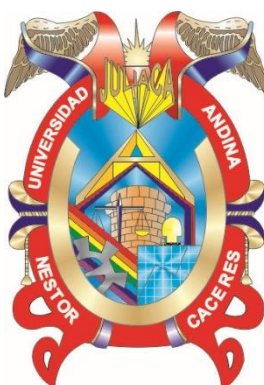




**UNIVERSIDAD ANDINA**  
**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO  
ELABORADO CON CEMENTO PORTLAND EXPUESTO  
A ALTAS TEMPERATURAS EN LA REGIÓN  
DE PUNO, 2025**

TESIS PRESENTADA POR:

**Bach. VICTOR GIL CHIPANA RIVERA**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
**INGENIERO CIVIL**

JULIACA – PERÚ

2025



**UNIVERSIDAD ANDINA**  
**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO**  
**ELABORADO CON CEMENTO PORTLAND EXPUESTO**  
**A ALTAS TEMPERATURAS EN LA REGIÓN**  
**DE PUNO, 2025**

TESIS PRESENTADA POR:

**Bach. VICTOR GIL CHIPANA RIVERA**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
**INGENIERO CIVIL**

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

**PRESIDENTE**

:

  
Dr. LEONEL SUASACA PELINCO

**PRIMER MIEMBRO**

:

  
Dr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA

**SEGUNDO MIEMBRO**

:

  
Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

**ASESOR DE TESIS**

:

  
Dr. ARNALDO YANA TORRES

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN** : TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17



**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1540-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 18 de noviembre del 2025

**VISTO:** El expediente N° 2025 - CU - 11904 presentado por el (la) Bachiller: **VICTOR GIL CHIPANA RIVERA** estudiante de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN**.

**CONSIDERANDO:**

Que, el (la) Bach. **VICTOR GIL CHIPANA RIVERA**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulada: **ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ELABORADO CON CEMENTO PORTLAND EXPUESTO A ALTAS TEMPERATURAS EN LA REGIÓN DE PUNO, 2025**, la misma que pertenece a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en concordancia con el dictamen de similitud.

De conformidad al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 24, Art. 28 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO.** - **APROBAR**, la **NOMINACIÓN DE JURADOS** integrado por los siguientes docentes:

- \* **Presidente** : Dr. LEONEL SUASACA PELINCO
- \* **1er Miembro** : Dr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA
- \* **2do Miembro** : Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

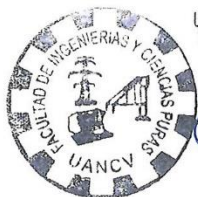
**ARTICULO SEGUNDO.** - **RECONOCER** como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **Dr. ARNALDO YANA TORRES**.

**ARTICULO TERCERO.** - **APROBAR**, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de él (la) bachiller: **VICTOR GIL CHIPANA RIVERA**; del informe final de la investigación (tesis) titulada: **ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ELABORADO CON CEMENTO PORTLAND EXPUESTO A ALTAS TEMPERATURAS EN LA REGIÓN DE PUNO, 2025** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**. de acuerdo al siguiente detalle:

- \* **FECHA** : miércoles 26 de noviembre del 2025
- \* **HORA** : 14:00 horas
- \* **LUGAR** : Aula 306 - FICP

**ARTÍCULO CUARTO.** - **DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CS. PURAS

Dr. OSCAR V. VIAMONTE CALLA  
DECANO (e)  
CIP. 32730



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. Fritz Willy Mamani Apaza  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.  
Archivo  
interesado (a)



### RESOLUCIÓN DECANAL N° 956-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 29 de agosto del 2025

**VISTO:** El expediente N° 2025-CU - 6470 por el señor (a): **VICTOR GIL CHIPANA RIVERA** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el **PROVEIDO – N° 734 - 2025-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACION (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 091 - 2025 del integrante del comité de investigación **EPIC** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

**CONSIDERANDO:**

Que, el señor (a): **VICTOR GIL CHIPANA RIVERA**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ELABORADO CON CEMENTO PORTLAND EXPUESTO A ALTAS TEMPERATURAS EN LA REGIÓN DE PUNO, 2025**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Dr. Arnaldo Yana Torres** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la **ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis)** formato N° 091 - 2025 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ELABORADO CON CEMENTO PORTLAND EXPUESTO A ALTAS TEMPERATURAS EN LA REGIÓN DE PUNO, 2025**, Correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducentes a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y estando a la opinión favorable del comité de investigación respecto al informe final de la investigación (borrador de tesis).

Estando, con la opinión favorable del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): **VICTOR GIL CHIPANA RIVERA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ELABORADO CON CEMENTO PORTLAND EXPUESTO A ALTAS TEMPERATURAS EN LA REGIÓN DE PUNO, 2025** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**, en virtud a los considerandos expuestos.

**ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR** como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) **la), Dr. ARNALDO YANA TORRES**.

**ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

  
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS  
  
DE OSCAR V. MAMONTE CALLA  
DECANO (e)  
CIP. 32730

  
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
DIRECTOR  
  
Dr. Erik Mamani Apaza  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.  
Archivo  
interesado (a)



**RESOLUCIÓN DECANAL N° 620-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 02 de julio del 2025

**VISTO:** El expediente N° 2025-CU- 4895, presentado por el señor (a) **VICTOR GIL CHIPANA RIVERA** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el **PROVEIDO - N° 467 -2025-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° **040 -2025** del integrante del comité de investigación **EPIC** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

**CONSIDERANDO:**

Que, el señor (a): **VICTOR GIL CHIPANA RIVERA** ha presentado su propuesta de investigación Titulada: **ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ELABORADO CON CEMENTO PORTLAND EXPUESTO A ALTAS TEMPERATURAS EN LA REGIÓN DE PUNO, 2025**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Dr. Arnaldo Yana Torres** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° **040 -2025-** aprobando la propuesta de investigación titulada: **ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ELABORADO CON CEMENTO PORTLAND EXPUESTO A ALTAS TEMPERATURAS EN LA REGIÓN DE PUNO, 2025**.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución **0989-2022-UANCV-CU-R**, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° **0294-2023 UANCV-CU-R**. y en merito al **Art. 25** del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° **30220**, ley de creación de la UANCV N° **23738** y modificatoria N° **24661**, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el señor (a): **VICTOR GIL CHIPANA RIVERA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulada: **ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ELABORADO CON CEMENTO PORTLAND EXPUESTO A ALTAS TEMPERATURAS EN LA REGIÓN DE PUNO, 2025** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

La misma que deberá proceder con la ejecución de la propuesta de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales.

**ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER** como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente **Dr. ARNALDO YANA TORRES**.

**ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

**Dr. OSCAR V. VIAMONTE CALLA**  
DECANO (e)  
CIP. 32730



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

**Dr. Fritz Willy Mamani Apaza**  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.  
Archivo 2025  
Interesado (a)



# 19% Similitud general

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

## Filtrado desde el informe

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

## Fuentes principales

- 11% Fuentes de Internet
- 2% Publicaciones
- 16% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

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

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



### Metadatos Complementarios UANCV

<b>Título de la tesis</b>	
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ELABORADO CON CEMENTO PORTLAND EXPUESTO A ALTAS TEMPERATURAS EN LA REGIÓN DE PUNO, 2025	
<b>Datos de autor</b>	
Nombres y apellidos	VICTOR GIL CHIPANA RIVERA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	47358889
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0009-0000-9680-2371">https://orcid.org/0009-0000-9680-2371</a>
<b>Datos de asesor</b>	
Nombres y apellidos	ARNALDO YANA TORRES
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	41414676
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0000-0002-6740-5024">https://orcid.org/0000-0002-6740-5024</a>
<b>Datos del jurado</b>	
<b>Presidente del jurado</b>	
Nombres y apellidos	LEONEL SUASACA PELINCO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40865558
<b>Miembro del jurado 1</b>	
Nombres y apellidos	FRITZ WILLY MAMANI APAZA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02306659
<b>Miembro del jurado 2</b>	
Nombres y apellidos	FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02442876

<b>Datos de investigación</b>	
Línea de investigación	Tecnología de Construcción - P17
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Puno  - Latitud: S 15° 12' 08" - Longitud: O 69° 45' 41"
	 <p><a href="https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1X-OFYI20wOc24Gd3k9DNbHce033RMeA&amp;usp=sharing">https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1X-OFYI20wOc24Gd3k9DNbHce033RMeA&amp;usp=sharing</a></p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Julio 2025 – Noviembre 2025
URL de disciplinas OCDE <a href="https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html">https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html</a> - Librería	Ingeniería Civil <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01</a>  Ingeniería del la Construcción <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03</a>



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS PURAS

*Dr. César G. Camargo Najar*  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



### DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo VICTOR GIL CHIPANA RIVERA, identificado con DNI Nro. 47358889, en mi condición de egresado de:

- Escuela Profesional**
- Programa de Segunda Especialidad,**
- Programa de Maestría o Doctorado**

INGENIERÍA CIVIL

informo que he elaborado el/la  **Tesis** o  **Trabajo de Investigación**,  **Trabajo Académico** denominada:

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ELABORADO CON CEMENTO PORTLAND  
EXPUESTO A ALTAS TEMPERATURAS EN LA REGIÓN DE PUNO, 2025

Asesorado por: Dr. ARNALDO YANA TORRES

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 28 de NOVIEMBRE del 2025



Firma del Asesor  
(obligatoria)



Firma del Estudiante  
(obligatoria)



Huella



## DEDICATORIA

A mis padres por darme ese valor con amor y apoyo, les dedico esta investigación con profundo gratitud y agradecimiento sobre todo por su sacrificio, dedicación y aliento constante que han sido la fuerza y el impulso para alcanzar mis objetivos. Este logro es también el suyo, y cada línea escrita lleva consigo el eco de su amor y apoyo.



## AGRADECIMIENTO

A Dios todo poderoso, por ser guía espiritual y emocional durante mi etapa universitaria

A mis padres por su ejemplo de constante estudio, sacrificio y perseverancia que me ha motivado para lograr exitosamente este sueño tan anhelado.



