmente el efecto del calor sobre el concreto (14).

Una vez alcanzada la temperatura de prueba establecida, se procedió a incrementar gradualmente la carga aplicada sobre el espécimen hasta provocar su fallo estructural. Los resultados mostraron que la resistencia del concreto con agregado silíceo comienza a deteriorarse significativamente a partir de aproximadamente 800 °F (427 °C), reduciéndose hasta un 55 % de su resistencia original al alcanzar los 1200 °F (649 °C). Por otro lado, los concretos elaborados con agregados livianos y agregados carbonatados demostraron una mayor estabilidad térmica, conservando una parte considerable de su resistencia a compresión incluso hasta los 1200 °F. Este comportamiento se atribuye, en el caso del concreto liviano, a sus propiedades térmicamente aislantes, las cuales reducen la velocidad de transmisión del calor en comparación con el concreto de peso normal de igual espesor, brindándole así una mayor resistencia al fuego. Adicionalmente, se observó que, bajo condiciones de altas temperaturas, se incrementan considerablemente los fenómenos de fluencia y relajación en el concreto, lo cual tiene implicancias directas en su comportamiento estructural a largo plazo durante incendios prolongados o exposiciones térmicas intensas.



Figura 2. Edificio de concreto luego de un incendio.

Fuente: Smith, Peter, "Investigation and Repair of Damage to Concrete Caused by Formwork and Fire", ACI Journal, Proceedings V. 60, No. 11, págs. 1535-1566 (noviembre de 1963).

Falsework

2.2.3 Exposición al fuego

La exposición al fuego puede manifestarse de diversas formas, siendo la más común y representativa el incendio, entendido como una combustión no controlada. Según lo expuesto por Grant y Drysdal (15), durante un incendio los materiales almacenados en una edificación suelen presentar características inflamables o combustibles, debido a su composición rica en carbono, lo cual los hace susceptibles a encenderse al entrar en contacto con una fuente de calor suficientemente intensa como para iniciar una reacción en cadena. En este sentido, un incendio puede definirse como una ignición descontrolada de materiales combustibles que genera llamas autosostenidas, difíciles de contener.

1. Naturaleza del fuego

Desde un punto de vista químico, el fuego es una reacción de combustión en la cual

el oxígeno presente en el ambiente reacciona con un material combustible en presencia de calor. Para que este proceso tenga lugar, deben coexistir cuatro elementos fundamentales: combustible, oxígeno, calor y una reacción en cadena, conformando lo que se conoce como el tetraedro del fuego.

2. Clasificación del fuego

De acuerdo con lo planteado por Anerio (16), los incendios se clasifican en función del estado físico del combustible involucrado:

Fuego tipo A: Provocado por materiales sólidos inflamables, tales como madera, papel, telas, entre otros

Fuego tipo B: Involucra líquidos combustibles, como aceites, pinturas o gasolina

Fuego tipo C: Originado por la combustión de gases inflamables, como el propano o el butano

Fuego tipo D: Provocado por metales inflamables como magnesio, sodio o aluminio en polvo

Adicionalmente, según el Poder Judicial de la Ciudad de México (2017), los incendios, también, pueden clasificarse según su magnitud y capacidad destructiva, en:

- Conato: Incidente de fuego de pequeña escala, controlable mediante extintores u otros medios simples
- Incendio: Evento de mayor envergadura, cuya contención es difícil por medios convencionales debido a su rápido crecimiento
- Conflagración: Situación crítica en la que el incendio alcanza niveles destructivos considerables, pudiendo ocasionar la pérdida parcial o total de la edificación.)

2.2.4 Respuesta física y química al fuego.

En la interacción entre el concreto y el fuego es compleja, debido a la naturaleza heterogénea del concreto y las condiciones térmicas extremas que se presentan durante un incendio. El concreto está conformado por diversos componentes —gel de cemento, agregados y frecuentemente acero de refuerzo—, cada uno de los cuales responde de forma distinta ante la exposición térmica, lo que dificulta la predicción precisa del comportamiento compuesto del material en condiciones de incendio (Grant & Drysdal, 17).

A diferencia de materiales como el acero, el concreto posee una baja conductividad térmica, lo que impide aplicar enfoques simplificados de análisis térmico, como el uso de parámetros agrupados que omiten los gradientes de temperatura internos. Por ejemplo, normativas como la BS 8110 (BSI, 2018) tienden a simplificar esta complejidad especificando únicamente una profundidad mínima de recubrimiento de concreto sobre las barras de refuerzo, confiando en el concreto como material aislante térmico.

Dado que los mecanismos de transferencia térmica en el concreto son complejos y variables, los códigos de diseño usualmente sustituyen el análisis detallado por resultados experimentales obtenidos a partir de curvas estándar de calentamiento, estableciendo tiempos de resistencia al fuego como función del espesor o tipo de concreto. Al exponerse al calor, el concreto sufre cambios físicos y químicos. Algunos reversibles con el enfriamiento, otros irreversibles que afectan permanentemente su desempeño estructural. La mayoría de los concretos porosos contienen agua libre, la cual comienza a evaporarse a partir de los 100 °C, generando presión interna; sin embargo, en la práctica, este proceso se extiende hasta los 140 °C debido a los efectos de la presión interna (18).

A medida que la temperatura alcanza los 400 °C, ocurre la deshidratación del

hidróxido de calcio presente en el cemento, lo que genera mayor presión de vapor y produce una pérdida significativa en la resistencia mecánica. Por otro lado, los agregados presentan cambios específicos: por ejemplo, los agregados silíceos sufren una expansión mineralógica alrededor de los 575 °C, mientras que los agregados carbonatados como la caliza comienzan su descomposición química aproximadamente a los 800 °C (19, 20). Estas diferencias provocan expansión diferencial entre la matriz cementante y el agregado, generando grietas internas y desconchamiento superficial.

En conjunto, todos estos cambios tienden a reducir la resistencia a compresión del concreto. Las temperaturas críticas aproximadas para una disminución significativa de resistencia, en función del tipo de agregado, son: 430 °C para agregados silíceos, 660 °C para carbonatados, y 650 °C para agregados livianos. A temperaturas más bajas, la respuesta térmica puede variar considerablemente según la composición del concreto y las condiciones de humedad y porosidad (21).

Sin embargo, como se ha señalado, estas relaciones temperatura–resistencia son estimaciones indirectas del comportamiento real de las estructuras. Esto se debe a la existencia de gradientes térmicos marcados al interior del concreto, lo cual implica que la falla estructural suele producirse cuando el refuerzo de acero pierde su capacidad mecánica efectiva a causa del calentamiento (22).

A diferencia del acero estructural —cuya resistencia puede recuperarse parcialmente después del enfriamiento—, el concreto no recupera sus propiedades originales luego de un incendio, debido a las transformaciones irreversibles en su estructura física y química. Estas alteraciones pueden ser utilizadas como indicadores forenses de la temperatura máxima alcanzada, mediante una inspección post-incendio de la superficie del

concreto (23, 24). Es importante destacar que, en algunos casos, las estructuras de concreto pueden estar severamente debilitadas aun cuando no presenten daños visibles.

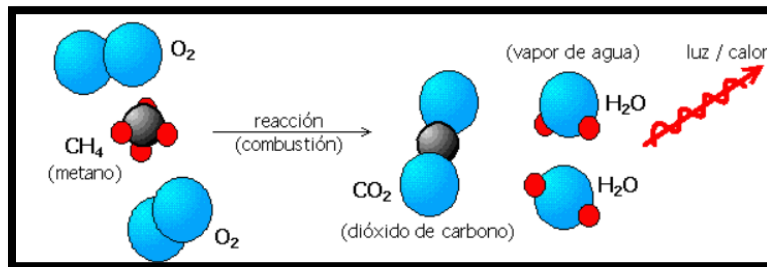


Figura 3. Reacción de combustión del metano.

Fuente: <https://www.aprendemergencias.es/incendios/teor%C3%ADa-del-fuego/>.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Método y alcance de la investigación

3.1.1 Método de investigación

Según algunos autores (24), Se realiza una investigación sobre acontecimientos reales y se cuenta con una población, que presenta la potestad de escoger hasta que temperatura y que tiempo de exposición al fuego es el máximo para declarar a una edificación de concreto segura.

En el presente trabajo, se desarrolló el método científico, el cual permite indagar, reunir, fijar información necesaria y procesar de forma sistemática, ordenada para abordar el problema.

3.1.2 Tipo de investigación

Según algunos autores (24), afirma que:

A diferencia de la investigación teórica, la práctica o aplicada busca o tiene como fin la aplicación inmediata de los conocimientos obtenidos, lo cual no significa que sea menos meritoria. En tanto ambas son necesarias, una no puede existir sin la otra, pues se retroalimentan y se autocorrigien. (p.86)

Por lo tanto, la siguiente investigación es de tipo aplicada puesto que se utiliza conocimiento de investigación básica para poder analizar los efectos producidos por el fuego en el concreto.

3.1.3 Enfoque de la investigación

Según algunos autores (24), establece que “una investigación con enfoque cuantitativo se fundamenta en la investigación de medidas numéricas y se utiliza la

observación para la recolección de datos y responder las preguntas de investigación”. en tal razón, la presente investigación tiene un enfoque cuantitativo por la razón que se miden los efectos producidos por el fuego en lo que se refiere a la resistencia a la compresión y a la resistencia a la flexión.

3.1.4 Diseño de investigación

Como menciona algunos autores (24), una investigación de diseño experimental debe tener tres requisitos fundamentales que son la manipulación de variables, la medición del efecto de la variable independiente y asegurar que las modificaciones en la variable dependiente se deban exclusivamente a los cambios de la variable independiente. En ese sentido, la presente investigación tiene un diseño experimental puesto que la variable independiente es manipulable (300°C, 400°C, 500°C, 600°C, 700°C), así optando que la variable dependiente (la resistencia a la compresión y a la resistencia a la flexión).

Dentro de la clasificación del diseño se opta por el diseño experimental, específicamente el diseño con grupo control experimental pre y post test.

GC O1 GE X O2

Donde:

GC= grupo control

O1= pre-test

GE= grupo experimental (300°C, 400°C, 500°C, 600°C, 700°C)

O2= post-test

3.1.5 Nivel de investigación

De acuerdo con los propósitos que se persiguen en el estudio, se establece como una

investigación con un nivel explicativo, que según algunos autores (24), afirma que el nivel de investigación tiene como objetivo saber las causas del fenómeno a través de la manipulación de la variable independiente. Esta manipulación se refiere a la temperatura de exposición al fuego y el uso de diferentes aceleradores de fragua.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1 Población

La población, para este trabajo, son los elementos de concreto vigas y columnas sujetos a esfuerzos de compresión y tracción que está caracterizada por el número total de registros producto de la aplicación de los ensayos en campo, lo cual conduce a la obtención de los valores de los parámetros, con los cuales se realiza la investigación. Los registros a través de ensayos para luego ser analizados en laboratorio, los parámetros que caracterizan a la exposición del concreto al fuego, tales como la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión.

La población directamente involucrada, para este trabajo de investigación, estará conformada por elementos de concreto sin ningún aditivo acelerante de fragua y con acelerante de fragua, siendo en briquetas de concreto en tamaño conocido de 15 cm. de diámetro con una altura de 30 cm. y especímenes de concreto tipo viga de 8 cm. de ancho, 12 cm. de alto y una longitud de 60 cm. Ambos sometidas a diferentes grados de temperatura, donde, posteriormente, estos elementos están sometidos a esfuerzo de flexión y a compresión en un laboratorio.



Figura 4. Resistencia al fuego de estructuras de concreto.

3.2.2 Muestra

La muestra de la presente investigación corresponde de tipo no probabilística por conveniencia, por cuanto, se tomará como muestra las briquetas sometidas a diferentes temperaturas de contacto con el fuego.

Como menciona algunos autores (24), afirman que el muestreo no probabilístico, también conocido como muestreo intencional, implica un proceso de selección guiado por las características del estudio; en lugar de criterios estadísticos generalizados. En nuestro caso, la naturaleza de nuestro estudio y los objetivos trazados nos permitieron usar la técnica de muestreo no probabilístico.

Para esta investigación, la muestra estará constituida por 28 muestras de briquetas de concreto elaboradas sin ningún tipo de aditivo, y 28 muestras de briquetas de concreto con aditivo de acelerador de fragua, haciendo un total 56 briquetas sometidas al ensayo de compresión axial, para averiguar en qué medida disminuye su capacidad de resistencia f'_c después de ser sometidas al fuego directo. Del total de muestras, 08 briquetas de concreto son denominados muestra patrón, debido a que se encuentran en temperatura ambiente, sin ser sometidos a ningún tipo de horno que simule un incendio o altere la temperatura ambiente

y 48 son muestra experimental. De igual forma, estará constituida por 27 especímenes de concreto tipo viga de 8 cm. x 12 altura y longitud de 60 cm. elaboradas sin acelerante de fragua, y 27 especímenes de concreto tipo viga de 8 cm. x 12 cm. de altura y una longitud de 60 cm. con aditivo acelerador de fragua, haciendo un total 54 muestras de especímenes de concreto tipo viga sometidas al ensayo de flexión para averiguar en qué medida disminuye su $f'c$ después de ser sometidas al fuego directo. De estos, 06 especímenes de concreto tipo viga son considerados muestra patrón los cuales se encuentran en temperatura ambiente, sin ser sometidos a ningún tipo de horno que simule un incendio o altere la temperatura ambiente y 48 son muestras experimentales. Se trata de un muestreo no probabilístico por conveniencia, es decir que la muestra es elegida por algún criterio del investigador.

Tabla 2. *Cuadro de muestras de briquetas de concreto.*

Número de Briquetas	Exposición a 0°C de temperatura	Exposición a 300°C de temperatura	Exposición a 500°C de temperatura	Exposición a 700°C de temperatura	Exposición a 900°C de temperatura
Briquetas de concreto sin acelerante de fragua	4	6	6	6	6
Briquetas de concreto con aditivo acelerante de fragua	4	6	6	6	6
TOTAL	8	12	12	12	12

Tabla 3. Cuadro de muestras de espécimen tipo viga.