## CONTENIDO GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO .....	ii
CONTENIDO GENERAL.....	iii
CONTENIDO DE TABLAS .....	vii
CONTENIDO DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN .....	x
ABSTRACT .....	xi
INTRODUCCIÓN .....	xii

### CAPÍTULO I

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Exposición de la realidad problemática .....	15
1.1.1. Problemática internacional.....	15
1.1.2. Problemática nacional.....	17
1.1.3. Problemáticas locales .....	19
1.2. Formulación del problema .....	21
1.3. Justificación de la investigación.....	22
1.4. Objetivos.....	23
1.5. Hipótesis.....	24
1.6. Variables.....	25
1.6.1. Variable independiente .....	25
1.6.2. Variable dependiente .....	25
1.6.3. Operacionalización de variables .....	15



**CAPÍTULO II**

**MARCO TEÓRICO REFERENCIAL**

2.1. Antecedentes de la investigación ..... 16

    2.1.1. Antecedentes internacionales ..... 16

    2.1.2. Antecedentes nacionales ..... 18

    2.1.3. Antecedentes locales ..... 20

2.2. Marco teórico ..... 21

    2.2.1. Concreto ..... 21

    2.2.2. Incendio y su impacto en materiales de construcción ..... 29

    2.2.3. Equipos utilizados para elaboración y ensayo de muestras ..... 33

2.3. Conceptos fundamentales ..... 40

**CAPÍTULO III**

**MÉTODOLÓGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

3.1. Enfoque de investigación ..... 43

3.2. Tipo de investigación ..... 44

3.3. Nivel de investigación ..... 44

3.4. Diseño de investigación ..... 45

3.5. Método de investigación ..... 45

3.6. Ámbito de investigación ..... 46

3.7. Población y muestra ..... 46

    3.7.1. Población ..... 46

    3.7.2. Muestra ..... 46

3.8. Técnicas de recolección de datos ..... 48



3.9. Instrumentos de recolección de datos .....	48
3.10. Ensayos realizados.....	49
3.10.1. Ensayo de granulometría del agregado grueso .....	49
3.10.2. Ensayo de granulometría del agregado fino .....	50
3.10.3. Ensayos del agregado grueso .....	51
3.10.4. Peso seco suelto y compactado .....	52
3.10.5. Peso específico y absorción .....	52
3.10.6. Contenido de humedad.....	53
3.11. Procedimiento de exposición térmica (quemado de probetas) .....	54
3.12. Relación con el fuego y justificación del procedimiento.....	58

### **CAPÍTULO IV**

#### **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

4.1. Caracterización de la cantera YOCARÁ.....	59
4.1.1. Ubicación geográfica.....	59
4.2. Propiedades físicas de los agregados Cantera Yocará .....	60
4.2.1. Ensayo de granulometría (ASTM C136) .....	60
4.2.2. Ensayo de absorción y peso específico .....	64
4.2.3. Ensayo de peso unitario.....	66
4.2.4. Ensayo de humedad .....	68
4.2.5. Ensayo de abrasión los ángeles .....	70
4.2.6. Diseño de mezclas.....	71
4.2.1. Ensayo del asentamiento .....	72
4.2.2. Resistencia a la compresión sometidas al fuego .....	73



4.2.3. Tabla resumen de resistencias alcanzadas .....	79
4.3. Cambios de coloración del concreto en la exposición a altas temperaturas. ....	81
4.4. Discusión de resultados.....	85
4.4.1. Caracterización de los agregados utilizados en la mezcla .....	85
4.4.2. Influencia de la temperatura en la resistencia a la compresión del concreto .....	86
4.4.3. Efecto de la duración de la exposición térmica .....	87
4.4.4. Integración de resultados y validez del objetivo general .....	88
CONCLUSIONES .....	89
RECOMENDACIONES .....	91
BIBLIOGRAFÍA .....	93
ANEXOS .....	95



## CONTENIDO DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Operacionalización de variables .....	15
<b>Tabla 2</b> Granulometría para agregado fino NTP 400.037 .....	23
<b>Tabla 3</b> Uso granulométrico para agregado Grueso .....	25
<b>Tabla 4</b> Distribución de probetas por nivel térmico y tiempo de exposición....	47
<b>Tabla 5</b> Resultado del análisis granulométrico del agregado grueso.....	60
<b>Tabla 6</b> Pesos específicos y absorción del agregado grueso .....	64
<b>Tabla 7</b> Pesos específicos y absorción del agregado fino .....	65
<b>Tabla 8</b> Peso unitario suelto y compactado de los agregados gruesos .....	66
<b>Tabla 9</b> Peso unitario suelto y compactado de los agregados finos .....	67
<b>Tabla 10</b> Ensayo del contenido de humedad del agregado fino .....	69
<b>Tabla 11</b> Ensayos de la abrasión de los ángeles.....	70
<b>Tabla 12</b> Cantidad de materiales corregidos por m3 .....	71
<b>Tabla 13</b> Resumen del asentamiento de las muestras .....	72
<b>Tabla 14</b> Banco de probetas hechas para posterior análisis de exposición al fuego .....	73
<b>Tabla 15</b> Resultados de verificación de la resistencia en compresión del concreto producido en la región de Puno, sin exposición a altas temperaturas	74
<b>Tabla 16</b> Resultados de verificación de la resistencia en compresión del concreto producido en la región de Puno, expuesto a temperatura de 150°C.	75
<b>Tabla 17</b> Resultados de verificación de la resistencia en compresión del concreto producido en la región de Puno, expuesto a temperatura de 300°C .	76



<b>Tabla 18</b> Resultados de verificación de la resistencia en compresión del concreto producido en la región de Puno, expuesto a temperatura de 450°C .	77
<b>Tabla 19</b> Resultados de verificación de la resistencia en compresión del concreto producido en la región de Puno, expuesto a temperatura de 600°C .	78
<b>Tabla 20</b> Tabla resumen tiempo de exposición 60 min.....	79
<b>Tabla 21</b> Tabla resumen tiempo de exposición 120 min.....	80



## CONTENIDO DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Incendio ocurrido el 15 de mayo de 2025 en el distrito de Desaguadero.....	21
<b>Figura 2</b> Tamizado del agregado grueso.....	50
<b>Figura 3</b> Tamizado del agregado fino.....	51
<b>Figura 4</b> Peso seco compactado del agregado fino .....	52
<b>Figura 5</b> Peso del picnómetro más muestra.....	53
<b>Figura 6</b> Muestras en el horno para el contenido de humedad .....	54
<b>Figura 7</b> Proceso de calentamiento del horno.....	55
<b>Figura 8</b> Colocación de las probetas en el horno .....	56
<b>Figura 9</b> .....	57
<b>Figura 10</b> Curva del gráfico de granulometría del agregado grueso .....	61
<b>Figura 11</b> Curva del gráfico de granulometría agregado fino .....	63
<b>Figura 12</b> Grafica de cantidad de materiales.....	71
<b>Figura 13</b> Ensayo de asentamiento.....	72
<b>Figura 14</b> Rotura de briquetas.....	74
<b>Figura 15</b> Grafico de tabla resumen de temperatura vs resistencia a la compresión.....	80
<b>Figura 16</b> Color y Daño del Concreto .....	82
<b>Figura 17</b> Briquetas expuestas a altas temperaturas de 300°C – 450°C .....	83
<b>Figura 18</b> Briquetas expuestas a altas temperaturas de 450°C – 600°C .....	84



## RESUMEN

El presente estudio tuvo como propósito determinar el efecto de la exposición a altas temperaturas en el comportamiento mecánico del concreto convencional  $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , elaborado con materiales representativos de la región de Puno durante el año 2025. La investigación fue de tipo aplicada, con diseño experimental, evaluando el desempeño de un total de 36 probetas cilíndricas sometidas a temperaturas de  $150^\circ\text{C}$ ,  $300^\circ\text{C}$ ,  $450^\circ\text{C}$  y  $600^\circ\text{C}$ , durante 60 y 120 minutos, además de un grupo control a temperatura ambiente. Se caracterizaron los agregados, obteniéndose para el agregado fino un módulo de fineza de 3.33, absorción de 2.41% y peso unitario compactado de  $1.811 \text{ g/cm}^3$ , mientras que el agregado grueso presentó TMN de 1", absorción de 2.97% y peso unitario compactado de  $1.736 \text{ g/cm}^3$ , todos dentro de rangos adecuados para diseño de mezclas. Se ensayaron 36 probetas expuestas a  $150^\circ\text{C}$ ,  $300^\circ\text{C}$ ,  $450^\circ\text{C}$  y  $600^\circ\text{C}$ , durante 60 y 120 minutos, observándose una reducción progresiva de la resistencia a la compresión: a  $150^\circ\text{C}$  se conservó entre 84–92%, a  $300^\circ\text{C}$  entre 72–82%, a  $450^\circ\text{C}$  entre 46–51% y a  $600^\circ\text{C}$  entre 35–40%. Asimismo, el tiempo de exposición mostró un efecto adicional, aunque menos severo que la temperatura. En conjunto, los resultados evidencian que el concreto mantiene un comportamiento aceptable hasta los  $150^\circ\text{C}$ , sufre deterioro moderado a  $300^\circ\text{C}$ , y alcanza un daño crítico a partir de  $450^\circ\text{C}$ , especialmente a  $600^\circ\text{C}$ , donde pierde más de la mitad de su resistencia inicial.

**Palabras clave:** concreto, altas temperaturas, resistencia a compresión, cemento Portland.



## ABSTRACT

The purpose of this study was to determine the effect of exposure to high temperatures on the mechanical behavior of conventional concrete  $f'c = 210$  kg/cm<sup>2</sup>, made with materials representative of the Puno region during the year 2025. The research was applied, with an experimental design, evaluating the performance of a total of 36 cylindrical test specimens subjected to temperatures of 150°C, 300°C, 450°C, and 600°C for 60 and 120 minutes, in addition to a control group at room temperature. The aggregates were characterized, obtaining a fineness modulus of 3.33, absorption of 2.41%, and compacted unit weight of 1.811 g/cm<sup>3</sup> for the fine aggregate, while the coarse aggregate had a TMN of 1", absorption of 2.97%, and compacted unit weight of 1.736 g/cm<sup>3</sup>, all within ranges suitable for mix design. Thirty-six test specimens were tested at 150°C, 300°C, 450°C, and 600°C for 60 and 120 minutes, showing a progressive reduction in compressive strength: at 150°C it remained between 84–92%, at 300°C between 72–82%, at 450°C between 46–51%, and at 600°C between 35–40%. Likewise, exposure time showed an additional effect, although less severe than temperature. Overall, the results show that concrete maintains acceptable performance up to 150°C, suffers moderate deterioration at 300°C, and reaches critical damage at 450°C, especially at 600°C, where it loses more than half of its initial strength.

Keywords: concrete, high temperatures, compressive strength, Portland cement.



## INTRODUCCIÓN

El concreto es uno de los materiales más utilizados en la ingeniería civil debido a su resistencia, durabilidad y versatilidad; sin embargo, cuando se expone a altas temperaturas puede experimentar alteraciones significativas en su comportamiento físico y mecánico. Comprender estos cambios es fundamental para predecir el desempeño estructural durante y después de un incendio. En este contexto, la presente investigación analiza el comportamiento térmico del concreto elaborado con cemento Portland tipo IP, evaluando la pérdida de resistencia a la compresión tras su exposición controlada a diferentes niveles de temperatura, en un estudio aplicado a las condiciones constructivas predominantes en la región de Puno durante el año 2025.

El contenido del trabajo se estructura de la siguiente manera:

Capítulo I: Se desarrolla el planteamiento del problema, los objetivos, la hipótesis y la justificación, además de la definición de las variables de estudio.

Capítulo II: Se presenta el marco teórico y referencial, incluyendo antecedentes nacionales e internacionales, así como fundamentos sobre el concreto, sus componentes, los efectos del calor y el comportamiento del material frente al fuego.

Capítulo III: Se describe la metodología empleada, el diseño experimental, la caracterización de materiales, los procedimientos de ensayo y el procesamiento estadístico de los resultados.



Capítulo IV: Se exponen y analizan los resultados obtenidos, comparando las condiciones iniciales con los efectos posteriores a la exposición térmica, y se discuten los hallazgos a la luz de la teoría y estudios previos.

Finalmente, este estudio busca contribuir al entendimiento del desempeño del concreto bajo condiciones de incendio, proporcionando información técnica relevante para mejorar el diseño, la evaluación y la toma de decisiones en estructuras de concreto en la ingeniería civil local.



## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. Exposición de la realidad problemática

##### 1.1.1. *Problemática internacional*

La exposición del concreto a altas temperaturas es un problema técnico de gran relevancia internacional debido a su impacto en la resistencia mecánica y la durabilidad estructural de edificaciones e infraestructuras. En escenarios donde ocurren incendios u otros eventos térmicos extremos, el cemento Portland, uno de los componentes más utilizados en la construcción mundial, experimenta cambios físico-químicos que comprometen sus propiedades mecánicas, lo cual puede generar colapsos parciales o totales de estructuras. Este fenómeno no solo representa una amenaza para la seguridad de las personas, sino también para la sostenibilidad de las inversiones públicas y privadas. Investigaciones recientes han demostrado que, al superar los 300 °C, el concreto convencional empieza a perder significativamente su capacidad portante (Kodur & Phan, 2018). Esta problemática ha motivado el desarrollo de estudios especializados en diversas regiones del mundo, con el objetivo de



caracterizar el comportamiento del concreto en función de sus componentes, condiciones ambientales y métodos de fabricación. La importancia de estas investigaciones radica en la necesidad de adaptar las tecnologías constructivas a los riesgos térmicos crecientes, asegurando infraestructuras más seguras y resilientes.

El calentamiento global está modificando progresivamente las condiciones climáticas en todo el planeta, intensificando fenómenos térmicos extremos como olas de calor, incendios forestales e incremento de las temperaturas máximas en zonas urbanas y rurales. Esta situación plantea un desafío adicional para la ingeniería civil y los materiales de construcción, particularmente en relación con el concreto fabricado a partir de cemento Portland. La exposición continua o intermitente a altas temperaturas puede alterar la microestructura del concreto, reducir su resistencia a compresión y afectar su integridad estructural. Según Habert et al. (2020), las estrategias de adaptación climática deben considerar el rediseño de materiales que resistan condiciones más severas, especialmente en países en vías de desarrollo donde la infraestructura es más vulnerable. Este escenario obliga a los investigadores a evaluar el desempeño térmico del concreto en contextos específicos, de modo que se puedan desarrollar mezclas más resistentes al calor y reducir la huella de carbono asociada al ciclo de vida de estos materiales. En consecuencia, el estudio del comportamiento térmico del concreto se ha convertido en una prioridad para garantizar la sostenibilidad y resiliencia de las construcciones frente al cambio climático.

La variabilidad geográfica y climática exige que los estudios sobre el comportamiento del concreto ante altas temperaturas se adapten a las



características de cada región. Esto es especialmente relevante en zonas altoandinas como la región de Puno, donde las temperaturas pueden fluctuar drásticamente entre el día y la noche, afectando la microestructura del concreto durante su fraguado, curado y vida útil. Mehta y Monteiro (2014) sostienen que, para lograr un diseño eficiente de mezclas, es necesario comprender el comportamiento térmico del concreto en condiciones locales y no basarse únicamente en parámetros estándar obtenidos en otras latitudes. Esta necesidad ha motivado un creciente interés en investigaciones contextualizadas que consideren factores como la altitud, el tipo de cemento, los agregados disponibles y las condiciones de exposición. La búsqueda de soluciones sostenibles y adaptadas a contextos específicos también está alineada con los objetivos globales de desarrollo sostenible, que promueven la innovación tecnológica con enfoque territorial. En este sentido, investigar el desempeño térmico del concreto en la región de Puno no solo es pertinente a nivel local, sino también valioso para la comunidad científica internacional.

### **1.1.2. Problemática nacional**

En el Perú, las estructuras de concreto fabricadas con cemento Portland enfrentan un riesgo creciente frente a escenarios térmicos extremos, ya sea por incendios, altas temperaturas ambientales o procesos industriales locales. En investigaciones realizadas dentro del país se ha observado que las altas temperaturas internas durante el vaciado del concreto pueden afectar su resistencia final, disminuyendo la capacidad portante del material (Cubas Rosales, 2021). Por ejemplo, el estudio "Influencia de las altas temperaturas internas del vaciado del concreto" revela que a mayor temperatura durante el proceso de colocación, hay una reducción significativa de la resistencia a



compresión en edades avanzadas (Cubas Rosales, 2021). Este fenómeno adquiere particular relevancia en zonas de la sierra y territorios con variaciones térmicas intensas, pues las mezclas convencionales de concreto no han sido optimizadas para esas condiciones locales. Sin una adecuada caracterización, existe el peligro de que edificaciones e infraestructuras peruanas experimenten degradación prematura, pérdida de servicio o fallas estructurales bajo condiciones térmicas severas.

Diversas investigaciones peruanas muestran que cuando el concreto armado es sometido a fuego o altas temperaturas directas, la resistencia mecánica disminuye progresivamente conforme aumentan la temperatura y el tiempo de exposición. Un estudio llevado a cabo en la región Tacna sobre concreto reforzado sometido a fuego directo reveló que, al exponer muestras a temperaturas crecientes (incrementos de 100 °C cada 15 minutos), la resistencia del concreto disminuye en forma notable, llegando a fallas críticas alrededor de los 750 °C (Navarro Rojas & Colque Quispe, 2021). Esto es especialmente importante en Perú, pues muchas construcciones no cuentan con protecciones térmicas aprobadas ni diseños específicos frente al fuego. Además, otra investigación nacional evidenció efectos de cambio de color, pérdida de rigidez y deflexiones al elevar la temperatura en probetas de concreto estructural (UPC, 2025). Estas evidencias demuestran que la respuesta térmica del concreto en el contexto peruano no es anecdótica sino una problemática real que compromete la seguridad estructural y requiere atención científica local.

Otro aspecto crítico para el Perú es la influencia de las condiciones locales de temperatura ambiente en el desempeño del concreto durante su



fraguado, curado y endurecimiento. Un estudio realizado en el contexto nacional evidenció que los concretos fabricados, puestos en obra o curados con temperaturas elevadas muestran un comportamiento peculiar: aunque en etapas tempranas pueden alcanzar resistencias relativamente altas, a edades avanzadas la resistencia disminuye debido a que la matriz se vuelve más porosa y menos uniforme (Rojas Clavo, 2019). Esto implica que lo que sirva como diseño óptimo bajo condiciones estándar no necesariamente será adecuado en regiones peruanas con clima variable o temperaturas elevadas. Aún más, en otro trabajo realizado en Perú se encontró que al aplicar temperaturas ambientales promedio altas (por ejemplo, 30 °C) en pruebas de laboratorio, los resultados mecánicos del concreto resultan inferiores comparados con el concreto de diseño (Mondalگو Román, 2024). Esta situación nacional muestra que no basta con importar fórmulas de mezcla genéricas: es imprescindible realizar estudios adaptados a las condiciones peruanas, para formular mezclas que garanticen desempeño térmico y estructural bajo el clima del país.

### **1.1.3. Problemáticas locales**

En la región de Puno, muchas obras de infraestructura se ubican por encima de los 3 000 metros sobre el nivel del mar, donde las condiciones climáticas son extremas y el gradiente térmico la diferencia de temperatura entre el día y la noche puede ser muy marcado. Por ejemplo, en el distrito de Usicayos, se observó que la temperatura ambiente influye en la determinación de la "ventana de aserrado" de pavimentos rígidos de concreto diseñados para más de 3 000 msnm, lo que evidencia que las condiciones térmicas locales afectan directamente el momento óptimo de operación en obra (Choquepata



Mamani, 2021). Esta variación puede inducir grietas tempranas, contracciones no controladas y alteraciones en las propiedades mecánicas del concreto, lo que pone en riesgo la calidad y durabilidad de pavimentos y estructuras locales. Al no considerar estas condiciones en el diseño o control de obra, las construcciones pueden mostrar fallas prematuras o requerir mantenimiento temprano, lo que incrementa costos y compromete funcionalidad.

Otro problema local crítico está vinculado a la corrosión del acero de refuerzo en estructuras de concreto en la ciudad de Puno, exacerbado por condiciones climáticas particulares. Un estudio reciente sobre el "Impacto de la corrosión y el medio ambiente en la vida útil del concreto armado en Puno" señala que la alta humedad ambiental, las precipitaciones estacionales, las variaciones térmicas diarias y la presencia de contaminantes favorecen la oxidación del acero de refuerzo, reduciendo la capacidad estructural del hormigón armado (Canaza Salcedo, 2025). Estas condiciones locales, combinadas con ciclos térmicos de calentamiento y enfriamiento diarios en altitud, generan esfuerzos térmicos y fisuración que abren vías de ingreso para agentes agresivos. Así, el comportamiento estructural frente a altas temperaturas no puede analizarse aisladamente: debe integrarse al estudio de la durabilidad en el contexto puneño, donde la interacción entre calor, humedad, corrosión y fatiga térmica es una amenaza concreta para la infraestructura local.

En la región Puno, los incendios urbanos vinculados al almacenamiento informal de combustibles representan un riesgo creciente para las viviendas y edificaciones. Un caso reciente es el incendio ocurrido el 15 de mayo de 2025 en el distrito de Desaguadero, donde la explosión de balones de gas almacenados clandestinamente generó un siniestro de gran magnitud,

poniendo en peligro la vida y las propiedades de los habitantes. Este tipo de eventos evidencia la exposición potencial del concreto a altas temperaturas, situación que requiere estudios técnicos que permitan comprender su efecto sobre las propiedades mecánicas del material. Central Única de Barrios de Desaguadero. (2025). *Pronunciamento ante el incendio del 15 de mayo de 2025*.

### Figura 1

*Incendio ocurrido el 15 de mayo de 2025 en el distrito de Desaguadero*



## 1.2. Formulación del problema

### Problema general:

¿Cómo es el comportamiento del concreto elaborado con cemento portland expuesto a altas temperaturas en la región de puno, 2025?

## **Problemas específicos:**

1. ¿Cuáles son las propiedades físicas de los agregados usados para el diseño del concreto expuesto a altas temperaturas en la región de Puno, 2025?
2. ¿Cómo influye la temperatura de exposición en la resistencia a la compresión del concreto con cemento Portland en la región de Puno, 2025?
3. ¿Cuál es la influencia del tiempo de exposición del concreto elaborado con cemento portland ante las altas temperaturas en la región de Puno, 2025?

### **1.3. Justificación de la investigación**

#### **Justificación teórica:**

Esta investigación contribuye a llenar un vacío en el conocimiento técnico sobre el comportamiento del concreto frente a temperaturas extremas en regiones altoandinas. El estudio permitirá comprender las transformaciones físicas y mecánicas del concreto con cemento Portland tipo IP, fortaleciendo la base científica para futuros estudios e innovaciones en el diseño de materiales resistentes al fuego.

#### **Justificación práctica:**

Los resultados permitirán establecer criterios técnicos para la selección de materiales, diseño de mezclas y protocolos constructivos adaptados a contextos como el de Puno, mejorando la seguridad, vida útil y funcionalidad de las edificaciones.



### **Justificación metodológica:**

Se empleará un enfoque experimental, con ensayos de compresión y caracterización de propiedades antes y después de la exposición térmica. Las condiciones estarán controladas y ajustadas al contexto de materiales disponibles localmente.