Número De Briquetas	Exposición a 0°C de temperatura	Exposición a 300°C de temperatura	Exposición a 500°C de temperatura	Exposición a 700°C de temperatura	Exposición a 900°C de temperatura
espécimen de concreto tipo viga sin acelerante de fragua	3	6	6	6	6
Espécimen de concreto tipo viga con aditivo acelerante de fragua	3	6	6	6	6
TOTAL	6	12	12	12	12

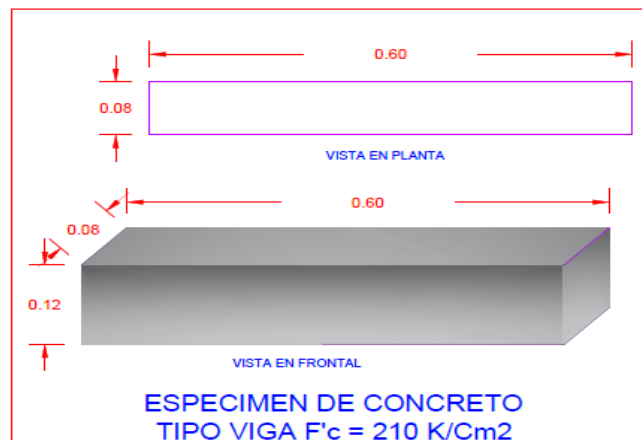
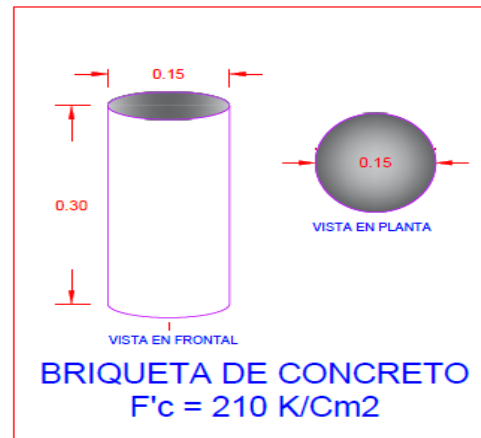


Figura 5. Dimensiones de las muestras.

Empleo del horno industrial para la simulación de incendio en briquetas de concreto.

a. Introducción

Con el objetivo de evaluar el comportamiento mecánico del concreto sometido a altas temperaturas, se ha realizado un proceso de exposición controlada de briquetas de concreto en un horno industrial, simulando las condiciones térmicas propias de un incendio. Este procedimiento permite estudiar la pérdida de resistencia a la compresión del concreto cuando es sometido a temperaturas elevadas, lo cual es fundamental para estimar su capacidad estructural post-incendio.

b. Descripción del Horno Industrial

Para la simulación, se utilizó un horno industrial de combustión controlada, originalmente diseñado para procesos de incineración, adaptado en este caso para ensayos de resistencia térmica en muestras de concreto.

c. Principales componentes:

- Cámara de combustión primaria:

Es un recinto donde se colocaron las briquetas de concreto, construido con ladrillos refractarios, soporta temperaturas de hasta 1200 °C.

- Sistema de quemadores:

Son alimentados a gas GLP, permite elevar y controlar la temperatura de la cámara en rangos programados (de 200 °C hasta 1000 °C)

- Sistema de control de temperatura:

Se incluye termopares de alta precisión para el monitoreo en tiempo real de la temperatura interna.

- Chimenea de evacuación:

Canaliza los gases generados y mantiene la presión atmosférica estable dentro del horno.

- Puerta hermética de carga:

Permite introducir y retirar las muestras sin pérdida de calor excesiva.

d. Procedimiento de Ensayo

Las briquetas de concreto fueron expuestas en la cámara de combustión bajo distintas temperaturas controladas, simulando la acción de un incendio estructural. Se emplearon temperaturas de 200 °C, 400 °C, 600 °C y 800 °C, durante un tiempo de exposición de 1 hora para cada lote de muestras.

Consideraciones:

- Se utilizaron briquetas con y sin acelerante de fragua para comparar su comportamiento térmico.
- La velocidad de incremento de temperatura fue de 10 °C por minuto hasta alcanzar el valor deseado.
- Una vez cumplido el tiempo de exposición, las briquetas fueron retiradas y enfriadas en ambiente controlado antes de realizar los ensayos de compresión.

e. Justificación del Uso del Horno

El empleo de un horno industrial controlado permite:

- Simular de manera segura y precisa las condiciones térmicas que se presentan en un incendio real
- Controlar las variables de temperatura y tiempo de exposición, obteniendo datos confiables y reproducibles
- Evaluar los efectos de las altas temperaturas sobre la resistencia a la compresión

del concreto de forma controlada, minimizando riesgos en campo

e. Resultados Esperados

Se espera que las briquetas expuestas a mayor temperatura presenten una notable reducción en su resistencia a la compresión, especialmente en aquellas sin acelerante de fragua. Esto se debe a:

- La descomposición de los productos de hidratación del cemento a temperaturas superiores a 400 °C.
- La aparición de microfisuras por expansión térmica diferencial
- La pérdida de cohesión de la pasta de cemento

Las muestras con acelerante de fragua podrían mostrar un comportamiento diferencial debido a la mayor densidad de su matriz cementicio en las primeras etapas, lo que podría conferirle mayor resistencia residual frente al calor.



Figura 6. Uso del horno industrial.

3.2.3 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

Las principales técnicas e instrumentos que utilizaremos en la investigación son:

- La observación.
- Accesibilidad al horno industrial con medidor de temperaturas.
- Mezcladora eléctrica monofásica.
- Balanza electrónica
- Registro Fotográfico
- Ensayos de laboratorio (compresión y flexión de briquetas)
- Datos de campo

Entre los Instrumentos utilizadas, se encuentran:

El formato de toma de datos del ensayo de compresión y el formato de toma de datos del ensayo de flexión.

Proceso de toma de datos

Para llevar a cabo un trabajo de investigación, es necesario implementar un desarrollo metodológico que permita el logro adecuado de los objetivos propuestos, así como una formulación concreta y precisa del problema y una metodología de investigación adecuada y apropiada para el tipo de trabajo.

Se realizó el diseño de mezclas para la elaboración de briquetas de concreto $f'_c=210$ kg/cm², con el cual se procedió a la elaboración de las briquetas y especímenes de concreto tipo viga en las dimensiones de 8 cm. de ancho, 12 cm de altura y 60 cm. de longitud, tal como se observa en la siguiente fotografía.



Figura 7. Moldes para espécimen tipo viga.



Figura 8. Elaboración de elemento tipo viga de concreto.



Figura 9. Preparación de mezcla para briquetas y espécimen tipo viga en $f_c=210\text{kg/cm}^2$.



Figura 10. Muestra de briquetas.



Figura 11. Briquetas sometidas a la rotura.

Bajo el levantamiento de todas las observaciones, toma de datos, las muestras y estudios correspondientes de cada una de las briquetas sometidas a fuego.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 DESCRIPCIÓN DE ZONA DE ESTUDIO

4.1.1 Generalidades de la zona de estudio.

El ámbito del desarrollo de este trabajo fue en la ciudad de Cusco, realizando las siguientes actividades:

Los agregados fueron adquiridos en la jurisdicción de cusco, donde la piedra chancada es de procedencia de Huambutillo y la arena gruesa de Cunyac.

Se realizó el preparado de mezcla en un patio de a cielo abierto, con el uso de una mezcladora eléctrica de media bolsa de capacidad.

Los moldeados de las briquetas se realizaron en briqueteras de tamaño estándar y el encofrado de los especímenes de tipo viga con las dimensiones exactas.

El curado de las muestras se realizó en depósitos completamente lleno de agua y con la constante supervisión de los responsables.

El traslado de las muestras hacia el horno se realizó en un camión debidamente protegida con polietileno microporoso.

Se sometió a un horno industrial con medidor de temperatura, en temperaturas y tiempos requeridos.

Se trasladó las muestras a un laboratorio para realizar las pruebas de compresión y flexión como se muestran en la siguiente imagen.



Figura 12. Preparado de concreto $f'c=210$ kg/cm² .



Figura 13. Horno industrial con medidor de temperatura.



Figura 14. las muestras luego de ser sometido a altas temperaturas.



Figura 15. Laboratorio de compresión de briquetas.

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1.2 Diseño de mezclas de concreto

El diseño de mezclas de concreto 210 kg/cm² nos permite conocer no solo la dosis de los componentes del concreto, sino también la forma más apropiada para elaborar la mezcla y asegurar un adecuado producto que conforman las estructuras proyectadas, además de prever las condiciones sobre el cuidado de los agregados o su tratamiento para la mejoría de estos.

Por lo tanto, se procede a realizar el presente diseño de mezcla para concreto hidráulico de resistencia f'_c de 210 kg/cm², según las especificaciones y características señaladas por las normas.



Figura 16. Diseño de mezclas: características de los agregados.

Ensayos de laboratorio para el diseño de mezclas

Los objetivos y fines del presente informe de diseño de mezclas corresponden a determinar los parámetros de diseño de los agregados y la dosificación para la mezcla del Concreto utilizando agregados de las canteras asignadas, para tal fin se realizaron pruebas

de laboratorio tales como:

- Cuarteo para obtención de una muestra representativa
- División del Over
- Contenido de Humedad Natural
- Cantidad de material fino que pasa por el tamiz N°200
- Análisis Granulométrico por Tamizado
- Gravedad y peso específico
- Capacidad de Absorción
- Peso Unitario Varillado
- Peso Unitario Suelto

Normatividad

El diseño de mezclas considera el estudio de los materiales de cantera que se han desarrollado siguiendo los lineamientos y recomendaciones que están contenidos en el MANUAL DE ENSAYOS DE MATERIALES PARA CARRETERAS EM-2000, aprobado mediante RD N°028-2001-MTC/15.17 que incluyen las normas de ASTM (America Society for Testing Materials), ASTM (America Society for Testing Materials), la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), Normas MTC E del Ministerio de Transportes y Comunicaciones para la realización de los ensayos y análisis de laboratorio.

- | | |
|---|------------------|
| • Contenido de humedad | MTC E 108 – 2016 |
| • Cantidad de Material Fino que pasa por el tamiz N°200 | MTC E 202-2016 |
| • Análisis Granulométrico de Agregados Grueso y Fino | MTC E 204-2016 |
| • Peso Específico y Absorción de Agregados Finos | MTC E 205-2016 |

- Peso Unitario y Vacíos

MTC E 203-2016

Alcance

El diseño de mezclas, materia del presente informe, se realizará mediante el método de diseño elaborado por el ACI “American Concrete Institute”, el mismo que considera el Peso Unitario Varillado del Agregado Grueso y la combinación de módulos de fineza.

De acuerdo con lo especificado en las normas, el material a conformar para la mezcla de concreto es piedra chancada de 1/2" de la cantera de Huambutillo – Huambutillo y arena gruesa de río de la cantera de Cunyac - Río Apurímac.

Ensayo muestreo de agregados ASTM d 75

En la siguiente imagen, se aprecia el cuarteo de la muestra a analizar.



Figura 5. Cuarteo de muestra de la calicata, granulometría del tamizado.

Una vez realizado los procedimientos en laboratorio se obtiene los siguientes resultados en la

Tabla 4. Resultados de muestreo de agregados.

Tipo de agregado	masa (kg)
Piedra chancada de 1/2" (huambutillo)	5
Arena gruesa de río (río Apurímac)	5

OBSERVACIÓN:

Del material recepcionado, se realizó en cuarteo en laboratorio de acuerdo a NTP 400.010.



Figura 6. Ensayo de límite de plasticidad.

Material: Piedra chancada de 1/2"

Cantera: Huambutillo

Ubicación: Huambutillo

Obs: Piedra triturada artificialmente de cantera compuesto por granitos, cuarzos y micas

Tabla 5. Ensayo contenido de humedad del agregado grueso.

N° De Ensayo	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Peso Capsula (Gr)	35.75	29.04	39.70
Peso Capsula + Muestra Húmeda (Gr)	134.74	130.87	140.59
Peso Capsula + Muestra Seca (Gr)	133.59	129.66	139.51
Peso Muestra Húmeda (Gr)	98.99	101.83	100.90
Peso Muestra Seca (Gr)	97.84	100.62	99.82
Humedad (%)	1.18	1.20	1.08

Tabla 6. *Humedad promedio del agregado grueso.*

Descripción	Cantidad	Unidad
Humedad Promedio	1.15	%

Material: Arena gruesa de río

Cantera: Cunyac

Ubicación: Río Apurímac

Obs: Agregado que se obtiene por trituración artificial de rocas o gravas.

Tabla 7. *Ensayo contenido de humedad del agregado fino.*

N° De Ensayo	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Peso Capsula (Gr)	41.04	41.12	38.81
Peso Capsula + Muestra Humeda (Gr)	113.64	117.47	102.08
Peso Capsula + Muestra Seca (Gr)	111.37	114.94	100.79
Peso Muestra Humeda (Gr)	72.60	76.35	63.27
Peso Muestra Seca (Gr)	70.33	73.82	61.98
Humedad (%)	3.22	3.43	2.07

Tabla 8. *Humedad promedio del agregado fino.*

Descripción	Cantidad	Unidad
Humedad Promedio	2.91	%

Humedad (%) Material – Cantera

Piedra chancada de 1/2": 1.15%

- Arena gruesa de río: 2.91%

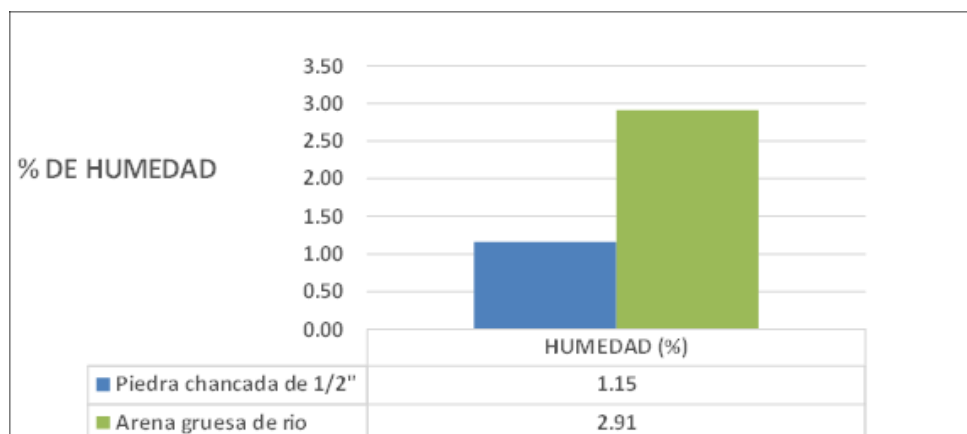


Gráfico 1. Porcentaje de humedad

4.1.3 Granulometría de agregado finos y grueso

Tabla 9. *Promedio del peso retenido del agregado grueso.*

Peso De La Muestra (Gr)		1002	%			
Malla	Tamaño (Mm)	Peso Retenido (Gr)	% Retenido	% Retenido Acumul.	% Pasante Acumul.	% Astm C-33 N°56
1 1/2"	38.1	0	0	0	100	100
1"	25.4	66.13	6.6	6.6	93.4	90-100
3/4"	19.05	334.67	33.4	40	60	40-85
1/2"	12.7	373.74	37.3	77.3	22.7	10-40
3/8"	9.525	88.18	8.8	86.1	13.9	0-15
N°4	4.75	101.2	10.1	96.2	3.8	0-5
N°8	2.36	16.03	1.6	97.8	2.2	
N°16	1.18	7.01	0.7	98.5	1.5	
N°30	0.6	4.01	0.4	98.9	1.1	
N°50	0.3	0	0	98.9	1.1	
N°100	0.15	0	0	98.9	1.1	
N°200	0.075	0	0	98.9	1.1	
Cazuela		11.02	1.1	100	0	
Total		1002	100			