### **Justificación técnica:**

En Perú, no existen lineamientos técnicos claros sobre la resistencia térmica del concreto tipo IP en zonas de altitud. Este estudio generará información relevante para normativas y protocolos de seguridad estructural en zonas similares.

### **Justificación económica:**

Construcciones adaptadas a condiciones térmicas extremas reducen los costos de mantenimiento, rehabilitación y pérdida de activos, lo cual representa una mejora significativa en la eficiencia del gasto público y privado en infraestructura.

### **Justificación social:**

Las poblaciones de la región de Puno se beneficiarán directamente de edificaciones más seguras, resistentes y adaptadas a su entorno climático. Esto impacta en su bienestar, seguridad y calidad de vida.

## **1.4. Objetivos**

### **Objetivo general**

Analizar el comportamiento del concreto elaborado con cemento portland expuesto a altas temperaturas en la región de Puno, 2025.



## Objetivos específicos

1. Caracterizar las propiedades físicas de los agregados utilizados en el diseño del concreto elaborado con cemento Portland en la región de Puno, 2025.
2. Evaluar la influencia de diferentes niveles de temperatura en la resistencia a la compresión del concreto elaborado con cemento Portland en la región de Puno, 2025.
3. Determinar la influencia del tiempo de exposición del concreto elaborado con cemento portland ante las altas temperaturas en la región de Puno, 2025.

## 1.5. Hipótesis

### Hipótesis general

La exposición a altas temperaturas afecta significativamente el comportamiento del concreto elaborado con cemento Portland en la región de Puno, 2025.

### Hipótesis específicas

1. Las propiedades físicas de los agregados influyen en el comportamiento del concreto expuesto a altas temperaturas.
2. La temperatura de exposición reduce significativamente la resistencia a la compresión del concreto con cemento Portland.
3. La influencia del tiempo de exposición del concreto con cemento Portland sometido a altas temperaturas disminuye significativamente la resistencia a la compresión.



## 1.6. Variables

### 1.6.1. Variable independiente

Temperatura de exposición

- Naturaleza: Numérica continua
- Unidad: °C
- Niveles sugeridos: 25°C (control), 200°C, 400°C, 600°C

Tiempo de exposición térmica

- Naturaleza: Numérica discreta
- Valores: 0, 60, 120 minutos

#### **Definición conceptual:**

Es la variable que se manipula de forma intencionada en el experimento para evaluar su efecto sobre el concreto. En este caso, se refiere al nivel de temperatura (en °C) y tiempo de exposición (en minutos u horas) a la que se somete el concreto curado.

### 1.6.2. Variable dependiente

Comportamiento del concreto

#### **Indicadores:**

- Resistencia a la compresión (MPa)
- Cambios físicos: color, fisuración, desprendimiento.
- Variación de masa (opcional)
- Integridad estructural observable (leve / moderada / severa)





### 1.6.3. Operacionalización de variables

**Tabla 1**

*Operacionalización de variables*

Variable	Indicadores	Valores finales	Tipo de variable
<b>Variable independiente</b>			
Temperatura de exposición	Temperatura aplicada en horno	25°C, 150°C, 200°C, 400°C, 600°C	Numérica continua
- Tiempo de exposición	Minutos de calentamiento	0, 60, 120 min	Numérica discreta
<b>Variable dependiente</b>			
Comportamiento del concreto			
- Resistencia a la compresión	Carga máxima / área	MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	Numérica continua
- Cambios físicos	Color, fisuras, desprendimiento	Leve / moderado / severo	Categoría ordinal
- Integridad estructural	Agrietamiento visible	Estable / parcialmente dañada / fallada	Categoría ordinal
- Variación de masa	Diferencia de peso antes-después	g o %	Numérica continua



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

##### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Kodur y Phan (2018) realizaron una revisión exhaustiva sobre el comportamiento del concreto estructural de alta resistencia expuesto al fuego. Analizaron datos experimentales de concretos sometidos a temperaturas entre 200 °C y 1 000 °C, evaluando parámetros como resistencia a la compresión, módulo elástico, pérdida de masa y conductividad térmica. Encontraron que, a partir de los 300 °C, la resistencia disminuye rápidamente debido a la deshidratación del gel de C-S-H y la expansión térmica diferencial entre la pasta de cemento y los agregados. Además, documentaron que los concretos con alta densidad y baja permeabilidad son más propensos al "spalling" explosivo. Concluyeron que el deterioro térmico es más severo en concretos de alta resistencia que en los convencionales, y recomendaron la incorporación de



fibras de polipropileno o materiales puzolánicos como mitigadores del daño térmico.

Habert et al. (2020) analizaron los impactos ambientales y las estrategias de descarbonización en la industria del cemento y del concreto, destacando la relación entre el cambio climático y la durabilidad térmica de los materiales. Mediante una revisión comparativa de modelos termoquímicos y análisis de ciclo de vida, concluyeron que el aumento global de las temperaturas y la frecuencia de incendios urbanos exige el desarrollo de cementos con menor emisión de CO<sub>2</sub> y mayor estabilidad térmica. Los autores señalaron que la exposición prolongada a temperaturas de 400 °C a 600 °C ocasiona pérdida de cohesión en la matriz cementicia, formación de microfisuras y reducción de la resistencia a la compresión en más del 50 %. Propusieron el uso de cementos tipo Portland con adiciones minerales (cenizas volantes, escorias y calizas activadas) para mejorar la sostenibilidad y el desempeño térmico en climas extremos.

Mehta y Monteiro (2014) desarrollaron un estudio experimental y teórico sobre las propiedades microestructurales y térmicas del concreto fabricado con cemento Portland ordinario. Evaluaron probetas sometidas a ciclos térmicos controlados entre 20 °C y 800 °C, analizando la descomposición del hidróxido de calcio, el colapso de la matriz de C-S-H y el aumento de porosidad mediante microscopía electrónica de barrido (SEM). Identificaron que el concreto sufre microfisuración progresiva a partir de los 400 °C, intensificándose entre los 600 °C y 700 °C, con pérdida irreversible de resistencia estructural. Además, observaron cambios de color y reducción de densidad que sirven como indicadores visuales del daño térmico. Concluyeron que la selección de



agregados con baja expansión térmica y el empleo de adiciones puzolánicas pueden mejorar la estabilidad frente al calor, especialmente en zonas con variaciones térmicas extremas.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Cubas Rosales (2021) investigó la influencia de las altas temperaturas internas del vaciado del concreto en su resistencia final. En su estudio experimental, elaboró probetas de concreto bajo distintas condiciones térmicas internas (sin disipación de calor adecuada) y midió su resistencia a compresión a edades predeterminadas. Los resultados mostraron que, al aumentar la temperatura en el momento del vaciado, la resistencia del concreto disminuye significativamente respecto a la condición control. La autora concluyó que la temperatura interna de fraguado debe manejarse cuidadosamente, mediante estrategias como enfriamiento del agua de mezclado o aislamiento, para conservar la resistencia esperada.

Navarro Rojas (2021) evaluó el comportamiento del concreto reforzado sometido a fuego directo en la región de Tacna. Diseñó experimentos aplicando incrementos de temperatura de 100 °C cada 15 minutos y expuso las muestras durante tiempos controlados, llegando a condiciones extremas de hasta 750 °C. Observó que la resistencia del concreto disminuía progresivamente con el aumento de la temperatura y que la falla estructural ocurría en exposiciones largas o temperaturas elevadas ( $\geq 750$  °C). Concluyó que, en ese contexto regional, el concreto reforzado no mantiene su integridad estructural más allá de ciertos umbrales térmicos, lo que exige criterios estrictos de diseño ante calor extremo.



Huincho (2017) analizó el deterioro mecánico del concreto expuesto directamente al fuego, motivado por el incremento de incendios y la necesidad de comprender el comportamiento real del material bajo altas temperaturas. Para ello, ensayó probetas elaboradas con distintas relaciones agua/cemento, registrando la evolución térmica mediante un termómetro infrarrojo digital y evaluando los cambios en la resistencia a compresión, tracción y el módulo de elasticidad durante exposiciones sucesivas al calor. Los resultados mostraron que las zonas sometidas a llama directa alcanzaron temperaturas promedio superiores a 380 °C en la primera hora y mayores a 500 °C en la tercera, mientras que las áreas no expuestas registraron valores notablemente menores. A nivel mecánico, la pérdida de resistencia aumentó conforme se elevaba la temperatura y el tiempo de exposición: para la relación  $a/c = 0.60$ , la reducción en resistencia a compresión llegó hasta un 71%, mientras que para relaciones más altas (0.65 y 0.70) las pérdidas superaron el 80%. De manera similar, la resistencia a tracción y el módulo de elasticidad sufrieron deterioros severos, este último con reducciones que alcanzaron valores superiores al 95% en exposiciones prolongadas. Asimismo, el autor evidenció que el tamaño de las probetas influía en los resultados: los cilindros de 6" x 12" alcanzaron solo el 87% de la resistencia obtenida en probetas de menor tamaño. Concluyó que el concreto común pierde significativamente su capacidad estructural bajo condiciones de fuego directo y que la magnitud del daño depende tanto de la relación agua/cemento como del tiempo de exposición, subrayando la importancia de incorporar criterios de diseño y evaluación específicos para escenarios de incendio.



### 2.1.3. Antecedentes locales

Narváez Carreón (UNAP, Puno) analizó la influencia del tiempo de almacenamiento del cemento Portland puzolánico tipo IP de la marca FRONTERA sobre la resistencia del concreto. En su estudio experimental, se almacenaron muestras del cemento por diversos periodos antes de emplearlo en mezclas de concreto, y luego se midió la resistencia a compresión de las probetas resultantes. Los resultados mostraron que los periodos prolongados de almacenamiento afectan negativamente la resistencia, probablemente por alteraciones en la reactividad del cemento y pérdida de finura. Se concluyó que el tiempo de almacenamiento del cemento tipo IP debe controlarse cuidadosamente para preservar sus propiedades hidráulicas y garantizar el rendimiento mecánico del concreto.

Coaquira Coaquira (2022) evaluó la influencia de la ceniza de tronco de eucalipto y de *Stipa ichu* (ichu puneño) en las propiedades físico-mecánicas del concreto con  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  en la región de Puno. En un diseño experimental con 72 testigos y 12 vigas, introdujo distintos porcentajes de ceniza en el concreto y evaluó ensayos de resistencia a compresión, tracción y flexión, así como propiedades físicas como asentamiento, contenido de aire y densidad aparente. Los resultados revelaron que la sustitución de hasta 7 % de ceniza generó incrementos en la resistencia respecto al concreto patrón: por ejemplo, la resistencia a compresión con 7 % de ceniza fue de  $226,67 \text{ kg/cm}^2$  frente a  $214,00 \text{ kg/cm}^2$  en el patrón. Además, se observó aumento en asentamiento y contenido de aire a medida que aumentaba el porcentaje de ceniza. Los autores concluyeron que las cenizas locales de eucalipto e ichu pueden mejorar las propiedades mecánicas del concreto en Puno si se dosifican adecuadamente.