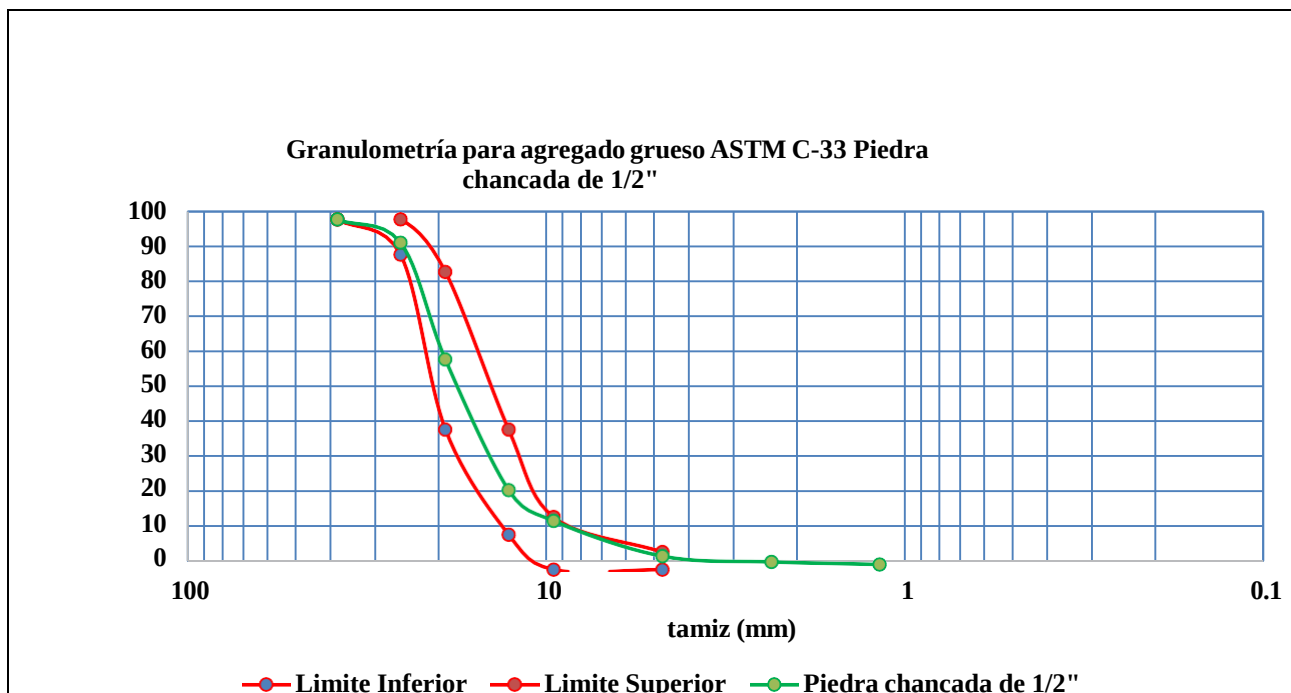


Gráfico 2. Granulometría del agregado grueso.

Módulo De Fineza (M.F.)

7.15

Tabla 10. Promedio del peso retenido del agregado fino.

Peso De La Muestra (Gr)						
Malla	Tamaño (Mm)	Peso Retenido (Gr)	% Retenido	% Retenido Acumul.	% Pasante Acumul.	% Astm C-33
3/8"	9.5	42.23	5.68	5.68	94.32	100
N°4	4.75	51.27	6.89	12.57	87.43	95-100
N°8	2.36	67.36	9.05	21.62	78.38	80-100
N°16	1.18	110.59	14.86	36.49	63.51	50-85
N°30	0.6	251.34	33.78	70.27	29.73	25-60
N°50	0.3	184.99	24.86	95.14	4.86	Oct-30
N°100	0.15	28.15	3.78	98.92	1.08	2-Oct
N°200	0.075	7.04	0.95	99.86	0.14	
Cazuela		1.01	0.14	100	0	
Total		743.98	100			

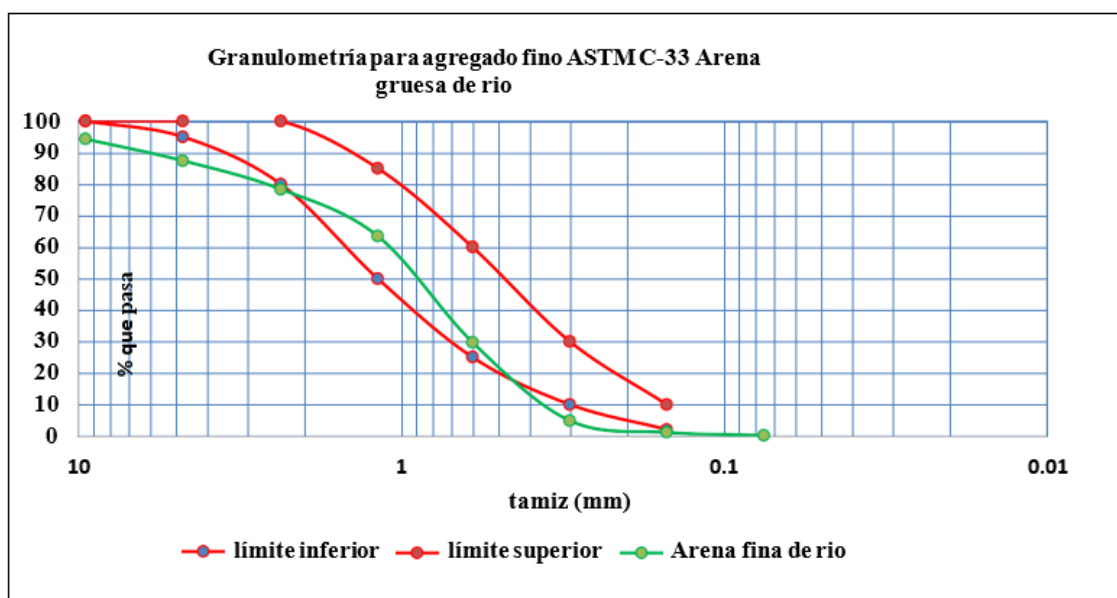


Gráfico 3. Granulometría del agregado fino.

Módulo De Fineza (M.F.)

3.41

4.1.4 Peso unitario y vacíos del agregado grueso y fino

Tabla 11. *Peso unitario suelto del agregado grueso.*

N° Ensayo	Ensayo 1
	4.194
Peso Del Recipiente (Kg)	
Peso De La Muestra Suelta + Recipiente(Kg)	5.912
Peso De La Muestra Suelta (Kg)	1.718
Volumen Del Recipiente (M3)	0.0013444

PESO UNITARIO SUELTO (Kg/m3)

1277.89

Tabla 12. *Contenido de vacíos suelto del agregado grueso.*

A: Peso Específico Aparente	2.74
B: Peso Unitario Suelto (Kg/M3)	1277.89
W: Peso Específico Del Agua (Kg/M3)	1000.00

PORCENTAJE DE VACÍOS SUELTO (%)

53.36

Peso unitario compactado y contenido de vacíos.

PESO UNITARIO COMPACTADOTabla 13. *Peso unitario compactado del agregado grueso.*

N° Ensayo	Ensayo 1
Peso Del Recipiente (Kg)	4.194
Peso De La Muestra Compactada + Recipiente(Kg)	6.101
Peso De La Muestra Compactada (Kg)	1.907
Volumen Del Recipiente (M3)	0.0013444

PESO UNITARIO COMPACTADO (Kg/m3) 1418.47

CONTENIDO DE VACÍOS COMPACTADOTabla 14. *Porcentaje de vacíos compactado del agregado grueso.*

A: Peso Específico Aparente	2.74
B: Peso Unitario Suelto (Kg/M3)	1418.47
W: Peso Específico Del Agua (Kg/M3)	1000.00
Porcentaje De Vacios Compactado (%)	48.23

peso unitario suelto y contenido de vacíos**Peso Unitario Suelto**Tabla 15. *Peso unitario suelto del agregado fino.*

N° Ensayo	Ensayo 1
Peso Del Recipiente (Kg)	3.520
Peso De La Muestra Suelta + Recipiente(Kg)	4.955
Peso De La Muestra Suelta (Kg)	1.435
Volumen Del Recipiente (M3)	0.00093824

Peso Unitario Suelto (Kg/M3) 1529.46

Contenido de Vacíos SueltoTabla 16. *Contenido De Vacíos Suelto Del Agregado Fino.*

A: Peso Específico Aparente	2.73
B: Peso Unitario Suelto (Kg/M3)	1529.46
W: Peso Específico Del Agua (Kg/M3)	1000.00
Porcentaje de Vacíos Suelto (%)	43.95

A) Peso unitario compactado y contenido de vacíos

Peso Unitario Compactado

Tabla 17. *Peso unitario compactado del agregado fino.*

N° ENSAYO	ENSAYO 1
PESO DEL RECIPIENTE (Kg)	3.520
PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA + RECIPIENTE(Kg)	5.151
PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA (Kg)	1.631
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (m3)	0.00093824

Peso Unitario Compactado (Kg/M3) 1738.36

PORCENTAJE DE VACÍOS COMPACTADO

Tabla 18. *Porcentaje de vacíos compactado del agregado fino.*

A: Peso Específico Aparente	2.73
B: Peso Unitario Suelto (Kg/M3)	1738.36
W: Peso Específico Del Agua (Kg/M3)	1000.00
Porcentaje De Vacíos Compactado (%)	36.30

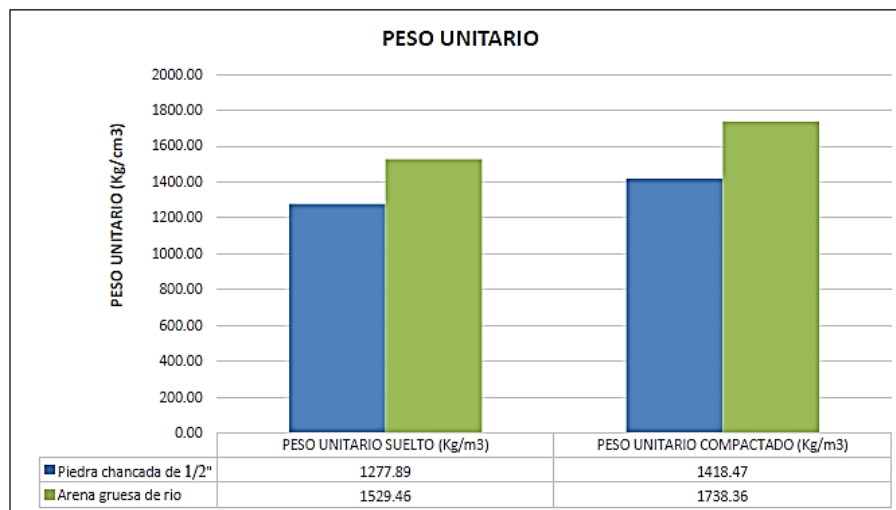


Gráfico 4. Peso unitario.

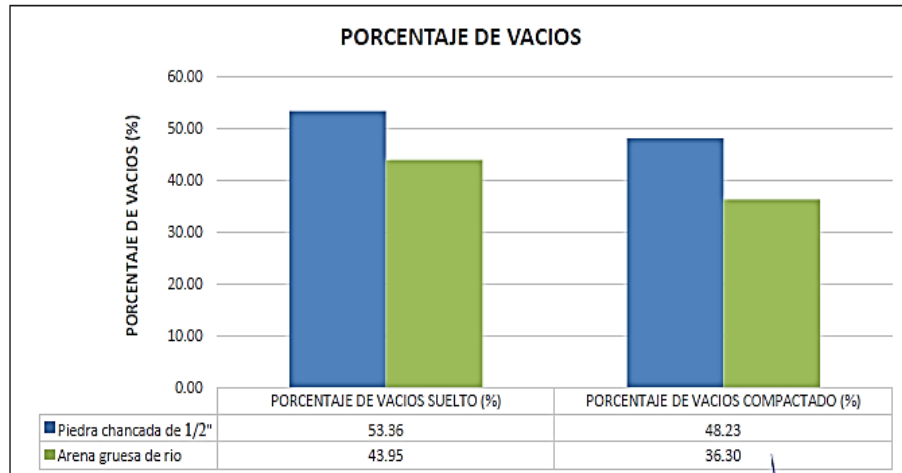


Gráfico 5. Porcentaje de vacíos.

4.1.5 Peso específico y absorción de agregados gruesos ASTM C-127.

Tabla 19. *Peso específico del agregado grueso.*

N° Ensayo	Ensayo 1
A: Peso De La Muestra Secada En Horno (Gr)	800.00
B: Peso Del Matraz + (900ml) H2o (Gr)	1156.00
C: Peso De La Muestra (Sss) + Peso Del Matraz + H2o (Gr)	1670.00
S: Peso De La Muestra (Sss) (Gr)	806.00

Tabla 20. *Porcentaje de absorción del agregado grueso.*

Pesos Específicos	Ensayo 1
Peso Específico Aparente (Gr/Cm3)	2.74
Peso Específico Aparente (Sss) (Gr/Cm3)	2.76
Peso Específico Nominal (Gr/Cm3)	2.80
Absorción (%)	0.75

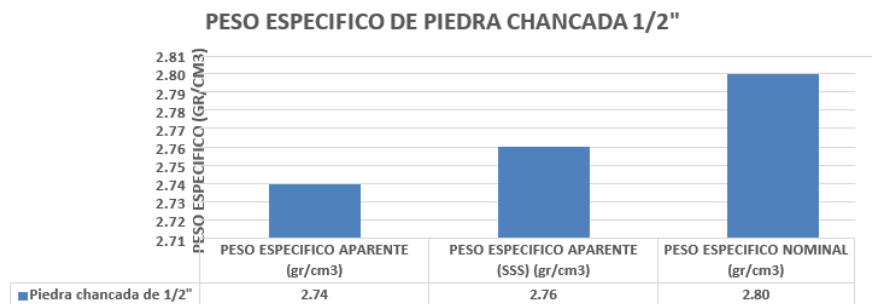


Gráfico 6. Peso específico del agregado grueso.

Tabla 21. *Peso Específico Del Agregado Fino.*

N° Ensayo	Ensayo 1
A: Peso De La Muestra Secada En Horno (Gr)	483.00
B: Peso Del Picnometro + (500ml) H2o (Gr)	698.00
C: Peso De La Muestra (Sss) + Peso Del Picnometro + H2o (Gr)	1021.00
S: Peso De La Muestra (Sss) (Gr)	500.00

Tabla 22. *Porcentaje De Absorción Del Agregado Fino.*

N° Ensayo	Ensayo 1
Peso Específico Aparente (Gr/Cm3)	2.73
Peso Específico Aparente (Sss) (Gr/Cm3)	2.82
Peso Específico Nominal (Gr/Cm3)	3.02
Absorción (%)	3.52

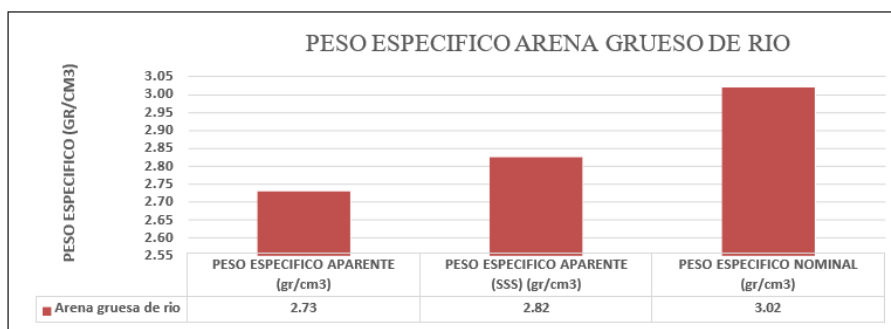


Gráfico 7. Peso Específico Del Agregado Fino.

4.2.6. Diseño De Mezclas. Aci 211.- Datos Técnicos

Tabla 23. *Datos Técnicos.*

Resistencia F'c	210g/Cm
	2
Slump (")	3 A 4
Tamaño Máximo (")	1 1/2
Tamaño máximo Nominal (")	1
Aire Incorporado	No
Cemento	Yura Tipo
	lp

Tabla 24. *Propiedades Físicas.*

Propiedades Físicas	Grava	Arena
Contenido De Humedad (%)	1.15	2.91
% De Absorción	0.75	3.52
Peso Unitario Suelto (Kg/M3)	1277.89	1529.46
Peso Unitario Compactado (Kg/M3)	1418.47	1738.36
Peso Específico Seco (Kg/M3)	2739.73	2728.81
Módulo De Fineza	7.15	3.41

Paso 1

Volumen Unitario De Agua

Tabla 25. *Datos Para Calcular El Agua Requerida.*

Slump	3 A 4
Tamaño Máximo (")	1 1/2
Tamaño Máximo Nominal (")	1

- Requerimiento De Agua (Kg) 193.00
- Volumen De Agua (M3) 0.193
- Contenido De Aire (%) 1.50
- Volumen De Aire (M3) 0.02

Paso 2

- Resistencia F'c 330g/Cm2
- Aire Incorporado No

Tabla 26. *Interpolación De Valores.*

Resistencias	300g/Cm ²	330g/Cm ²	350g/Cm ²
Relación A/C	0.55	A/C	0.48

- Relación Agua - Cemento A/C 0.51

Paso 3

- Factor Cemento (Kg) 379.92
- Volumen De Cemento (M3) 0.133

Tamaño Máximo Nominal(")	1
Módulo De Fineza	3.41

M.F.	2.8	3.41	3
Volumen	0.67	Vag	0.65

Paso 4

Volumen De Agregado Grueso.

Tabla 27. *Volumen Del Agregado Grueso.*

Tamaño Máximo Nominal (")	1
Módulo De Fineza	3.41
Volumen De Agregado Grueso Compactado	0.609
Seco (M3)	

Tabla 28. *Interpolación Para Agregado Grueso.*

M.F.	2.8	3.41	3
Volumen	0.67	Vag	0.65

- Peso Del Agregado Grueso (Kg) 864.31
- Volumen Absoluto Del Agregado Grueso (M3) 0.315

Paso 5

Tabla 29. *Volúmenes Absolutos.*

Cemento (M3)	0.133
Agregado Grueso (M3)	0.315
Agua (M3)	0.193
Aire (M3)	0.015
Suma (M3)	0.657

Paso 6

Tabla 30. *Volumen Absoluto Del Agregado Fino.*

Agregado Fino (M3)	0.343
--------------------	-------

Paso 7

Tabla 31. *Pesos En Base A Los Volúmenes Absolutos Secos.*

Elemento	Volumen Absoluto (M3)	Peso Especifico (Kg/M3)	Peso (Kg)
Cemento	0.133	2850	379.92
Agregado Grueso Seco	0.315	2739.73	864.31
Agregado Fino Seco	0.343	2728.81	936.59
Agua	0.193	1000	193.00

Paso 8

Tabla 32. *Corrección Por Humedad.*

Elemento	Humedad (%)	Peso Húmedo (Kg)
Agregado Grueso	1.15	874.29
Agregado Fino	2.91	963.84

Tabla 33. *Corrección Por Absorción.*

Elemento	Absorción (%)	Balance De Agua
----------	---------------	--------------------

	Humedad (%)		Contribución De Agua (Lt)
Agregado Grueso	1.15	0.75	-3.538
		-	0.0040465
		7	
Agregado Fino	2.91	3.52	5.873
		Total	2.335

- Agua Efectiva (Lt) 195.34

Tabla 34. *Diseño Final Para 1m3 De Concreto.*

Elemento	Peso Para 1m3 De Concreto
Cemento (Kg)	379.92
Agregado Grueso (Kg)	874.29
Agregado Fino (Kg)	963.84
Agua (Lt)	195.34
Total (Kg)	2413.39

Paso 9

Determinación De Proporciones En Peso

Tabla 35. *Proporción Peso Seco.*

Cemento	1.00
Agregado Grueso	2.27
Agregado Fino	2.47
Agua (Lt/Pie3)	21.59

Tabla 36. *Proporción Peso Húmedo.*

Cemento	1.00
Agregado Grueso	2.30
Agregado Fino	2.54
Agua (Lt/Pie3)	21.85

Tabla 37. *Proporción Por Bolsa De Cemento.*

Cemento (Bol)	1.00
Agregado Grueso (Kg)	97.80
Agregado Fino (Kg)	107.82
Agua (Lt/Pie3)	21.85

Tabla 38. *Proporción En Peso Por Tandas De Un Metro Cubico.*

Elemento	/ 1 M3
----------	--------

Cemento (Bol)	8.94
Agregado Grueso (Kg)	874.29
Agregado Fino (Kg)	963.84
Agua (Lt)	195.34

Tabla 39. *Proporción En Volumen Por Tandas De Un Metro Cubico.*

Elemento	/ 1 M3
Cemento (Bol)	8.94
Agregado Grueso (M3)	0.68
Agregado Fino (M3)	0.63
Agua (Lt)	195.34

Tabla 40. *Proporción En Volumen Por Tandas De Balde (20lt)*

Elemento	/ Bolsa
Cemento (Bol)	1.00
Agregado Grueso (Balde 20lt)	3.83
Agregado Fino (Balde 20lt)	3.52
Agua (Lt)	21.85

Tabla 41. *Proporción En Volumen Por Tandas De Balde (20lt)*

Resist. F'c	210 gr/cm2	Tamaño Max	1
Elemento		/ Bolsa	
Cemento (Bol)		1.00	
Agregado Grueso (Balde 20lt)		3.83	
Agregado Fino (Balde 20lt)		3.52	
Agua (Lt)		21.85	

Tabla 42. *Proporción En Volumen Por Tandas De 1 Pie3.*

Resist. F'c	210	Tamaño Max	1
Elemento		/ Bolsa	
Cemento (Bol)		1.00	
Agregado Grueso (1 Pie3)		2.83	
Agregado Fino (1 Pie3)		2.61	
Agua (Lt)		21.85	

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL DISEÑO DE MEZCLAS

1.- Los datos técnicos presentados en el informe están basados en ensayos de laboratorio, los valores pueden variar ligeramente en obra debido a cambios granulométricos, humedad, absorción e impurezas de los agregados, cambio de tipo de cemento.

2.- La cantidad de agua indicada, corresponde a la humedad de los agregados ensayados; para contenidos de humedad diferentes se requiere reajustar el agua de mezcla en obra.

3.- Se aprecia agregados de características aceptables en sus propiedades *físico-mecánicas*.

4.- Se recomienda controlar la cantidad de agua por los cambios en la humedad del agregado mediante el ensayo de SLUMP, en obra se deberá agregar o disminuir agua con el fin de obtener el Slump de diseño, la dosificación de los otros materiales es constante.

5.- Si el Slump medido en obra es mayor al indicado, se deberá corregir la cantidad de agua disminuyendo 2.00 lt/m³ por cada aumento en 1.00 cm. de Slump.

6.- Se recomienda la siguiente secuencia de abastecimiento a la mezcladora: 75% del agua, agregado grueso, cemento, agregado fino y finalmente el 25% restante de agua.

4.2.7. Resistencia a la compresión de briquetas de concreto

4.2.7.1. Generalidades.

La resistencia a la compresión de las mezclas de concreto se puede diseñar de tal manera que tengan una amplia variedad de propiedades mecánicas y de durabilidad, que cumplan con los requerimientos de diseño de la estructura. La resistencia a la compresión

del concreto es la medida más común de desempeño que emplean los ingenieros para diseñar edificios y otras estructuras. La resistencia a la compresión se mide tomando probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión, en tanto la resistencia a la compresión se calcula a partir de la carga de ruptura dividida entre el área de la sección que resiste a la carga y se reporta en kilogramo por centímetro cuadrado (kg/cm²). Para el caso del presente informe de ensayo de rotura de briquetas, a solicitud de los interesados, las muestras fueron recepcionadas, según la resistencia de diseño, características y materiales utilizados por los mismos.

4.2.7.2. Características de la muestra.

El ensayo corresponde a 56 unidades de muestras cilíndricas (briquetas). Todas las muestras fueron recepcionadas en laboratorio según el diseño de mezcla y con las características físicas catalogadas en buenas condiciones.

4.2.7.3. Normatividad

Reglamento Nacional De Edificaciones Norma E-060 (Concreto Armado). Se considera como un ensayo de resistencia al promedio de las resistencias de dos probetas cilíndricas de 6" de diámetro por 12" de altura (150 mm por 300 mm) o de tres probetas cilíndricas de 4" de diámetro por 8" de altura (100mm por 200 mm) moldeadas de la misma muestra de concreto y ensayadas a los 28 días o a la edad de ensayo establecida para la determinación de f'_c .

4.2.7.4. Evaluación y aceptación del concreto

El concreto debe ensayarse de acuerdo con los requisitos de los siguientes acápitales.

Los ensayos de concreto fresco realizados en la obra, la preparación de probetas que requieran de un curado bajo condiciones de obra, la preparación de probetas que se vayan a

ensayar en laboratorio y el registro de temperaturas del concreto fresco mientras se preparan las probetas para los ensayos de resistencia debe ser realizado por técnicos calificados en ensayos de campo. Todos los ensayos de laboratorio deben ser realizados por técnicos de laboratorio calificados.

4.2.7.5. Frecuencia de los ensayos.

Las muestras para los ensayos de resistencia de cada clase de concreto colocado cada día deben tomarse no menos de una vez al día, ni menos de una vez por cada 50 m³ de concreto, ni menos de una vez por cada 300 m² de superficie de losas o muros. No deberá tomarse menos de una muestra de ensayo por cada cinco camiones cuando se trate de concreto premezclado. Cuando en un proyecto dado el volumen total de concreto sea tal que la frecuencia de ensayos requerida anteriormente mencionados proporcione menos de cinco ensayos de resistencia para cada clase dada de concreto, los ensayos deben hacerse por lo menos en cinco tandas de mezclado seleccionadas al azar, o en cada una cuando se empleen menos de cinco tandas. Un ensayo de resistencia debe ser el promedio de las resistencias de dos probetas cilíndricas confeccionadas de la misma muestra de concreto y ensayadas a los 28 días o a la edad de ensayo establecida para la determinación de f'_c .

4.2.7.6. Probetas curadas en laboratorio

Las muestras para los ensayos de resistencia deben tomarse de acuerdo con “Estándard Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete” (ASTM C 172). Las probetas cilíndricas para los ensayos deben ser fabricadas y curadas en laboratorio de acuerdo con “Estándard Practice for Making and Curing Concrete Tets Specimens in the Field” (ASTM C 31M), y deben ensayarse de acuerdo con “Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens” (ASTM C 39M). La resistencia de una clase determinada

de concreto se considera satisfactoria si cumple con los dos siguientes requisitos:

Cada promedio aritmético de tres ensayos de resistencia consecutivos es igual o superior a f'_c .

Ningún resultado individual del ensayo de resistencia (promedio de dos cilindros) es menor que f'_c en más de 3.5 MPa cuando f'_c es 35 MPa o menor, o en más de 0.1 f'_c cuando f'_c es mayor a 35 MPa. Cuando no se cumpla con al menos uno de los dos requisitos anteriormente mencionados, deben tomarse las medidas necesarias para incrementar el promedio de los resultados de los siguientes ensayos de resistencia.

4.2.7.7. Probetas curadas en obra

Si lo requiere la supervisión, deben realizarse ensayos de resistencia de probetas cilíndricas curadas en condiciones de obra. El curado de las probetas bajo condiciones de obra deberá de realizarse en condiciones similares a las del elemento estructural al cual ellas representan, y estas deben moldearse al mismo tiempo y de la misma muestra de concreto que las probetas a ser curadas en laboratorio. Deben seguirse las indicaciones de “Practice for Making and Curing Concrete Tets Specimens in the Field” (ASTM C 31M). Los procedimientos para proteger y curar el concreto deben mejorarse cuando la resistencia de las probetas cilíndricas curadas en la obra, a la edad de ensayo establecida para determinar f'_c , sea inferior a 85% de la resistencia de los cilindros correspondientes curados en laboratorio. La limitación del 85% no se aplica cuando la resistencia de aquellos que fueron curados en la obra exceda a f'_c en más de 3.5 MPa.

4.2.7.8. Consideraciones

Esquemas de los tipos de falla

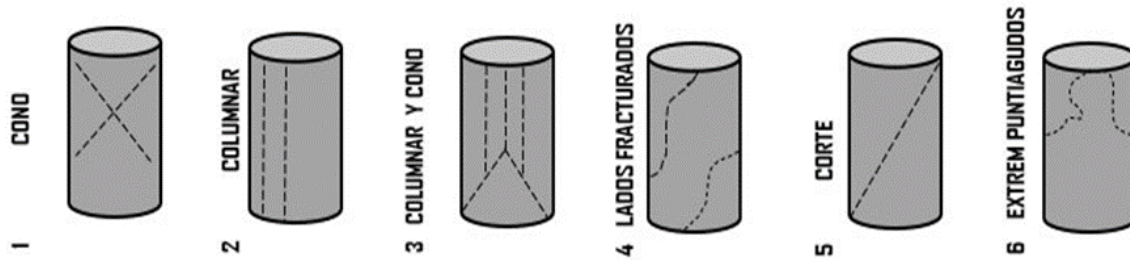


Figura 7. Tipos de falla.

4.2.7.9. Equipo utilizado

Prensa Digital Para Ensayos A Compresión – Según Norma ASTM. La máquina para Ensayos de Concreto Modelo SYE-2000 ha sido diseñada para la realización de ensayos de laboratorio de muestras de concreto, bloques de adoquines otros elementos de albañilería, asegurando ensayos a compresión, flexión y tracción indirecta.

Características:

- Modelo: Sye-2000
- Rango De Medición: 0 – 100.000 Kgf
- Clase De Exactitud: 1

4.2.7.10. Observaciones y conclusiones

Todas las briquetas fueron proporcionadas en condiciones óptimas a el laboratorio Framed, a la recepción de estas se indicó la resistencia de diseño para su evaluación la cual es de 210 kg/cm².