## 2.2. Marco teórico

### 2.2.1. Concreto

El concreto es un material compuesto que resulta de la combinación de un aglomerante hidráulico (generalmente cemento Portland), agua, agregados finos y gruesos, y eventualmente aditivos químicos o minerales, cuya mezcla homogénea forma una masa que, al fraguar y endurecer, se convierte en un sólido estructural. Según la Norma Técnica Peruana (RNE E.060), este conglomerado puede incorporar aditivos opcionales que modifiquen sus propiedades en estado fresco o endurecido, según los requisitos del diseño estructural.

Desde una perspectiva microestructural, el concreto se compone de una matriz cementicia continua (formada por la pasta de cemento, agua y aire incluido) que rodea y cohesiona los agregados. Esta matriz es el resultado del proceso de hidratación del cemento, el cual origina productos como el gel C-S-H (silicato de calcio hidratado), principal responsable de la resistencia mecánica. Su comportamiento y desempeño dependen directamente de la calidad de los componentes, la proporción de la mezcla, el proceso de curado y las condiciones ambientales en las que se fragua y endurece el material.

#### 2.2.1.1. Componentes del concreto

##### a. Cemento Portland

El cemento Portland es un aglomerante hidráulico que se obtiene mediante la calcinación de una mezcla de materiales ricos en carbonato de calcio (como piedra caliza) y arcillas que contienen sílice, alúmina y óxidos de



hierro. Esta mezcla es procesada a temperaturas del orden de 1 450 °C para formar clínker, el cual se muele finamente junto con pequeñas cantidades de yeso, que actúa como regulador del tiempo de fraguado. El producto final es un polvo fino que, al combinarse con agua, inicia una serie de reacciones químicas que conducen a su endurecimiento y desarrollo de resistencia con el tiempo.

Existen distintos tipos de cemento Portland, clasificados según su desempeño frente a condiciones ambientales específicas o necesidades estructurales. De acuerdo con las normas ASTM C150 y NTP 334.009, se reconocen las siguientes variantes:

- **Tipo I:** Para usos generales sin requerimientos especiales.
- **Tipo II:** Resistencia moderada a los sulfatos y al calor de hidratación.
- **Tipo III:** Alta resistencia en las primeras etapas.
- **Tipo IV:** Calor de hidratación bajo, útil en estructuras masivas.
- **Tipo V:** Alta resistencia a medios agresivos ricos en sulfatos.

En el caso peruano, el cemento Portland tipo IP (Puzolánico) es ampliamente utilizado por su disponibilidad local y su capacidad para mejorar la durabilidad, especialmente frente a ambientes agresivos o variaciones térmicas marcadas.

## **b. Agregados**

Los agregados constituyen aproximadamente el 70 al 75 % del volumen total del concreto y tienen un rol fundamental en su resistencia, estabilidad

dimensional y durabilidad. Están conformados por partículas minerales de origen natural o artificial, con dimensiones y propiedades reguladas por normas técnicas como la NTP 400.011.

Los agregados se clasifican por su tamaño en:

**Agregado fino:** Generalmente arena natural o manufacturada, con partículas que pasan el tamiz de 9,5 mm (3/8"). Deben presentar una granulometría continua, preferentemente bien graduada, para asegurar la trabajabilidad y cohesión de la mezcla.

**Agregado grueso:** Fragmentos mayores, como grava o piedra chancada, con un tamaño máximo definido por las necesidades del diseño estructural.

La calidad de los agregados no solo influye en la resistencia del concreto, sino también en su respuesta térmica, retracción, trabajabilidad y durabilidad. Agregados con alta absorción de agua, porosidad o expansión térmica pueden debilitar la estructura, especialmente en condiciones de exposición a calor extremo, como en el caso de tu investigación.

**Tabla 2**

*Granulometría para agregado fino NTP 400.037*

TAMIZ		
(Pulg.)	(mm)	% Que pasa
3/8	9.50	100
N° 4	4.75	95-100
N° 8	2.36	80-100



N° 16	1.18	50-85
N° 30	0.60	25-60
N° 50	0.30	10-30
N° 100	0.15	0-10

---

*Nota:* NTP 400.037

### **Agregado grueso**

El agregado grueso es el conjunto de partículas minerales de mayor tamaño en la mezcla del concreto, y está compuesto por grava natural o triturada, piedra partida u otros materiales artificiales. Según la NTP 400.037, se considera agregado grueso a aquel material que es retenido por el tamiz de 4.75 mm (N° 4). Este componente cumple un papel esencial en la resistencia, estabilidad dimensional y economía del concreto, por lo cual su selección y control deben regirse por parámetros técnicos normados.

Para garantizar un buen desempeño en la mezcla, el agregado grueso debe tener una granulometría continua y adecuada a las condiciones de colocación. Esto significa que el material debe estar bien distribuido en sus diferentes tamaños, permitiendo una máxima densificación del concreto y reduciendo vacíos. Específicamente, la norma sugiere que no más del 5 % del material se retenga en el tamiz de 1 1/2" ni más del 6 % pase por el tamiz de 1/4", buscando así una mezcla con buena trabajabilidad y mínima segregación.

**Tabla 3**

*Uso granulométrico para agregado Grueso*

TAMAÑO NOMINAL	PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS													
	100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37.5 mm	25 mm	19 mm	12.5 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm	
	4"	3 1/2"	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 16	
3 1/2" - 1 1/2"	100	90 - 100		25 - 60		0 - 15		0 - 15						
2 1/2" - 1 1/2"			100	90 - 100	35 - 70	0 - 15		0 - 5						
2" - 1"				100	90 - 100	35 - 70	0 - 15		0 - 5					
2" - Nº 4				100	95 - 100		35 - 70		0 - 30		0 - 5			
1 1/2" - 3/4"					100	90 - 100	20 - 55	0 - 15		0 - 5				
1" - Nº 4					100	95 - 100		35 - 70		10 - 30	0 - 5			
1" - 1/2"						100	90 - 100	20 - 55	0 - 10	0 - 5				
1" - 3/8"						100	90 - 100	40 - 85	10 - 40	0 - 15	0 - 5			
1" - Nº 4						100	95 - 100		25 - 60		1 - 10	0 - 5		
3/4" - 3/8"							100	90 - 100	20 - 55	0 - 15	0 - 5			
1/2" - Nº 4							100	90 - 100		20 - 55	0 - 10	0 - 5		
3/8" - Nº 8								100	90 - 100	40 - 70	0 - 15	0 - 5		
1/2" - 3/8"									100	85 - 100	10 - 30	0 - 10	0 - 5	
Nº 4 - Nº 8										100	90 - 100	20 - 35	5 - 30	0 - 10
Nº 4 - Nº 16											100	85 - 100	10 - 40	0 - 10

*Nota:* NTP 400.037

Las propiedades mecánicas y físicas del agregado grueso, como su dureza, adherencia, peso específico, contenido de humedad y absorción, influyen directamente en la resistencia final del concreto y en su comportamiento frente a condiciones agresivas o temperaturas elevadas. Además, el tipo de roca de origen (ígneas, sedimentaria o metamórfica) puede condicionar la respuesta térmica y la compatibilidad con el cemento.

### c. Agua de mezclado

El agua en el concreto no solo es el medio que permite la hidratación del cemento, sino que también influye directamente en la trabajabilidad, tiempo de fraguado y resistencia mecánica. Para ser considerada apta en el proceso constructivo, debe cumplir con criterios de calidad química y física según la NTP 339.088.



El valor óptimo de pH se sitúa alrededor de 7.0, considerado neutro. Un pH menor a 6 indica agua ácida, lo que puede atacar la pasta de cemento y acelerar la corrosión del acero de refuerzo. Adicionalmente, el agua debe contener un máximo de 3 ppm de materia orgánica y no superar los 500 ppm de sólidos disueltos. En la práctica constructiva, se recomienda emplear agua potable, ya que garantiza la ausencia de contaminantes perjudiciales para la hidratación del cemento o la adherencia entre los componentes.

La relación agua-cemento es uno de los factores más críticos en el diseño de mezcla. Un exceso de agua puede mejorar la trabajabilidad inicial, pero a costa de disminuir la resistencia y aumentar la porosidad del concreto endurecido. Por tanto, el control de este componente es esencial, sobre todo en condiciones térmicas extremas, donde la evaporación puede alterar la cantidad efectiva de agua disponible.

#### **2.2.1.2. Propiedades del concreto en estado fresco**

##### **A. Trabajabilidad**

Se entiende por trabajabilidad la capacidad del concreto fresco para ser mezclado, transportado, colocado y compactado sin pérdida de uniformidad ni segregación de sus componentes. Esta propiedad, aunque no directamente medible, se evalúa mediante métodos indirectos como el ensayo de revenimiento (slump test). La trabajabilidad depende de múltiples factores: tipo y proporción de los materiales, forma y cantidad de agua, granulometría de los agregados y presencia de aditivos. Una mezcla con alta trabajabilidad se adapta mejor a encofrados densos y permite un acabado superficial uniforme, mientras



que una mezcla pobremente trabajable requiere mayor energía de compactación y corre riesgo de formar vacíos o nidos de grava.

## **B. Consistencia**

La consistencia está asociada al grado de fluidez del concreto fresco y se evalúa habitualmente mediante el ensayo de revenimiento, conforme a la norma ASTM C143. Este ensayo consiste en llenar un molde cónico con concreto fresco, compactarlo en capas, retirar el molde y medir cuánto descende la muestra, expresado en milímetros. El resultado indica cuán húmeda o seca es la mezcla. Una baja consistencia puede dificultar el llenado del encofrado, mientras que una alta consistencia puede favorecer la segregación y exudación. Es importante calibrar la cantidad de agua para lograr una consistencia adecuada sin comprometer la resistencia.

## **C. Segregación**

La segregación es el fenómeno por el cual los componentes del concreto fresco tienden a separarse, especialmente los agregados gruesos que se depositan en el fondo, mientras que la pasta fluida sube a la superficie. Esta condición puede producirse por un exceso de agua en la mezcla, deficiente proporción entre los agregados o inadecuadas técnicas de colocación. También influye el uso de transporte ineficiente o la caída libre desde alturas superiores a los 50 cm. La segregación compromete la homogeneidad del concreto, generando zonas débiles y aumentando la permeabilidad.

## **D. Exudación**

La exudación se manifiesta como el ascenso del agua libre hacia la superficie del concreto fresco, debido a la sedimentación de las partículas



sólidas más pesadas. Este fenómeno ocurre después de la colocación y durante el periodo inicial de reposo. Una tasa elevada de exudación es indeseable, ya que puede formar una capa superficial débil, aumentar la relación agua-cemento en ciertas zonas y disminuir la adherencia entre capas de colado. La exudación se intensifica con mezclas sobrehidratadas, presencia de aditivos no compatibles o temperaturas elevadas que aceleran el movimiento del agua dentro de la masa.

### **2.2.1.3. Propiedades del concreto en estado endurecido**

Una vez fraguado y curado, el concreto adquiere propiedades mecánicas fundamentales para su desempeño estructural. Estas propiedades varían en función de la calidad de sus componentes, la relación agua-cemento, las condiciones de curado, la edad del concreto y, en particular, las condiciones ambientales a las que será expuesto.