En todas las briquetas, se observaron a la recepción una humedad similar: SECA.

Finalmente, los resultados obtenidos se presentan en la hoja de datos y resultados.

4.2.8. Datos y resultados de briquetas con aditivo acelerador de fragua

Tabla 43. *Resultados de briquetas de concreto con aditivo acelerador de fragua.*

Nro. De Muestra	Descripción	Fecha De Elaboración	Edad (Días)	Resultado Kg/Cm2	Exposición A Temperatura	Tiempo De Exposición (Hora)	Observaciones
1	Briqueta de concreto Con aditivo Acelerador De Fragua	6/08/2024	28	215.82	0º C	0.00	Si Cumple
2	Briqueta de concreto Con aditivo Acelerador De Fragua	6/08/2024	28	217.6	0º C	0.00	Si Cumple
3	Briqueta de concreto Con aditivo Acelerador De Fragua	6/08/2024	28	219.33	0º C	0.00	Si Cumple
4	Briqueta de concreto Con aditivo Acelerador De Fragua	6/08/2024	28	216.17	0º C	0.00	Si Cumple
5	Briqueta de concreto Con aditivo Acelerador De Fragua	6/08/2024	28	212.32	Hasta 300º C	0:30:00	Si Cumple
6	Briqueta de concreto Con aditivo Acelerador De Fragua	6/08/2024	28	210.8	Hasta 300º C	0:30:00	Si Cumple
7	Briqueta de concreto Con aditivo Acelerador De Fragua	6/08/2024	28	209.65	Hasta 300º C	0:30:00	Si Cumple
8	Briqueta de concreto Con aditivo Acelerador De Fragua	6/08/2024	28	204.2	Hasta 300º C	1:00:00	No Cumple
9	Briqueta de concreto Con aditivo Acelerador De Fragua	6/08/2024	28	211.2	Hasta 300º C	1:00:00	Si Cumple
10	Briqueta de concreto Con aditivo Acelerador De Fragua	6/08/2024	28	199.7	Hasta 300º C	1:00:00	No Cumple
11	Briqueta de concreto Con aditivo Acelerador De Fragua	6/08/2024	28	209.83	300ºC -500ºC	0:30:00	No Cumple
12	Briqueta de concreto Con aditivo Acelerador De Fragua	6/08/2024	28	192.4	300ºC -500ºC	0:30:00	No Cumple
13	Briqueta de concreto Con aditivo Acelerador De Fragua	6/08/2024	28	190.21	300ºC -500ºC	0:30:00	No Cumple
14	Briqueta de concreto Con aditivo Acelerador De Fragua	6/08/2024	28	169.7	300ºC -500ºC	1:00:00	No Cumple
15	Briqueta de concreto Con aditivo Acelerador De Fragua	6/08/2024	28	180.2	300ºC -500ºC	1:00:00	No Cumple
16	Briqueta de concreto Con aditivo Acelerador De Fragua	6/08/2024	28	173.5	300ºC -500ºC	1:00:00	No Cumple
17	Briqueta de concreto Con aditivo Acelerador De Fragua	6/08/2024	28	152.3	500ºC -700ºC	0:30:00	No Cumple

18	Briqueta de concreto Con aditivo Acelerador De Fragua	6/08/2024	28	135.4	500°C -700°C	0:30:00	No Cumple
19	Briqueta Con aditivo Acelerador De Fragua	6/08/2024	28	140.12	500°C -700°C	0:30:00	No Cumple
20	Briqueta de concreto Con aditivo Acelerador De Fragua	6/08/2024	28	113.3	500°C -700°C	1:00:00	No Cumple
21	Briqueta de concreto Con aditivo Acelerador De Fragua	6/08/2024	28	99.3	500°C -700°C	1:00:00	No Cumple
22	Briqueta de concreto Con aditivo Acelerador De Fragua	6/08/2024	28	102.15	500°C -700°C	1:00:00	No Cumple
23	Briqueta de concreto Con aditivo Acelerador De Fragua	6/08/2024	28	94.41	700°C -900°C	0:30:00	No Cumple
24	Briqueta de concreto Con aditivo Acelerador De Fragua	6/08/2024	28	88.06	700°C -900°C	0:30:00	No Cumple
25	Briqueta de concreto Con aditivo Acelerador De Fragua	6/08/2024	28	96.79	700°C -900°C	0:30:00	No Cumple
26	Briqueta de concreto Con aditivo Acelerador De Fragua	6/08/2024	28	85.47	700°C -900°C	1:00:00	No Cumple
27	Briqueta de concreto Con aditivo Acelerador De Fragua	6/08/2024	28	73.74	700°C -900°C	1:00:00	No Cumple
28	Briqueta de concreto Con aditivo Acelerador De Fragua	6/08/2024	28	83.14	700°C -900°C	1:00:00	No Cumple

4.2.6. Datos y resultados de briquetas sin aditivo de fragua

Tabla 44. *resultados de briquetas sin aditivo acelerador de fragua.*

DESCRIPCION	NRO. DE MUESTRA	FECHA DE ELABORACION	EDAD (DIAS)	RESULTADO Kg/Cm2	EXPOSICIÓN A TEMPERATURA	TIEMPO DE EXPOSICIÓN (HORA)	OBSERVACIONES
Briqueta de Concreto sin aditivo de Fragua	29	8/08/2024	28	217.35	0° C	0.00	SI CUMPLE
Briqueta de Concreto sin aditivo de Fragua	30	8/08/2024	28	219.61	0° C	0.00	SI CUMPLE
Briqueta de Concreto sin aditivo de Fragua	31	8/08/2024	28	221.13	0° C	0.00	SI CUMPLE
Briqueta de Concreto sin aditivo de Fragua	32	8/08/2024	28	218.12	0° C	0.00	SI CUMPLE
Briqueta de Concreto sin aditivo de Fragua	33	8/08/2024	28	210.14	HASTA 300° C	0:30:00	SI CUMPLE

Briqueta de Concreto sin aditivo de Fragua	34	8/08/2024	28	214.63	HASTA 300° C	0:30:00	SI CUMPLE
Briqueta de Concreto sin aditivo de Fragua	35	8/08/2024	28	216.3	HASTA 300° C	0:30:00	SI CUMPLE
Briqueta de Concreto sin aditivo de Fragua	36	8/08/2024	28	217.2	HASTA 300° C	1:00:00	SI CUMPLE
Briqueta de Concreto sin aditivo de Fragua	37	8/08/2024	28	213.1	HASTA 300° C	1:00:00	SI CUMPLE
Briqueta de Concreto sin aditivo de Fragua	38	8/08/2024	28	209.67	HASTA 300° C	1:00:00	NO CUMPLE
Briqueta de Concreto sin aditivo de Fragua	39	8/08/2024	28	209.83	300°C -500°C	0:30:00	NO CUMPLE
Briqueta de Concreto sin aditivo de Fragua	40	8/08/2024	28	190.36	300°C -500°C	0:30:00	NO CUMPLE
Briqueta de Concreto sin aditivo de Fragua	41	8/08/2024	28	188.24	300°C -500°C	0:30:00	NO CUMPLE
Briqueta de Concreto sin aditivo de Fragua	42	8/08/2024	28	172.5	300°C -500°C	1:00:00	NO CUMPLE
Briqueta de Concreto sin aditivo de Fragua	43	8/08/2024	28	179.3	300°C -500°C	1:00:00	NO CUMPLE
Briqueta de Concreto sin aditivo de Fragua	44	8/08/2024	28	168.46	300°C -500°C	1:00:00	NO CUMPLE
Briqueta de Concreto sin aditivo de Fragua	45	8/08/2024	28	162.3	500°C -700°C	0:30:00	NO CUMPLE
Briqueta de Concreto sin aditivo de Fragua	46	8/08/2024	28	157.4	500°C -700°C	0:30:00	NO CUMPLE
Briqueta de Concreto sin aditivo de Fragua	47	8/08/2024	28	167.1	500°C -700°C	0:30:00	NO CUMPLE
Briqueta de Concreto sin aditivo de Fragua	48	8/08/2024	28	141.27	500°C -700°C	1:00:00	NO CUMPLE
Briqueta de Concreto sin aditivo de Fragua	49	8/08/2024	28	151.82	500°C -700°C	1:00:00	NO CUMPLE
Briqueta de Concreto sin aditivo de Fragua	50	8/08/2024	28	147.6	500°C -700°C	1:00:00	NO CUMPLE
Briqueta de Concreto sin aditivo de Fragua	51	8/08/2024	28	128.72	700°C -900°C	0:30:00	NO CUMPLE
Briqueta de Concreto sin aditivo de Fragua	52	8/08/2024	28	136.1	700°C -900°C	0:30:00	NO CUMPLE

Briqueta de Concreto sin aditivo de Fragua	53	8/08/2024	28	114.61	700°C -900°C	0:30:00	NO CUMPLE
Briqueta de Concreto sin aditivo de Fragua	54	8/08/2024	28	97.3	700°C -900°C	1:00:00	NO CUMPLE
Briqueta de Concreto sin aditivo de Fragua	55	8/08/2024	28	101.6	700°C -900°C	1:00:00	NO CUMPLE
Briqueta de Concreto sin aditivo de Fragua	56	8/08/2024	28	96.24	700°C -900°C	1:00:00	NO CUMPLE

4.2.7. Resistencia a la flexión en vigas

4.2.7.1. Generalidades

La viga es el elemento estructural utilizado para cubrir espacios, soportando colocado encima del elemento mediante la resistencia a las fuerzas internas deflexión y corte. En este ensayo, se muestra experimentalmente el comportamiento mecánico de una viga simplemente apoyada, bajo el efecto de cargas puntuales aplicadas a lo largo de la longitud de la viga, se mide las reacciones en los apoyos, deformaciones y por medio de las bases de las resistencias de materiales se calcula los esfuerzos tanto experimentales como teóricos y se analiza gráficamente el comportamiento de la viga, así como los cálculos para determinar el error en la práctica.

4.2.7.2. Objetivo del ensayo

Establecer los procedimientos que deben seguirse en la determinación de la resistencia a la flexión de un pequeño espécimen de concreto por medio del uso de una viga simple cargada en el punto central

4.2.7.3. Normatividad

NTP 339.059

Esta Norma Técnica establece la obtención, preparación y ensayo de corazones diamantinos de concreto para determinar su longitud o resistencia a la compresión o su

determinación de su resistencia a la flexión. Este método no es aplicable a corazones de concreto proyectado.

ASTM C 78.

Se ocupa de ensayos de flexión del hormigón que se usa en la construcción de bloques y pavimentos con un aparato de flexión de tipo "tercer punto". La probeta tiene forma de viga de 6 x 6 pulgadas, con una longitud mínima de 21 pulgadas. La preparación de muestras y probetas de hormigón fresco tomado in situ se describe en ASTM C31; las probetas aserradas tomadas de material curado se explican en ASTM C42; y se hace referencia a las probetas elaboradas en el laboratorio en ASTM C192. Se recomienda consultar las instrucciones de ASTM C78 para conocer las velocidades de carga, la orientación adecuada de las probetas y la aplicación de precarga para asegurar un contacto "sin espacios" entre la probeta y el útil de ensayo

4.2.7.4. Significado y uso.

Este método de ensayo se usa para determinar la resistencia a la flexión de especímenes de concreto tipo viga preparados y curados con las NTP 339.033 ó NTP 339.183. Los resultados se calculan y reportan como el módulo de rotura. La resistencia que se determina variará si existen diferencias en el tamaño del espécimen, su preparación, condiciones de humedad, o si la viga ha sido moldeada del tamaño 8cm de ancho, 12 cm de altura y 60 cm de longitud.

Los resultados de este método de ensayo se pueden usar para determinar el cumplimiento con las especificaciones o como base para operaciones de dosificación, mezcla y colocación del concreto. Se utiliza el diseño de mezcla para la preparación del concreto, para estar ser moldeadas en encofrados de tipo viga.

Consideraciones

ROTURA POR FLEXIÓN.

Las vigas son elementos estructurales pensados para trabajar predominantemente en flexión. Geométricamente, son prismas mecánicos cuya rigidez depende, entre otras cosas, del momento de inercia de la sección transversal de las vigas. Existen dos hipótesis cinemáticas comunes para representar flexión de vigas:

La hipótesis de Navier Euler Bernouilli. En ella, las secciones transversales al eje baricéntrico se consideran en primera aproximación indeformables y se mantienen perpendiculares al mismo (que se curva) tras la deformación. La hipótesis de Timoshenko. En esta, se admite que las secciones transversales perpendiculares al eje baricéntrico pasen a formar un ángulo con ese eje baricéntrico por efecto del esfuerzo cortante.

Causas principales:

Sobrecargas no previstas

Deformación excesiva con cuantías normales Cuantías insuficientes

Deficiente adherencia de las armaduras al hormigón Mala disposición de armaduras

4.2.7.5. Equipo utilizado

PRENSA DIGITAL PARA ENSAYOS A FLEXIÓN – SEGÚN NORMA ASTM La máquina para Ensayos de Concreto Modelo SYE-2000 ha sido diseñada para la realización de ensayos de laboratorio de muestras de concreto, bloques de adoquines otros elementos de albañilería, asegurando ensayos a compresión, flexión y tracción indirecta.

Características:

- MODELO: SYE-2000
- RANGO DE MEDICIÓN: 0 – 100.000 kgf

- CLASE DE EXACTITUD: 1

4.2.7.6. Características de la muestra

El ensayo corresponde a 54 especímenes de concreto en forma de vigas. Todas las muestras fueron recepcionadas en laboratorio según el diseño de mezcla y con las características indicadas por los solicitantes.

4.2.7.7. Observaciones y conclusiones

- Los especímenes de tipo vigas fueron proporcionadas por los solicitantes y recepcionadas en las instalaciones del laboratorio FRAMED.
- Las lecturas y cálculos obtenidos se presentan en el apartado de anexos.
- La consistencia que se aprecia de los especímenes de concreto en tipo viga al momento de la recepción es SECA.

4.2.7.8. Datos del espécimen tipo viga

Tabla 45. *Datos del espécimen tipo viga.*

DATOS DEL ESPÉCIMEN TIPO VIGA	
Largo	L : 60 cm
Ancho	A : 8 cm
Altura	H : 12 cm
Luz libre entre apoyos	36 cm

Se calcula el módulo de rotura de la siguiente manera:			
$R = \frac{3Pl}{2bd^2}$	Donde:		
	R = módulo de rotura, MPa (psi),		
	p = máxima carga aplicada indicada por la máquina de ensayo, N (lbf),		
	l = longitud de la luz, mm (pulg).		
	b = ancho promedio del espécimen en el punto de fractura, mm (pulg),		
	d = altura promedio del espécimen, en el punto de fractura mm (pulg).		
	Si la fractura ocurre en la zona refrentada, incluya el espesor de l recubrimiento en la medición. En los cálculos anteriores no se incluye la masa de la viga.		

Figura 8. Módulo de rotura.

4.2.7.9.Datos y resultados a flexión sin aditivo de fragua en espécimen tipo viga.

Tabla 46. *Datos y resultados a flexión sin aditivo de fragua en espécimen tipo viga.*

NRO. DE MUESTRA	ENSAYO A FLEXIÓN	FECHA DE VACIADO	EDAD DE MUESTRA (DIAS)	RESULTADO Kg/Cm2	EXPOSICION A TEMPERATURA	TIEMPO DE EXPOSICION (HORA)	OBSERVACIONES
1	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Sin aditivo fragua	8/08/2024	28	47.51	0º C	0.00	PATRON
2	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Sin aditivo fragua	8/08/2024	28	54.63	0º C	0.00	PATRON
3	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Sin aditivo fragua	8/08/2024	28	47.24	0º C	0.00	PATRON
4	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Sin aditivo fragua	8/08/2024	28	42.17	HASTA 300º C	0:30:00	SOMETIDO A FUEGO
5	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Sin aditivo fragua	8/08/2024	28	41.01	HASTA 300º C	0:30:00	SOMETIDO A FUEGO
6	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Sin aditivo fragua	8/08/2024	28	42.60	HASTA 300º C	0:30:00	SOMETIDO A FUEGO
7	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Sin aditivo fragua	8/08/2024	28	34.99	HASTA 300º C	1:00:00	SOMETIDO A FUEGO
8	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Sin aditivo fragua	8/08/2024	28	31.17	HASTA 300º C	1:00:00	SOMETIDO A FUEGO
9	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Sin aditivo fragua	8/08/2024	28	32.71	HASTA 300º C	1:00:00	SOMETIDO A FUEGO
10	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Sin aditivo fragua	8/08/2024	28	24.47	300ºC -500ºC	0:30:00	SOMETIDO A FUEGO

11	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Sin aditivo fragua	8/08/2024	28	21.80	300°C -500°C	0:30:00	SOMETIDO A FUEGO
12	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Sin aditivo fragua	8/08/2024	28	26.58	300°C -500°C	0:30:00	SOMETIDO A FUEGO
13	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Sin aditivo fragua	8/08/2024	28	20.22	300°C -500°C	1:00:00	SOMETIDO A FUEGO
14	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Sin aditivo fragua	8/08/2024	28	24.47	300°C -500°C	1:00:00	SOMETIDO A FUEGO
15	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Sin aditivo fragua	8/08/2024	28	19.67	300°C -500°C	1:00:00	SOMETIDO A FUEGO
16	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Sin aditivo fragua	8/08/2024	28	15.44	500°C -700°C	0:30:00	SOMETIDO A FUEGO
17	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Sin aditivo fragua	8/08/2024	28	13.10	500°C -700°C	0:30:00	SOMETIDO A FUEGO
18	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Sin aditivo fragua	8/08/2024	28	0.00	500°C -700°C	0:30:00	SOMETIDO A FUEGO
19	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Sin aditivo fragua	8/08/2024	28	11.83	500°C -700°C	1:00:00	SOMETIDO A FUEGO
20	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Sin aditivo fragua	8/08/2024	28	0.00	500°C -700°C	1:00:00	SOMETIDO A FUEGO
21	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Sin aditivo fragua	8/08/2024	28	0.00	500°C -700°C	1:00:00	SOMETIDO A FUEGO
22	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Sin aditivo fragua	8/08/2024	28	0.00	700°C -900°C	0:30:00	SOMETIDO A FUEGO
23	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Sin aditivo fragua	8/08/2024	28	0.00	700°C -900°C	0:30:00	SOMETIDO A FUEGO

24	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Sin aditivo fragua	8/08/2024	28	0.00	700°C -900°C	0:30:00	SOMETIDO A FUEGO
25	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Sin aditivo fragua	8/08/2024	28	0.00	700°C -900°C	1:00:00	SOMETIDO A FUEGO
26	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Sin aditivo fragua	8/08/2024	28	0.00	700°C -900°C	1:00:00	SOMETIDO A FUEGO
27	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Sin aditivo fragua	8/08/2024	28	0.00	700°C -900°C	1:00:00	SOMETIDO A FUEGO

4.2.7.10. Datos y resultados a flexión con aditivo acelerador de fragua en vigas

Tabla 47. *Datos y resultados a flexión con aditivo acelerador de fragua en espécimen tipo vigas.*

NRO. DE MUESTRA	ENSAYO A FLEXIÓN	FECHA DE ELABORACION	EDAD DE MUESTRA (DIAS)	RESULTA DO Kg/Cm2	EXPOSICIÓN A TEMPERATURA	TIEMPO DE EXPOSICIÓN (HORA)	OBSERVACIONES
1	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Con Acelerador de fragua	6/08/2024	28	49.01	0º C	0.00	PATRON
2	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Con Acelerador de fragua	6/08/2024	28	43.69	0º C	0.00	PATRON
3	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Con Acelerador de fragua	6/08/2024	28	47.70	0º C	0.00	PATRON
4	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Con Acelerador de fragua	6/08/2024	28	37.24	HASTA 300º C	0:30:00	SOMETIDO A FUEGO
5	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Con Acelerador de fragua	6/08/2024	28	40.29	HASTA 300º C	0:30:00	SOMETIDO A FUEGO

6	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Con Acelerador de fragua	6/08/2024	28	35.08	HASTA 300º C	0:30:00	SOMETIDO A FUEGO
7	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Con Acelerador de fragua	6/08/2024	28	28.73	HASTA 300º C	1:00:00	SOMETIDO A FUEGO
8	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Con Acelerador de fragua	6/08/2024	28	26.39	HASTA 300º C	1:00:00	SOMETIDO A FUEGO
9	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Con Acelerador de fragua	6/08/2024	28	27.39	HASTA 300º C	1:00:00	SOMETIDO A FUEGO
10	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Con Acelerador de fragua	6/08/2024	28	22.34	300ºC -500ºC	0:30:00	SOMETIDO A FUEGO
11	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Con Acelerador de fragua	6/08/2024	28	23.71	300ºC -500ºC	0:30:00	SOMETIDO A FUEGO
12	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Con Acelerador de fragua	6/08/2024	28	20.88	300ºC -500ºC	0:30:00	SOMETIDO A FUEGO
13	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Con Acelerador de fragua	6/08/2024	28	15.53	300ºC -500ºC	1:00:00	SOMETIDO A FUEGO
14	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Con Acelerador de fragua	6/08/2024	28	16.49	300ºC -500ºC	1:00:00	SOMETIDO A FUEGO
15	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Con Acelerador de fragua	6/08/2024	28	18.07	300ºC -500ºC	1:00:00	SOMETIDO A FUEGO
16	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Con Acelerador de fragua	6/08/2024	28	12.62	500ºC -700ºC	0:30:00	SOMETIDO A FUEGO
17	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Con Acelerador de fragua	6/08/2024	28	0.00	500ºC -700ºC	0:30:00	SOMETIDO A FUEGO
18	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Con Acelerador de fragua	6/08/2024	28	14.54	500ºC -700ºC	0:30:00	SOMETIDO A FUEGO

19	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Con Acelerador de fragua	6/08/2024	28	0.00	500°C -700°C	1:00:00	SOMETIDO A FUEGO
20	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Con Acelerador de fragua	6/08/2024	28	0.00	500°C -700°C	1:00:00	SOMETIDO A FUEGO
21	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Con Acelerador de fragua	6/08/2024	28	0.00	500°C -700°C	1:00:00	SOMETIDO A FUEGO
22	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Con Acelerador de fragua	6/08/2024	28	0.00	700°C -900°C	0:30:00	SOMETIDO A FUEGO
23	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Con Acelerador de fragua	6/08/2024	28	0.00	700°C -900°C	0:30:00	SOMETIDO A FUEGO
24	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Con Acelerador de fragua	6/08/2024	28	0.00	700°C -900°C	0:30:00	SOMETIDO A FUEGO
25	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Con Acelerador de fragua	6/08/2024	28	0.00	700°C -900°C	1:00:00	SOMETIDO A FUEGO
26	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Con Acelerador de fragua	6/08/2024	28	0.00	700°C -900°C	1:00:00	SOMETIDO A FUEGO
27	Espécimen de Concreto Tipo Viga de (8x12x60cm) Con Acelerador de fragua	6/08/2024	28	0.00	700°C -900°C	1:00:00	SOMETIDO A FUEGO

4.2.8. Análisis del objetivo específico 1.

Determinar la influencia del fuego en la resistencia a la flexión del concreto $f'_c=210$

kg/cm², a diferentes tiempos de exposición–Cusco-2024

Tabla 48. *Resistencia a la flexión sin aditivo acelerador de fragua VS tiempo de exposición al fuego.*

Resistencia a la flexión sin aditivo acelerador de fragua VS tiempo de exposición al fuego
--

Temperatura	Resistencia a la flexión sin aditivo acelerador de fragua kg/cm2, sometidos a 30 min de fuego (promedio)	Resistencia a la flexión sin aditivo acelerador de fragua kg/cm2, sometidos a 60 min de fuego (promedio)
0°C	49.8	49.8
Hasta 300°C	41.9	33.0
300°C -500°C	24.3	21.5
500°C -700°C	14.3	11.8
700°C -900°C	0	0.0

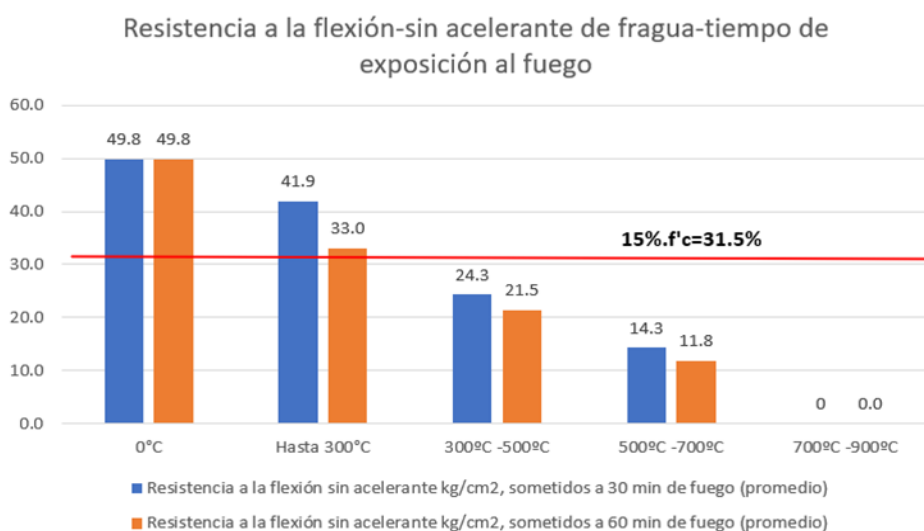


Gráfico 8. Resistencia a la flexión sin aditivo acelerador de fragua y tiempo de exposición al fuego.

En el gráfico, se nota que la exposición del concreto a más tiempo al fuego causa mayor deterioro, disminuyendo en mayor grado a temperatura de hasta 300°C, llegando a una disminución porcentual de 21.2%.

Tabla 49. Resistencia a la flexión con aditivo acelerador fragua y tiempo de exposición al fuego.

Resistencia a la flexión CON aditivo acelerador de fragua VS tiempo de exposición al fuego		
Temperatura	Resistencia a la flexión CON aditivo acelerador de fragua kg/cm2, sometidos a 30 min de fuego (promedio)	Resistencia a la flexión CON aditivo acelerador de fragua kg/cm2, sometidos a 60 min de fuego (promedio)
0°C	46.8	46.8
Hasta 300°C	37.5	27.5

300°C -500°C	22.3	16.7
500°C -700°C	13.6	0.0
700°C -900°C	0	0.0

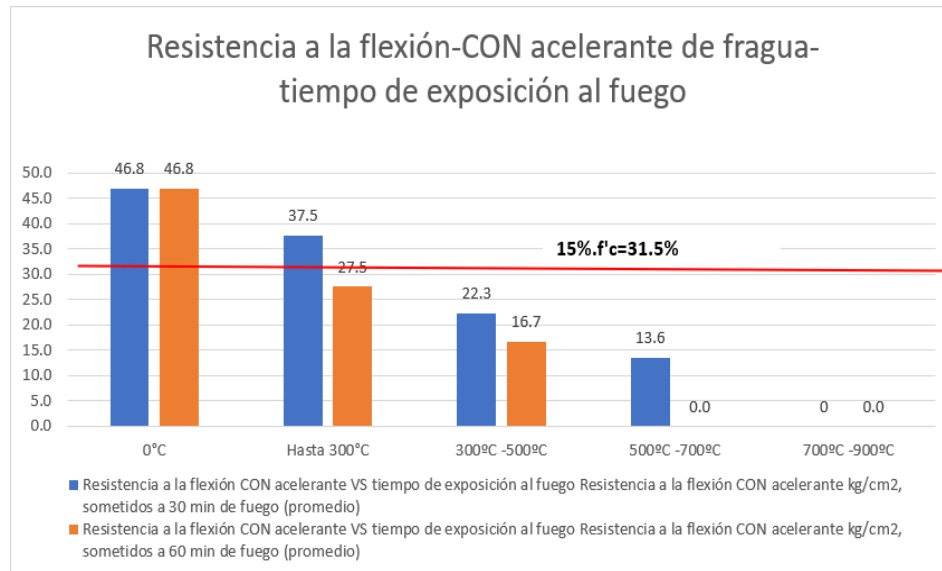


Gráfico 9. Resistencia a la flexión con aditivo acelerador de fragua y tiempo de exposición al fuego.

En el gráfico, se nota que la exposición del concreto a más tiempo al fuego causa mayor deterioro, disminuyendo en mayor grado a temperatura de hasta 300°C, llegando a una disminución porcentual de 26.6%.

Tabla 50. Resistencia a la flexión y tiempo de exposición al fuego.