#### **A. Resistencia a la compresión**

La resistencia a la compresión constituye el indicador mecánico más relevante del concreto, pues expresa la capacidad del material para soportar esfuerzos axiales antes de alcanzar la falla. Este parámetro, usualmente expresado en megapascales (MPa) o kilogramos por centímetro cuadrado ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ), se emplea como referencia fundamental para determinar el desempeño y la calidad estructural de una mezcla de concreto.

Este valor se obtiene mediante el ensayo estandarizado de probetas cilíndricas (ASTM C39 / NTP 339.034) que son sometidas a compresión axial controlada a los 7, 14 y 28 días, siendo este último el punto de referencia habitual. Cuando no se cuenta con datos previos de resistencia o desviación



estándar, la resistencia promedio requerida ( $f'_{cr}$ ) puede estimarse con base en los valores mínimos establecidos por normas como el ACI 318, lo que garantiza un margen de seguridad estructural.

En el contexto de tu investigación, esta propiedad será esencial para determinar cómo varía la capacidad estructural del concreto al ser expuesto a diferentes niveles de temperatura, tanto en condiciones normales como extremas.

### **B. Módulo de elasticidad**

El módulo de elasticidad (E) del concreto representa su rigidez ante la acción de cargas externas. Específicamente, mide la relación entre el esfuerzo aplicado y la deformación unitaria dentro del rango elástico del material. Aunque el concreto no es perfectamente elástico, presenta un comportamiento lineal en los primeros tramos de carga, generalmente hasta el 40 % de su resistencia máxima.

La determinación de E es fundamental en el diseño estructural, ya que influye en el análisis de deformaciones, flechas y distribución de esfuerzos. Su valor depende directamente de la resistencia a la compresión, la densidad y la calidad de los agregados. En contextos de exposición térmica, el módulo de elasticidad puede reducirse considerablemente debido a microfisuras y pérdida de cohesión en la pasta cementicia, afectando la estabilidad estructural global.

#### ***2.2.2. Incendio y su impacto en materiales de construcción***

El incendio, desde el punto de vista técnico, se define como una combustión no controlada, con presencia de llama, que afecta materiales que



no estaban destinados a ser quemados en ese momento ni en ese lugar. En ingeniería civil, representa una de las amenazas más severas para la integridad de las estructuras, especialmente si no han sido diseñadas con criterios de resistencia al fuego.

Durante un incendio, los materiales estructurales están sometidos a incrementos rápidos y sostenidos de temperatura, lo que provoca dilataciones térmicas, pérdida de resistencia, fisuración y colapso si no se aplican medidas preventivas. Para materiales como el concreto, el fuego puede deteriorar la matriz cementicia, generar expansión de los agregados y afectar el acero de refuerzo por pérdida de recubrimiento o temperatura crítica.

### **A. Fuego**

El fuego es una reacción química de oxidación altamente exotérmica, autoalimentada, que se manifiesta mediante la emisión de calor y luz. Esta reacción ocurre cuando un combustible entra en contacto con un comburente (generalmente el oxígeno del aire) en presencia de una fuente de energía que supere la temperatura de autoignición. El estudio del fuego y sus efectos es clave en el diseño estructural y en la formulación de concretos resistentes a altas temperaturas.

### **B. Combustión y fundamentos termodinámicos**

La combustión es el proceso de oxidación rápida de una sustancia (combustible) en presencia de oxígeno (comburente), liberando energía térmica que permite la continuación de la reacción en cadena. Para que esta se inicie, deben coincidir tres elementos: combustible, oxígeno y energía de activación. A este conjunto se le denomina Triángulo del Fuego. Cuando se considera la



retroalimentación térmica que mantiene la combustión (reacción en cadena), se forma el Tetraedro del Fuego, un concepto esencial para comprender la propagación de incendios.

- **Combustible:** Sustancia que puede oxidarse rápidamente, generalmente en fase gaseosa.
- **Comburente:** Mezcla gaseosa rica en oxígeno, usualmente el aire atmosférico.
- **Energía de activación:** Fuente inicial de calor que eleva la temperatura del combustible por encima de su punto de ignición.
- **Reacción en cadena:** Fenómeno por el cual el calor generado en cada etapa alimenta la siguiente.

El conocimiento de estos principios es indispensable para evaluar el comportamiento de los materiales de construcción frente al fuego, incluyendo el concreto, y diseñar soluciones que minimicen los riesgos estructurales y humanos.

### **C. Clasificación de los fuegos**

En función del estado físico y químico de los materiales combustibles involucrados, los incendios se clasifican en distintos tipos, lo que permite seleccionar estrategias específicas de control y extinción:

- **Fuego tipo A:** Involucra materiales sólidos combustibles comunes como papel, madera, tela o cartón. Su combustión se caracteriza por dejar residuos carbonosos y presentar una fase incandescente.



- Fuego tipo B: Originado por líquidos inflamables o sólidos que se licúan a bajas temperaturas, como alcohol, gasolina, aceites o ceras. Generan una combustión limpia y rápida, con alto poder calórico.
- Fuego tipo C: Involucra gases inflamables como propano, butano o metano. Suelen ser los más peligrosos por la rapidez de propagación y la dificultad de detección previa.
- Fuego tipo D: Provocado por metales combustibles, tales como magnesio, sodio, litio o aluminio en polvo. Estos incendios requieren agentes extintores específicos, ya que reaccionan violentamente con el agua.

Esta clasificación es clave para entender el tipo de exposición térmica a la que puede estar sometido el concreto estructural durante un incendio.

#### **D. Formas de transmisión del calor**

Durante un incendio, el calor generado se propaga por el entorno a través de tres mecanismos físicos fundamentales:

- Convección: Transferencia de calor mediante el movimiento de fluidos, como el aire y los gases calientes que se generan en la combustión. Este mecanismo es responsable de la rápida elevación de temperatura en los niveles superiores de un ambiente cerrado, y también favorece la propagación del fuego por acumulación de gases calientes en techos o entrepisos.



- **Conducción:** Transferencia de calor a través de materiales sólidos. Metales estructurales como vigas o clavos son excelentes conductores, lo que permite que el calor se transmita a zonas no afectadas directamente por las llamas. En estructuras de concreto armado, la conducción puede provocar elevación térmica del acero de refuerzo, comprometiendo su resistencia.
- **Radiación:** Es la emisión de energía en forma de ondas electromagnéticas infrarrojas. A diferencia de la conducción y la convección, la radiación no requiere un medio material para propagarse, y puede calentar objetos a distancia. Su efecto es determinante en la ignición de materiales aledaños.

Comprender estos mecanismos es esencial para modelar el comportamiento térmico de los materiales de construcción y evaluar la vulnerabilidad estructural frente al fuego.

### ***2.2.3. Equipos utilizados para elaboración y ensayo de muestras***

#### **A. Horno experimental de exposición térmica**

El horno utilizado en esta investigación fue diseñado con fines específicos de ensayo térmico sobre probetas de concreto. Su construcción rectangular, basada en ladrillos macizos y acero estructural, proporciona una cámara de exposición térmica estable. Cuenta con parrillas de acero ( $\frac{1}{2}$ " dispuestas a intervalos de 8 cm, y una chimenea central que facilita la evacuación de gases. Su abertura inferior permite el ingreso de aire, carga de combustible y limpieza, optimizando la combustión y controlando la temperatura interna de forma manual.

## **B. Termómetro infrarrojo (pirómetro)**

El termómetro infrarrojo modelo SCAM TEMP 440 permite la medición remota de la temperatura superficial de los objetos sometidos a calor, sin contacto físico. Opera detectando la radiación térmica emitida, con un rango de medición de  $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$  y tiempo de respuesta menor a un segundo. Es ideal para monitorear la temperatura de exposición de probetas durante los ensayos, especialmente en zonas inaccesibles o inseguras. Incluye apagado automático, uso de baterías AAA y compatibilidad con termocuplas externas tipo K.

## **C. Termocupla tipo K**

La termocupla tipo K es un sensor de temperatura utilizado ampliamente en entornos industriales y de laboratorio. Funciona mediante el efecto Seebeck, que genera una pequeña corriente eléctrica cuando dos metales diferentes unidos en un extremo son sometidos a calor. Esta corriente es proporcional a la temperatura. El modelo utilizado en la investigación es capaz de medir hasta  $1\ 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ , lo cual es fundamental para ensayos de comportamiento térmico del concreto ante exposición intensa.

## **D. Máquina de ensayo a compresión**

La máquina de ensayo a compresión utilizada es del modelo ELE INTERNACIONAL, con capacidad de hasta 250 000 lbf (1 112 kN), diseñada conforme a las normas ASTM C39 y AASHTO T22. Su sistema electrohidráulico permite la aplicación controlada de cargas axiales sobre probetas cilíndricas de concreto, midiendo con alta precisión la resistencia a la compresión. Su

estructura robusta, con placas de acero y montantes roscados, garantiza estabilidad durante el ensayo y repetibilidad de resultados.

### 2.2.3.1. Resistencia mecánica del concreto frente al fuego

El concreto presenta un buen desempeño estructural ante condiciones de incendio debido a su baja conductividad térmica, capacidad para resistir altas temperaturas y ausencia de inflamabilidad. A diferencia de otros materiales constructivos, no contribuye a la carga térmica, no produce gases tóxicos y actúa como barrera ante la propagación de llamas. Esto lo convierte en un material eficaz para mejorar la seguridad estructural y proteger vidas humanas durante emergencias. Además, su solidez permite conservar estabilidad estructural durante el fuego, facilitando la evacuación y extinción.

Sin embargo, la exposición prolongada a temperaturas superiores a 300 °C inicia procesos de deterioro que afectan significativamente su resistencia. Según Asefa (2011), entre 100 °C y 150 °C ocurre el fenómeno de **spalling**, donde el agua intersticial se evapora rápidamente, generando presiones internas que pueden fragmentar el concreto. Anero & Teresa (2007) señalan que:

- **200–300 °C**: pérdida de agua capilar sin reducción apreciable de resistencia.
- **300–400 °C**: pérdida de agua de hidratación, aparición de fisuras y coloración rosácea.
- **400–600 °C**: descomposición del hidróxido cálcico, disgregación progresiva.

- **600–950 °C**: expansión diferencial de agregados, aumento de porosidad, pérdida de hasta 90 % de resistencia estructural.

Phan, McAllister y Gross (2009) demuestran que el **módulo de elasticidad (E)** del concreto disminuye conforme aumenta la temperatura, tanto en mezclas con agregados normales como livianos. Las curvas esfuerzo-deformación muestran pérdida de rigidez estructural a temperaturas superiores a 400 °C, comprometiendo la capacidad portante del material incluso si no colapsa inmediatamente.

### 2.2.3.2. Propiedades térmicas del concreto

El análisis del comportamiento del concreto frente al calor requiere conocer sus propiedades térmicas básicas, ya que estas definen cómo se distribuye la temperatura dentro del elemento estructural durante la exposición al fuego.

#### A. Conductividad térmica

La conductividad térmica ( $\lambda$ ) determina la capacidad del concreto para transferir calor. Está influenciada por la densidad, el tipo de agregado y la humedad del material. Concretos con agregados livianos tienen menor  $\lambda$  que los de peso normal, actuando como mejores aislantes. Según la norma ACI 216.1 y datos de Phan et al. (2009):

Concreto con agregado normal:  $\lambda \approx 1.3 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

Concreto liviano:  $\lambda \approx 0.5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

Esta diferencia implica que el concreto liviano ofrece mayor resistencia térmica inicial, retardando el aumento de temperatura en el interior y en las

armaduras, lo que es beneficioso para la estabilidad estructural durante un incendio.