Resistencia a la flexión VS tiempo de exposición al fuego				
Temperatura	Resistencia a la flexión sin acelerante de fragua kg/cm2, sometidos a 30 min de fuego (promedio)	Resistencia a la flexión sin acelerante de fragua kg/cm2, sometidos a 60 min de fuego (promedio)	Resistencia a la flexión CON aditivo acelerante de fragua kg/cm2, sometidos a 30 min de fuego (promedio)	Resistencia a la flexión CON aditivo acelerante de fragua kg/cm2, sometidos a 60 min de fuego (promedio)
0°C	49.8	49.8	46.8	46.8
Hasta 300°C	41.9	33.0	37.5	27.5

300°C -500°C	24.3	21.5	22.3	16.7
500°C -700°C	14.3	11.8	13.6	0.0
700°C -900°C	0.0	0.0	0.0	0.0

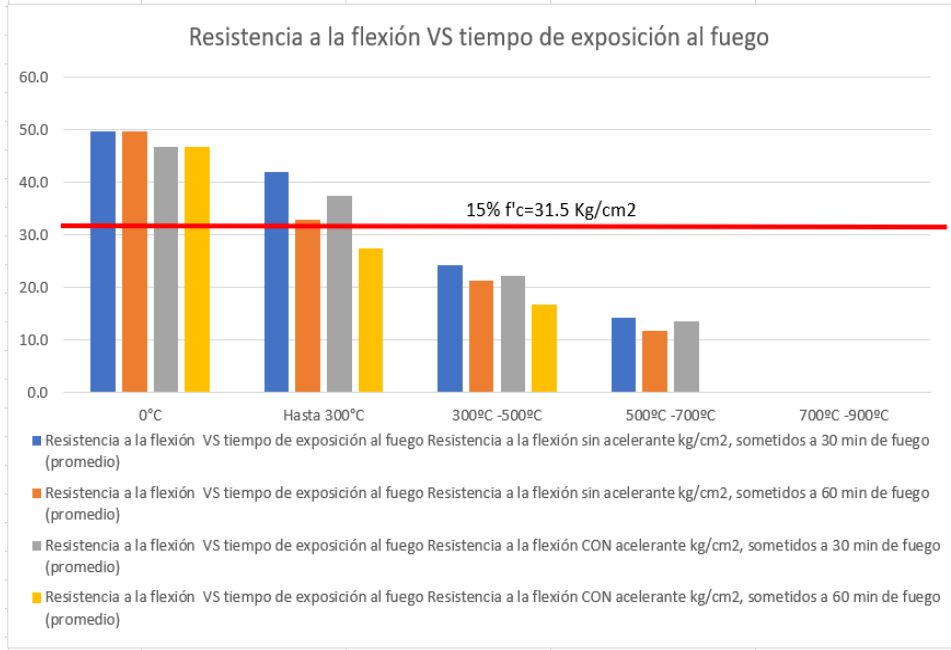


Gráfico 10. Resistencia a la flexión y tiempo de exposición al fuego.

4.2.9. Análisis del objetivo específico 2

Determinar la influencia del fuego en la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210\text{ kg/cm}^2$, a diferentes tiempos de exposición–Cusco-2024.

Tabla 51. Resistencia a la compresión sin aditivo de fragua y tiempo de exposición al fuego.

Resistencia a la compresión sin aditivo de fragua VS tiempo de exposición al fuego		
Temperatura	Resistencia a la compresión sin aditivo de fragua kg/cm2, sometidos a 30 min de fuego (promedio)	Resistencia a la compresión sin aditivo de fragua kg/cm2, sometidos a 60 min de fuego (promedio)
0°C	219.1	219.1
Hasta 300°C	214.8	214.1
300°C -500°C	199.5	177.1
500°C -700°C	163.8	151.9

700°C -900°C

131.8

102.4

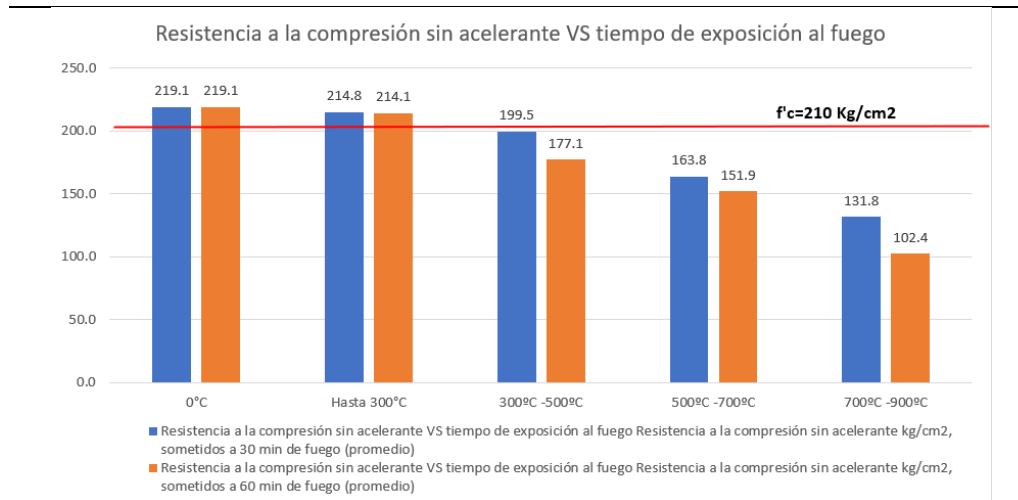


Gráfico 11. Resistencia a la compresión sin aditivo de fragua y tiempo de exposición al fuego.

Se nota en el gráfico que, a temperaturas mayores de 300°C – 500°C, el tiempo de exposición disminuye la resistencia del concreto a la compresión de 199.5 Kg/cm² a 177.1 Kg/cm², disminuyendo en un 11.2%.

Tabla 52. Resistencia a la compresión con aditivo acelerador de fragua y tiempo de exposición al fuego.

Resistencia a la compresión CON aditivo acelerante de fragua VS tiempo de exposición al fuego	
Resistencia a la compresión CON aditivo acelerante de fragua kg/cm ² , sometidos a 30 min de fuego (promedio)	Resistencia a la compresión CON aditivo acelerante de fragua kg/cm ² , sometidos a 60 min de fuego (promedio)
217.2	217.2
210.9	205.0
197.5	174.5
142.6	104.9
93.1	80.8

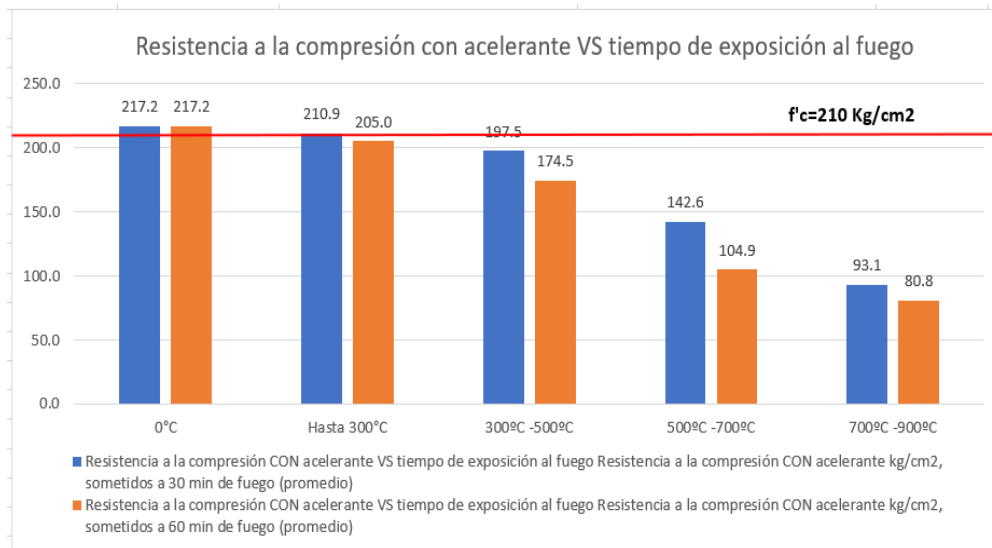


Gráfico 12. Resistencia a la compresión con aditivo acelerador de fragua y tiempo de exposición al fuego

Se nota en el gráfico que a temperaturas mayores de 300°C – 500°C el tiempo de exposición disminuye la resistencia del concreto a la compresión de 197.5 Kg/cm2 a 174.1 Kg/cm2, disminuyendo en un 11.8%.

Se observa, también, que la resistencia de diseño $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ se mantiene prácticamente igual hasta los 300°C de exposición al fuego, luego de los cuales disminuye peligrosamente, además el uso de aceleante de fragua disminuye la resistencia al fuego considerablemente.

Tabla 53. Resistencia a la compresión sin acelerante de fragua y tiempo de exposición al fuego.

Resistencia a la compresión sin acelerante de fragua VS tiempo de exposición al fuego				
Temperatura	Resistencia a la compresión sin acelerante de fragua kg/cm ² , sometidos a 30 min de fuego (promedio)	Resistencia a la compresión sin acelerante de fragua kg/cm ² , sometidos a 60 min de fuego (promedio)	Resistencia a la compresión CON aditivo acelerante de fragua kg/cm ² , sometidos a 30 min de fuego (promedio)	Resistencia a la compresión CON aditivo acelerante de fragua kg/cm ² , sometidos a 60 min de fuego (promedio)
0°C	219	219	217	217
Hasta 300°C	215	214	211	205
300°C -500°C	200	177	197	174
500°C -700°C	164	152	143	105
700°C -900°C	132	102	93	81

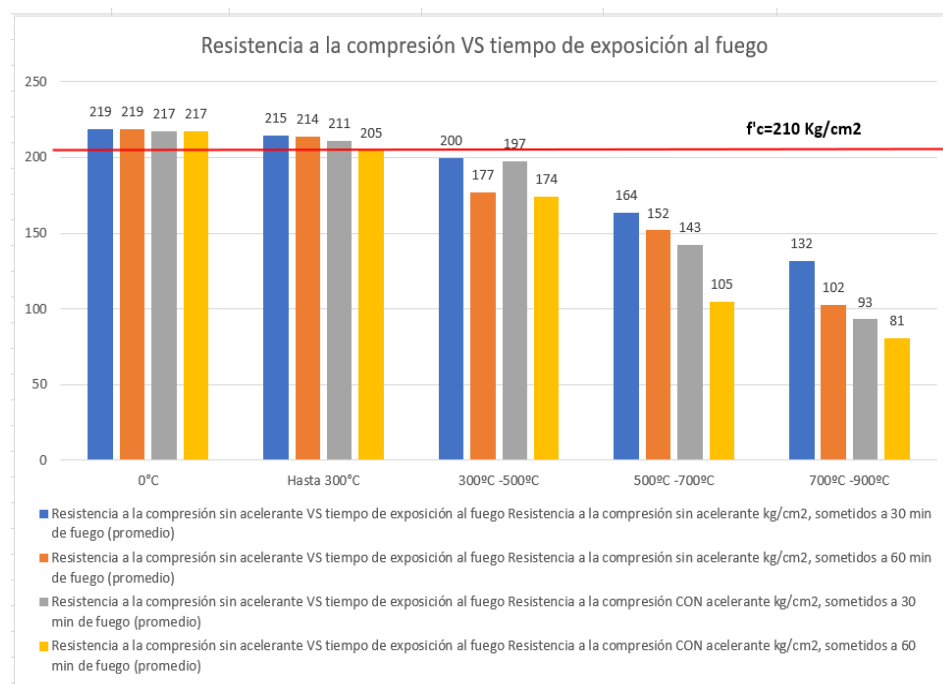


Gráfico 13. Resistencia a la compresión sin aditivo de fragua y tiempo de exposición al fuego.

4.2.10. Análisis del objetivo específico 3

Determinar la influencia del fuego en la resistencia a la flexión del concreto $f'_c=210$ kg/cm², a con aditivo acelerador de fragua –Cusco-2024

Tabla 54. Resistencia a la flexión del concreto sin aditivo de fragua y con acelerante.

Temperatura	Resistencia a la flexión sin aditivo de fragua Kg/cm2 (promedio)	Resistencia a la flexión con aditivo acelerante de fragua Kg/cm2 (promedio)
0°C	49.8	46.8
Hasta 300°C	37.4	32.5
300°C -500°C	22.9	19.5
500°C -700°C	13.5	13.6
700°C -900°C	0	1

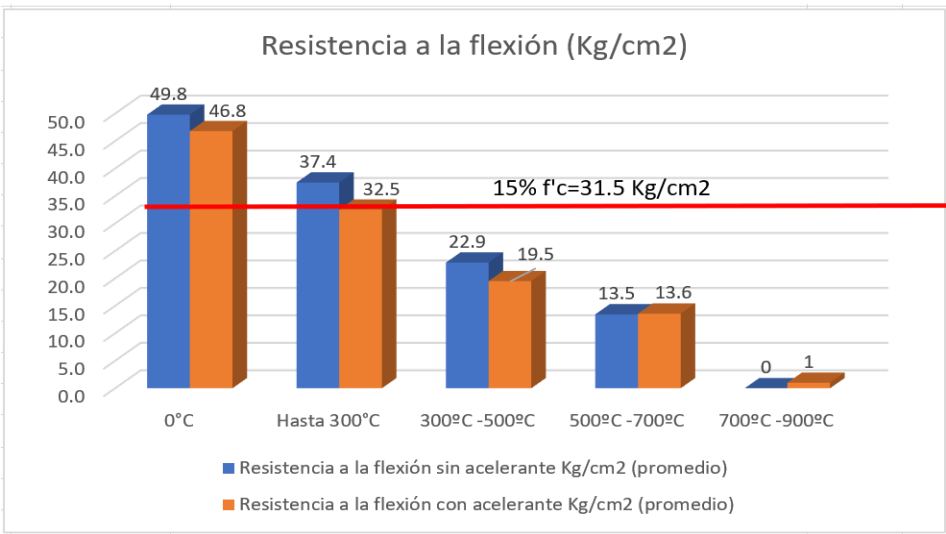


Gráfico 14. Resistencia a la flexión del concreto sin acelerante de fragua y con acelerante de fragua.

Se observa en el gráfico que el acelerante de fragua es perjudicial al concreto cuando este está sometida al fuego directo, en los resultados que se muestra en el gráfico todos los valores de la resistencia a la flexión están por debajo de los resultados, usando aceleradores de fragua.

4.2.11. Análisis del objetivo específico 4

Determinar la influencia del fuego en la resistencia a la compresión del concreto

$f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$, con aditivo acelerador de fragua –Cusco-2024

Tabla 55. *Resistencia a la compresión del concreto sin acelerante de fragua y con acelerante de fragua.*

Temperatura	Resistencia a la compresión sin acelerante de fragua kg/cm^2 (promedio)	Resistencia a la compresión con aditivo acelerante de fragua Kg/cm^2 (promedio)
0°C	219.1	217.23
Hasta 300°C	213.5	207.98
300°C -500°C	184.8	185.97
500°C -700°C	154.6	123.76
700°C -900°C	112.4	86.94

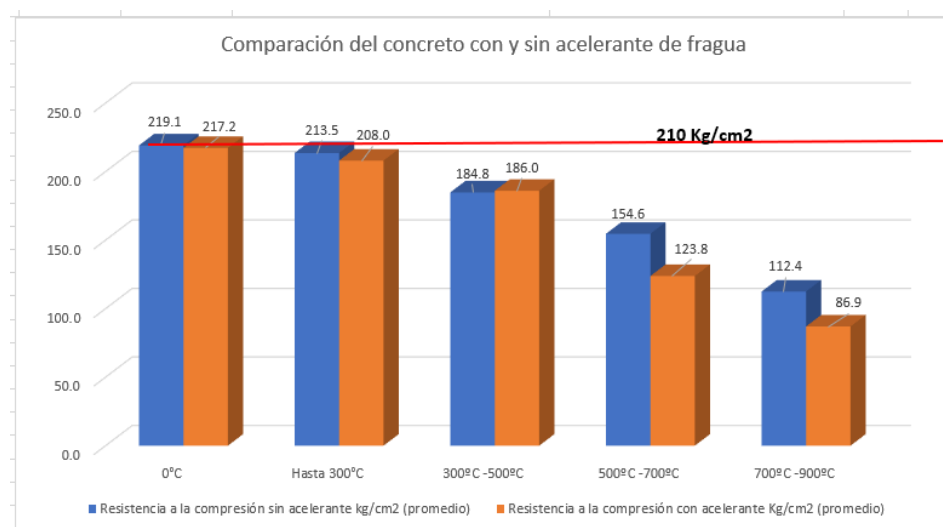


Gráfico 15. Resistencia a la compresión del concreto sin acelerante y con acelerante.

En el gráfico, se muestra que el acelerante de fragua disminuye la resistencia a la exposición al fuego del concreto, llegando a resistir máximo hasta los 300°C de temperatura.

4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en los ensayos de compresión y flexión permiten evaluar cuantitativamente la influencia del tiempo de exposición al fuego sobre la resistencia del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, con aditivo acelerador de fragua y sin aditivo.

De las briquetas sometidas a compresión, se observó una pérdida progresiva de resistencia, conforme aumentaba la temperatura. A 300°C , la pérdida de resistencia promedio fue del 18% para briquetas sin aditivos y el 25% para briquetas con aditivo de acelerante de fragua. A 500°C , estas pérdidas se incrementaron al 39% y 47% respectivamente. Finalmente, a 900°C , la pérdida de resistencia alcanzó valores críticos: 68% sin aditivos y 74% con aditivo acelerador de fragua. Estos resultados evidencian que el uso de aceleante de fragua incrementa la vulnerabilidad térmica del concreto.

Respecto a las vigas ensayadas a flexión, los especímenes sin aditivos mostraron una reducción de resistencia del 14% a 300°C , del 30% a 500°C y hasta del 65% a 900°C . En cambio, los especímenes de tipo viga con aditivo de acelador de fragua, presentaron una pérdida del 22% a 300°C , del 42% a 500°C y del 72% a 900°C . Esta diferencia significativa sugiere que los aditivos modifican la microestructura del concreto, reduciendo su cohesión térmica.

Comparando con los antecedentes nacionales, como los trabajos de Huincho (12) y Chauca y Cruz (11), los resultados son consistentes: se reportaron pérdidas superiores al 70% en resistencia a la compresión para concretos expuestos a más de 700°C durante tres horas. En esta investigación, con tiempos de exposición de hasta una hora, se alcanza ese mismo umbral de degradación, indicando que el deterioro estructural no solo depende de la temperatura, sino también de la rapidez con la que se alcanza y mantiene.

Estadísticamente, se evidenció una desviación estándar creciente en los grupos experimentales, especialmente en las muestras con aditivo de acelerador de fragua, lo que indica una menor homogeneidad estructural bajo estrés térmico. Se sugiere investigar la formulación de nuevos aditivos más resistentes al fuego.

En términos de mejora, se observó que los especímenes sin aditivos mantuvieron entre 5% y 10% más resistencia que los que sí los incluían los aditivos, lo cual representa una mejora estructural relativa de hasta 12% en las mismas condiciones térmicas.

Estos hallazgos confirman que el concreto con acelerador de fragua presenta una mayor degradación frente al fuego, y que la decisión de demoler o reparar estructuras expuestas debe considerar tanto el tipo de aditivo usado como el tiempo y temperatura de exposición.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

1. Del primer objetivo específico, se concluye que el concreto sometida a fuego directo pierda de forma más rápida su resistencia a la flexión. Edificaciones sometidas a fuego directo por más de 30 min a una temperatura de 300°C pueden ser reparados ya que su resistencia a la flexión cumple con el mínimo. Incendios de duración mayores a 60 min y a temperaturas mayores de 300°C no llegan al mínimo permisible en lo que se refiere a su resistencia a la flexión.
2. Del segundo objetivo específico, se concluye que el concreto sometida a fuego directo, pierda de forma más rápida su resistencia a la compresión. En edificaciones sometidas a fuego directo por más de 30 min a una temperatura de 300°C pueden ser reparados ya que su resistencia a la compresión cumple con el mínimo. Incendios de duración mayores a 60 min y a temperaturas mayores de 300°C no llegan al mínimo permisible, en lo que se refiere a su resistencia a la compresión, por lo tanto, se sugiere su demolición.
3. Del tercer objetivo específico se concluye que el uso de aditivo acelerador de fragua hace que el concreto sometida a fuego directo pierda de forma más rápida su resistencia a la flexión. Los incendios a temperaturas mayores a 300°C disminuyen su resistencia a la flexión de tal forma que no llegan al mínimo permisible, por lo que se sugiere demoler estas estructuras. En el caso de las pruebas a temperaturas hasta 300°C, el uso de aceleradores de fragua disminuye su resistencia de 37.4 Kg/cm² a 32.5Kg/cm² que corresponde a un 13.10%
4. Del cuarto objetivo específico se concluye que el uso del aditivo acelerador de fragua hace que el concreto sometida a fuego directo pierda de forma más rápida su resistencia a la compresión. Los incendios a temperaturas mayores a 300°C disminuyen su resistencia a la compresión de

tal forma que no llegan al mínimo permisible, por lo que se sugiere demoler estas estructuras.

En el caso de las pruebas a temperaturas hasta 300°C, el uso de aceleradores de fragua disminuye su resistencia de 213.5 Kg/cm² a 208. 0 kg/cm² que corresponde a un 2.6%.

5.2 RECOMENDACIONES

1. Se recomienda demoler las estructuras que han sido sometidas a más de una hora a incendios de mayores de 300°C. Ya que su resistencia a la flexión disminuye por debajo de lo permisible.

2. Se recomienda demoler las estructuras que han sido sometidas a más de una hora a incendios de mayores de 300°C. Ya que su resistencia a la compresión disminuye por debajo de lo permisible.

3. Se recomienda no usar el aditivo acelerador de fragua en la medida de lo posible, ya que al ser sometida la estructura a fuego directo la disminución de la resistencia a la flexión es considerable.

4. Se recomienda no aditivos aceleradores de fragua en la medida de lo posible, ya que al ser sometida la estructura a fuego directo la disminución de la resistencia a la flexión es considerable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. KODUR, V. R. (2014). "Properties of Concrete at Elevated Temperatures." *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 8(1), 21-34.
2. MINISTERIO DEL INTERIOR DEL PERÚ. (2022). "Informe Anual sobre Seguridad y Emergencias: Capacidad Operativa del Cuerpo de Bomberos." Lima, Perú.
3. CUERPO GENERAL DE BOMBEROS VOLUNTARIOS DEL PERÚ (CGBVP). (2023). "Estadísticas de Incendios en el Perú: 2018-2023." Lima, Perú.
4. MEHTA, P. K., & MONTEIRO, P. J. M. (2017). "Concrete: Microstructure, Properties, and Materials." 4th ed. McGraw-Hill Education.
5. STUDOCU. *Mesa Redonda: Resumen del incendio del 2001*. Disponible en: <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-san-ignacio-de-loyola/administracion-para-los-negocios/mesa-redonda-resumen/26388903>.
6. El Comercio. *Las ruinas que dejó el fuego en Mesa Redonda, informe especial*. Disponible en: <https://elcomercio.pe/lima/sucesos/ruinas-fuego-dejo-mesa-redonda-informe-ecpm-noticia-628545-noticia/>.
7. El Comercio. *Incendio en Mesa Redonda: ¿Hemos aprendido la lección?*. Disponible en: <https://elcomercio.pe/lima/sucesos/incendio-mesa-redonda-hemos-aprendido-noticia-628261-noticia/>.
8. AGRA, A., SILVA, F. D. A. Y LIMA, M. G. *Effect of high temperature on the mechanical properties of concrete reinforced with different fiber contents*. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2021, vol. 33, no 5.
9. GARCÍA-TRONCOSO, M., MEDINA, C. Y FRÍAS, M. *Comparative study on the properties and high temperature resistance of self-compacting concrete with various types of recycled aggregates*. *Construction and Building Materials*, 2021, vol. 282.
10. GOUDAR, S., ASHWIN, R. Y MANJUNATH, K. N. *A Review on Mechanical and Microstructure Properties of Reinforced Concrete Exposed to High Temperatures*. *Materials Today: Proceedings*, 2021, vol. 45, pp. 7167-7173.
11. CHAUCA, A. Y CRUZ, M. *Evaluación del concreto $f'c=210$ kg/cm² a altas temperaturas*. Universidad Nacional del Santa, Perú, 2014.
12. HUINCHO, M. *Evaluación de la resistencia mecánica del concreto sometido a altas temperaturas por incidencia del fuego directo*. Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, 2017.
13. ÑAUPA, J. *Evaluación del comportamiento a la flexión de vigas de concreto reforzados con*

- mortero sin contracción*. Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Perú, 2017.
14. DARWIN, D. Y RAVINDRARAJ, R. *Design of Reinforced Concrete Structures*. McGraw-Hill Education, 2018.
 15. GRANT, G. Y DRYSDALE, D. *Fire Safety Engineering: Design of Structures*. 3ª ed. Wiley-Blackwell, 2014.
 16. ANERO, R. *Manual de prevención de incendios*. Madrid: Fundación MAPFRE, 2007.
 17. Poder Judicial de la Ciudad de México. *Manual de seguridad contra incendios*. Dirección General de Protección Civil, 2017.
 18. TAMTAWI, M. *Thermal Degradation of Concrete in Fire Conditions*. Fire Safety Journal, 2015, vol. 71, pp. 290–298.
 19. BEARD, A., CARVEL, R. Y DRYSDALE, D. *The Handbook of Tunnel Fire Safety*. Thomas Telford Publishing, 2005.
 20. KHOURY, G. A. *Effect of fire on concrete and concrete structures*. Progress in Structural Engineering and Materials, 2000, vol. 2, no. 4, pp. 429–447.
 21. FLETCHER, I., BORG, A., HITCHEN, N. Y WELCH, S. *Performance of concrete in fire: A review*. Fire Safety Journal, 2006, vol. 41, no. 4, pp. 259–265.
 22. ALARCÓN-RUIZ, L., PLATRET, G., MASSIEU, E. Y EHRLACHER, A. *The use of thermal analysis in assessing the effect of temperature on a cement paste*. Cement and Concrete Research, 2005, vol. 35, no. 3, pp. 609–613.
 23. PLACIDO, M. *Comportamiento del concreto bajo exposición al fuego*. Revista de Ingeniería Civil, 1980, vol. 12, no. 3, pp. 25–34.
 24. HERNÁNDEZ SAMPIERI, R., FERNÁNDEZ COLLADO, C. Y BAPTISTA LUCIO, P. *Metodología de la investigación*. 6ª ed. México D.F.: McGraw-Hill, 2014.
 25. LÓPEZ, R. A. *Metodología de la investigación aplicada a las ciencias sociales*. México D.F.: Editorial Trillas, 2000.
 26. SMITH, P. *Investigation and Repair of Damage to Concrete Caused by Formwork and Falsework Fire*. ACI Journal, 1963, vol. 60, no. 11, pp. 1535–1566.
 27. Aprende Emergencias. *Teoría del fuego* [en línea]. Disponible en: <https://www.aprendemergencias.es/incendios/teor%C3%ADa-del-fuego/> [Consulta: abril de 2025].

ANEXOS

Anexo N° 01: Operacionalización de variables.

TIPO DE VARIABLE	VARIABLE	DIMENSIONES	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES/NIVELES	UNIDAD
Independientes:	Exposición al fuego	Temperatura	Se expone el testigo de concreto al fuego directo a una temperatura de 0°C, 400°C, 500°C, 600°C y 800°C	0°C, 400°C, 500°C, 600°C y 800°C	°C
		Tiempo de exposición	Se expone el testigo de concreto al fuego directo a periodos de 30 min:	30min, 1hora, 1.5 horas	min
	Aditivos acelerantes de fragua	Dosis del aditivo	Se elaborarán testigos de concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ con dos tipos de acelerantes de fragua	% de adición de aditivo (con respecto al porcentaje de humedad óptima de la muestra)	%
Dependientes.	Propiedades mecánicas del concreto	Resistencia a la compresión	Es la propiedad del suelo de modificación de su consistencia en relación directa a su contenido de humedad.	Fuerza de compresión Área de contacto	kg cm ²
		Resistencia a la flexión	Es la relación entre la densidad seca del suelo y la densidad seca máxima obtenida por el ensayo de Proctor	Densidad máxima seca suelo natural Humedad densidad máxima suelo natural Densidad máxima seca del suelo mejorado Humedad densidad máxima suelo mejorado	gr/cm ³ % gr/cm ³ %

Anexo N° 02: Matriz de consistencia.

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
Problema general: ¿De qué manera influye el tiempo de exposición al fuego en la resistencia del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con aditivo acelerante de fragua, Cusco, 2024?	Objetivo general: Determinar la influencia del tiempo de exposición al fuego en la resistencia del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con aditivo acelerante de fragua, Cusco, 2024.	Hipótesis general: Existe influencia significativa del tiempo de exposición al fuego en la resistencia del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con aditivo acelerante de fragua, Cusco, 2024.	Independiente: Tiempo de exposición al fuego,	Temperatura	Temperatura Máxima	Tipo: Aplicada Enfoque: Cuantitativo Nivel: Explicativo Técnicas: Ensayos de compresión y flexión Instrumentos: Máquina de compresión, ficha de datos, horno de fuego controlado
Problemas específicos: 1. ¿De qué manera influye el tiempo de exposición al fuego en la resistencia a flexión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, Cusco, 2024?	Objetivos específicos: 1. Determinar la influencia del tiempo de exposición al fuego en la resistencia a flexión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, Cusco, 2024.	Hipótesis específicas: 1. Existe influencia significativa del tiempo de exposición al fuego en la resistencia a flexión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, Cusco, 2024.	Acelerante de fragua	Dosis de Aditivo	Dosis óptima de acelerante en % al peso del cemento	
2. ¿De qué manera influye el tiempo de exposición al fuego en la resistencia a la compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, Cusco, 2024?	2. Determinar la influencia del tiempo de exposición al fuego en la resistencia a la compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, Cusco, 2024.	2. Existe influencia significativa del tiempo de exposición al fuego en la resistencia a la compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, Cusco, 2024.	Dependiente: Resistencia del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (a la compresión y a la flexión).	Resistencia a la Compresión	Resistencia promedio a los 28 días	
3. ¿De qué manera influye el tiempo de exposición al fuego en la resistencia a flexión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con acelerante de fragua, Cusco, 2024?	3. Determinar la influencia del tiempo de exposición al fuego en la resistencia a flexión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con acelerante de fragua, Cusco, 2024.	3. Existe influencia significativa del tiempo de exposición al fuego en la resistencia a flexión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con acelerante de fragua, Cusco, 2024.		Resistencia a la Flexión	Resistencia promedio a los 28 días	
4. ¿De qué manera influye el tiempo de exposición al fuego en la resistencia a la compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con acelerante de fragua, Cusco, 2024?	4. Determinar la influencia del tiempo de exposición al fuego en la resistencia a la compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con acelerante de fragua, Cusco, 2024	4. Existe influencia significativa del tiempo de exposición al fuego en la resistencia a la compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con acelerante de fragua, Cusco, 2024.				