### **B. Calor específico volumétrico**

El calor específico volumétrico ( $\rho \cdot C_p$ ) representa la cantidad de energía térmica que el concreto puede almacenar por unidad de volumen. Esta propiedad afecta la velocidad de calentamiento de los elementos expuestos y, por tanto, su tiempo de resistencia al fuego.

- Valores aproximados, según Phan et al. (2009):
- Concreto con agregado normal:  $\rho \cdot C_p \approx 2.6 \text{ MJ/m}^3 \cdot \text{K}$
- Concreto liviano:  $\rho \cdot C_p \approx 1.5 \text{ MJ/m}^3 \cdot \text{K}$

Estas diferencias reflejan que el concreto de peso normal puede absorber más calor antes de alcanzar temperaturas críticas, aunque lo transmite más rápido que los concretos livianos. Ambas propiedades deben considerarse al evaluar la respuesta térmica del concreto en condiciones reales de incendio.

### **C. Densidad**

La densidad del concreto, entendida como la relación entre su masa y volumen, experimenta una reducción progresiva al someterse a elevadas temperaturas. Esta disminución se debe principalmente a la pérdida de masa causada por la liberación de agua libre e hidratada y a transformaciones químicas internas inducidas por el calor. En condiciones típicas de diseño, los valores de densidad para concretos estructurales se estiman en torno a  $2330 \text{ kg/m}^3$  para concreto con agregado normal y alrededor de  $1760 \text{ kg/m}^3$  para concreto con agregado liviano (Phan, McAllister & Gross, 2009). En el análisis



térmico, estos valores sirven como punto de partida, pero deben ajustarse si se dispone de datos experimentales locales que consideren la exposición térmica real del concreto de la zona de estudio.

#### **D. Coeficiente de expansión térmica**

El coeficiente de expansión térmica lineal del concreto es un parámetro que cuantifica la deformación unitaria que sufre el material por cada grado de aumento de temperatura. Este valor resulta crucial para estimar las cargas térmicas internas y las curvaturas inducidas en elementos estructurales sometidos a calor diferencial. Cruz realizó mediciones del coeficiente de expansión en concreto sometido a elevadas temperaturas y ajustó dichos datos utilizando correlaciones propuestas por Lie (1992). Los resultados muestran una dependencia creciente del coeficiente con la temperatura, especialmente más allá de los 300 °C, lo cual se representa en gráficas de comportamiento térmico (Phan, McAllister & Gross, 2009).

#### **2.2.3.3. Norma ASTM E119**

La norma **ASTM E119** establece un protocolo estándar para ensayar la resistencia al fuego de elementos estructurales especialmente de concreto y acero mediante exposición térmica controlada. Entre sus aplicaciones más relevantes se incluyen:

- Tablas para determinar el espesor mínimo de concreto necesario para contener el aumento de temperatura en la cara opuesta del elemento no expuesto.

- Gráficos que permiten estimar la temperatura en el interior del concreto, especialmente en la proximidad del refuerzo, en función del tiempo de exposición.
- Algoritmos que simulan la distribución térmica en columnas y otros elementos bajo las condiciones del ensayo estándar.

Las representaciones gráficas más comunes muestran la variación de temperatura dentro de losas de concreto con diferentes tipos de agregado (carbonato, silíceo, liviano). Estos gráficos permiten estimar la temperatura en puntos críticos como la ubicación del refuerzo, según el espesor y tipo de concreto. En efecto, aunque estas soluciones gráficas están diseñadas para la exposición tipo ASTM E119, ofrecen una referencia valiosa para el diseño térmico predictivo en estructuras reales.

#### **2.2.3.4. Patologías del concreto frente al fuego**

Aunque el concreto es resistente frente a incendios, bajo exposición térmica prolongada pueden manifestarse diversas patologías estructurales que comprometen su integridad:

##### **A. Fisuración**

Las fisuras térmicas pueden aparecer debido a gradientes de temperatura dentro de la sección, especialmente en estructuras masivas. Si bien algunas grietas pueden ser superficiales, otras pueden ser indicadoras de daño estructural mayor. Para mitigarlas, se recomienda controlar la máxima temperatura interna, retardar el enfriamiento y aumentar la resistencia a la tracción del concreto (Castro, 2019).

## B. Calcinación

La calcinación implica la descomposición química de los componentes del concreto por acción del calor extremo. Este fenómeno puede manifestarse de varias maneras, como la descarbonatación del cemento o la pérdida de compuestos hidratados. Castro (2019) clasifica diferentes modalidades de calcinación dependiendo de la severidad térmica.

## C. Desprendimiento (Descascaramiento)

Se produce cuando las capas superficiales del concreto se fragmentan y se desprenden, usualmente bajo condiciones de humedad interna o tras exposición a choques térmicos. La pérdida de masa resultante deteriora la sección efectiva y reduce la protección del refuerzo ante el calor (Castro, 2019).

## D. Desintegración por fatiga térmica

La fatiga térmica se refiere al daño progresivo debido a ciclos repetidos de calentamiento y enfriamiento. En el contexto de fuego, la superficie puede ir desprendiéndose gradualmente durante la exposición prolongada, comprometiendo la sección estructural (Castro, 2019).

### 2.3. Conceptos fundamentales

Para cimentar la base teórica de tu trabajo, es esencial definir claramente los conceptos clave:

**Agregado:** material granular natural o artificial (arena, grava, escoria) que se integra al cemento para formar concreto o mortero hidráulico (RNE E.060).



**Agua:** componente esencial del concreto que debe cumplir requisitos químicos (pH, materia orgánica, sólidos disueltos) para no perjudicar su desempeño (RNE E.060).

**Arena:** agregado fino derivado de la desintegración natural de rocas, usado como parte de los materiales del concreto (RNE E.060).

**Cemento Portland:** producto obtenido tras moler clínker Portland y una adición controlada de sulfato de calcio; las adiciones permitidas no deben exceder el 1 % según normativa RNE E.060.

**Cemento:** aglomerante que une agregados formando una masa sólida resistente y duradera (Nilson, 2001).

**Combustión:** proceso químico de oxidación rápida que genera aumento de temperatura y luz; su definición técnica se encuentra en la norma ASTM E176.

**Compresión:** esfuerzo mecánico que reduce el volumen de un cuerpo sometido por fuerzas opuestas.

**Concreto:** material semejante a la piedra que resulta de la combinación proporcional de cemento, agregados finos y gruesos, y agua, endurecido en moldes con la forma deseada (Nilson, 2001).

**Flashover:** transición rápida en la que toda la masa combustible dentro de un recinto participa en el incendio activo (ASTM E176).

**Fuego:** manifestación visible de la combustión que genera luz y calor como resultado de una reacción oxidativa.



**Módulo de elasticidad:** relación entre esfuerzo y deformación unitaria, dentro del límite proporcional del material (RNE E.060, 2009).

**Resistencia:** capacidad de los elementos estructurales de soportar esfuerzos sin fallar, dependiente del material, geometría y conexiones (Xunta de Galicia, 2019).

**Temperatura:** magnitud física que indica el nivel de calor o energía térmica de un cuerpo o sistema.



## CAPÍTULO III

### MÉTODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Enfoque de investigación

Hernández Sampieri et al. (2014) definen el enfoque cuantitativo como aquel que emplea la recolección y análisis de datos numéricos para probar hipótesis, estableciendo patrones de comportamiento y relaciones entre variables. Bajo este enfoque, el presente estudio se estructura mediante un proceso lógico, ordenado y verificable, cuyo propósito es analizar cuantitativamente el efecto de la temperatura y el tiempo de exposición en la resistencia a la compresión del concreto elaborado con cemento Portland tipo IP en la región de Puno.

El estudio parte de la hipótesis de que el aumento de la temperatura provoca un deterioro progresivo de las propiedades mecánicas del concreto. Para comprobar esta hipótesis, se aplicarán procedimientos experimentales de laboratorio que permitirán generar información objetiva, medible y reproducible. El enfoque cuantitativo, por tanto, posibilita establecer correlaciones entre las



variables independientes (temperatura y tiempo de exposición) y la variable dependiente (comportamiento mecánico del concreto).

### **3.2. Tipo de investigación**

Según Bernal (2010), la investigación aplicada se orienta a la solución de problemas concretos mediante la utilización del conocimiento científico. En este caso, la presente investigación es de tipo aplicada, debido a que busca generar evidencia técnica que permita comprender y mejorar el desempeño del concreto sometido a altas temperaturas, condición relevante en escenarios de incendio o exposición térmica severa.

Los resultados obtenidos tendrán utilidad práctica en el campo de la ingeniería civil, particularmente en la evaluación de estructuras, diseño de elementos resistentes al fuego y gestión de riesgos en edificaciones de la región Puno.

### **3.3. Nivel de investigación**

De acuerdo con Balestrini (2002), la investigación explicativa busca determinar las causas de los fenómenos estudiados a partir del análisis de relaciones entre variables. En este sentido, el presente estudio posee un nivel explicativo, ya que no solo describe los efectos del calor sobre el concreto, sino que explica las razones por las cuales disminuye su resistencia conforme aumentan la temperatura y el tiempo de exposición.

Este nivel permite interpretar los mecanismos físico-químicos implicados en el deterioro térmico del concreto, tales como evaporación de agua intersticial,

descomposición de productos hidratados, microfisuración y cambios de fase en los componentes del cemento.

### 3.4. Diseño de investigación

Sampieri (2014) define el diseño de investigación como el plan general que guía la recolección y análisis de los datos. En función de ello, este estudio adopta un diseño cuasi-experimental, dado que se trabajará con unidades experimentales no aleatorizadas, manipulando deliberadamente las variables independientes: temperatura y tiempo de exposición.

El diseño contempla:

- Un grupo control (sin exposición térmica).
- Cuatro grupos experimentales, cada uno sometido a un nivel de temperatura específico (150 °C, 300 °C, 450 °C y 600 °C).
- Dos tiempos de exposición (60 y 120 minutos).
- Cuatro repeticiones por condición experimental.

Como señalan Gutiérrez Pulido y De la Vara (2012), el diseño experimental depende del grado de control posible sobre las variables y de la disponibilidad de unidades experimentales. En este caso, la estructura del diseño permite comparar los efectos térmicos con validez interna y replicabilidad.

### 3.5. Método de investigación

El método experimental guía el desarrollo de esta investigación, mediante un proceso técnico, replicable y sistemático. Se emplearán muestras



cilíndricas de concreto (15 x 30cm cm), fabricadas con agregados locales y cemento Portland tipo IP. Las probetas serán curadas durante 28 días conforme a la norma ASTM C192. Estas serán expuestas a distintos rangos de temperatura (150 °C, 300 °C, 450 °C y 600 °C), durante dos tiempos definidos: 60 y 120 minutos. Luego de la exposición térmica, se evaluará su resistencia a la compresión conforme a la norma ASTM C39. Asimismo, se observarán posibles alteraciones físicas como fisuras, porosidad, decoloración y pérdida de masa.

### **3.6. Ámbito de investigación**

La investigación se llevará a cabo en los laboratorios de ensayo de materiales de construcción de la región Puno, los cuales cuentan con equipamiento adecuado para realizar pruebas térmicas y mecánicas controladas. Este entorno proporciona condiciones seguras para el manejo de altas temperaturas y asegura la confiabilidad de los resultados obtenidos.

### **3.7. Población y muestra**

#### **3.7.1. Población**

La población está conformada por todas las probetas cilíndricas de concreto elaboradas con cemento Portland tipo IP y agregados provenientes de la región de Puno, fabricadas bajo condiciones estandarizadas de diseño de mezcla y curado.

#### **3.7.2. Muestra**

Para esta investigación se seleccionó una muestra no probabilística y controlada, constituida por probetas cilíndricas de 15 x 30 cm, diseñadas

específicamente para evaluar el comportamiento del concreto bajo exposición a altas temperaturas. El criterio de selección se basa en la representatividad experimental y la factibilidad operativa para el análisis térmico.

### Distribución de la muestra

El experimento contempla cinco niveles de temperatura (temperatura ambiente, 150 °C, 300 °C, 450 °C y 600 °C) y dos tiempos de exposición (60 y 120 minutos), con 4 probetas por cada condición experimental, siguiendo los estándares mínimos recomendados para análisis.

La distribución final de la muestra se presenta a continuación:

**Tabla 4**

*Distribución de probetas por nivel térmico y tiempo de exposición*

Temperatura	60 min	120 min	Total
Ambiente	4	—	4
150°C	4	4	8
300°C	4	4	8
450°C	4	4	8
600°C	4	4	8
Total			36

El uso de 4 probetas por condición garantiza:

- Repetibilidad experimental.
- Validez estadística para análisis de varianza.
- Control de variabilidad intrínseca del concreto.
- Suficiencia para detectar efectos significativos debido a la temperatura y al tiempo de exposición.



Asimismo, los niveles térmicos fueron seleccionados basándose en literatura científica especializada, que establece cambios críticos en la microestructura del concreto a 150 °C, 300 °C, 450 °C y 600 °C, lo cual permite evaluar de manera completa el deterioro térmico progresivo.

### **3.8. Técnicas de recolección de datos**

Se empleará como técnica principal el ensayo de resistencia a la compresión, conforme a la norma ASTM C39, que permite determinar con exactitud la capacidad mecánica de las probetas antes y después de ser sometidas a altas temperaturas. Además, se aplicarán técnicas complementarias para evaluar propiedades físicas como la porosidad y la absorción, que ofrecerán una visión más integral del deterioro térmico.

### **3.9. Instrumentos de recolección de datos**

Se utilizarán los siguientes instrumentos especializados para la ejecución de los ensayos:

Horno de alta temperatura: para alcanzar entre 150 °C y 600 °C, durante tiempos controlados.

Máquina de compresión hidráulica: para medir la resistencia mecánica.

Termocupla tipo K y pirómetro infrarrojo: para el control y registro exacto de temperatura.

Equipos de absorción y porosidad: para detectar cambios en la estructura interna del concreto.

Instrumentos de observación: para el análisis microestructural post exposición térmica.

### 3.10. Ensayos realizados

#### 3.10.1. Ensayo de granulometría del agregado grueso

El análisis granulométrico del agregado grueso procedente de la cantera Yocara - Juliaca, se realizó conforme a la norma ASTM C33 y la NTP 400.037, las cuales establecen los requisitos para la distribución de tamaños de partículas en los agregados para concreto. Este ensayo tiene por objetivo verificar que la curva granulométrica del agregado se encuentre dentro de los rangos recomendados por la normativa para su uso en concreto estructural.

Procedimiento:

- Se seleccionó una muestra representativa mediante el método del cuarteo.
- La muestra fue lavada para remover partículas finas adheridas y luego secada al aire libre.
- Una vez seca, la muestra fue pesada y pasada por la serie de tamices normalizados:  $\frac{3}{4}$ ",  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{3}{8}$ ", N°4, N°8.
- Se pesaron los retenidos en cada tamiz y se calculó el porcentaje que pasa por cada uno de ellos.
- Se construyó la curva granulométrica en función del % que pasa acumulado vs. abertura de tamiz (en mm).

Los resultados obtenidos fueron comparados con los límites establecidos por la ASTM C33, verificando que el tamaño máximo nominal del agregado grueso y que la distribución granulométrica se encuentra dentro del rango permitido para agregados destinados a concreto estructural.

## Figura 2

### *Tamizado del agregado grueso*



### **3.10.2. Ensayo de granulometría del agregado fino**

Para el agregado fino también proveniente de la cantera Yocara, se realizó el análisis granulométrico siguiendo los procedimientos de la ASTM C33 y la NTP 400.037. Este ensayo es fundamental para determinar el tamaño y la distribución de las partículas, así como el módulo de fineza, parámetro indispensable en el diseño de mezclas.

Procedimiento:

- Se seleccionó una muestra representativa, la cual fue lavada, secada al aire y tamizada por la serie de tamices: 1" 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, y N°100. Se pesaron los materiales retenidos en cada tamiz.

- Se calculó el porcentaje que pasa por cada tamiz y se registraron los resultados en tabla.
- Se elaboró la curva granulométrica con base en los datos obtenidos.
- El módulo de fineza se calculó sumando los porcentajes retenidos acumulados en los tamices especificados y dividiendo el resultado entre 100.

### Figura 3

*Tamizado del agregado fino*



#### **3.10.3. Ensayos del agregado grueso**

Los ensayos físicos realizados al agregado grueso extraído de la cantera Yocara (Juliaca) fueron ejecutados conforme a las normas ASTM C127, ASTM C29, y NTP 400.017, con el propósito de obtener parámetros como el peso

específico de la masa, la absorción, el contenido de humedad y el peso seco compactado, indispensables para el diseño de mezcla del concreto.

#### **3.10.4. Peso seco suelto y compactado**

Según la norma ASTM C29 / NTP 400.017, el peso seco compactado se determinó llenando un recipiente cilíndrico de dimensiones estándar en tres capas, cada una varillada 25 veces, y luego se pesó la muestra. El procedimiento se repitió tres veces y se promedió el valor para mayor precisión. Este valor fue clave para estimar el volumen del agregado en el diseño de mezcla ACI 211.1.

#### **Figura 4**

*Peso seco compactado del agregado fino*



#### **3.10.5. Peso específico y absorción**

De acuerdo con la ASTM C127 / NTP 400.021, se siguió el siguiente procedimiento:

- La muestra fue sumergida en agua por 24 horas.
- Se obtuvo el peso saturado superficialmente seco ( $W_{sat}$ ).
- Posteriormente, se pesó la muestra sumergida en agua ( $W_{sum}$ ).
- Finalmente, se secó en horno a  $110^{\circ}\text{C}$  hasta peso constante para obtener el peso seco ( $W_{seco}$ ).

### Figura 5

*Peso del picnómetro más muestra*



#### 3.10.6. Contenido de humedad

El contenido de humedad se evaluó pesando la muestra natural ( $W_{nat}$ ) y luego tras su secado en horno ( $W_{seco}$ ), obteniéndose el peso del agua ( $W_{H_2O} = W_{nat} - W_{seco}$ ).

**Figura 6**

*Muestras en el horno para el contenido de humedad*

**3.11. Procedimiento de exposición térmica (quemado de probetas)**

Para simular el efecto del fuego sobre el concreto, se estableció un protocolo de exposición térmica controlada en laboratorio. A continuación, se detalla el método seguido:

- 1. Preparación de la exposición térmica (horno):** La preparación de un horno para la exposición térmica implica establecer la temperatura adecuada, precalentarlo el tiempo necesario, asegurarse de que la carga de trabajo esté colocada correctamente y que el aislamiento esté en buenas condiciones. Los tiempos de precalentamiento pueden variar, pero suelen oscilar entre 10 y 20 minutos para que el horno alcance la temperatura deseada y se pueda iniciar el proceso de cocción o tratamiento térmico de forma uniforme.

**Figura 7**

*Proceso de calentamiento del horno*



- 2. Colocación de las probetas:** Las probetas cilíndricas (15 × 30 cm), después de 28 días de curado, se etiquetaron e identificaron con códigos de muestra. Se colocaron dentro del horno a distancia uniforme para asegurar una exposición homogénea al calor. Para el desarrollo del presente capítulo, se ejecutaron ensayos sometiendo las probetas de concreto a condiciones de alta temperatura, considerando cuatro niveles térmicos distintos y dos periodos de exposición: 60 minutos y 120 minutos. Estas variaciones permitieron analizar el comportamiento del material frente a diferentes intensidades y duraciones de calor.

**Figura 8**

*Colocación de las probetas en el horno*



- 3. Instrumentación para control térmico:** La temperatura de un horno artesanal se mide principalmente con un termómetro de horno (de vástago largo o digital) que se coloca dentro del horno para una lectura precisa, o con un pirómetro infrarrojo, que mide la temperatura sin contacto a distancia. Para estimaciones rápidas, se pueden usar métodos tradicionales como la prueba de la mano o la prueba del papel.
- 4. Rampa de calentamiento:** El horno fue calentado progresivamente hasta alcanzar las temperaturas objetivo: 150 °C, 300 °C, 450 °C y 600 °C. El aumento se realizó a razón constante (por ejemplo 5 °C/min o según protocolo definido) para evitar choques térmicos bruscos que puedan inducir fracturas prematuras.

5. **Tiempo de exposición:** Una vez alcanzada la temperatura objetivo, las probetas permanecieron durante el tiempo asignado: 60 o 120 minutos, dependiendo del grupo experimental.
6. **Enfriamiento controlado:** Finalizado el tiempo de exposición, las probetas se dejaron enfriar dentro del horno apagado hasta alcanzar temperatura ambiente, para evitar esfuerzos térmicos rápidos que podrían inducir daño adicional.
7. **Registro de datos:** Se registraron datos de temperatura (superficial e interna), duración, y condiciones del horno (ventilación, humedad residual, etc.). También se verificó visualmente la superficie de las probetas por presencia de fisuras, desprendimientos (spalling) o cambios de color.

### Figura 9

*Probetas sacadas del horno a altas temperaturas*



8. **Traslado al ensayo mecánico:** Una vez enfriadas, las probetas fueron trasladadas al laboratorio de materiales para realizar el ensayo de



resistencia a la compresión y los análisis físicos complementarios (porosidad, absorción, microestructura).

### **3.12. Relación con el fuego y justificación del procedimiento**

Este protocolo simula condiciones térmicas que se aproximan al comportamiento de estructuras de concreto durante incendios reales. Las temperaturas seleccionadas (150 °C a 600 °C) cubren rangos críticos donde ocurren transformaciones químicas (deshidratación, descomposición) y fenómenos estructurales (fisuración, pérdida de resistencia).

Al controlar la rampa de calentamiento, el tiempo de exposición y el enfriamiento, es posible reproducir con consistencia los mecanismos de deterioro del concreto por fuego, como el spalling, la expansión diferencial entre agregados y pasta, y la degradación de productos de hidratación. De esta forma, los resultados obtenidos permiten analizar empíricamente la sensibilidad del concreto tipo IP a escenarios térmicos extremos y proponer mejoras o criterios de diseño resistentes al fuego.

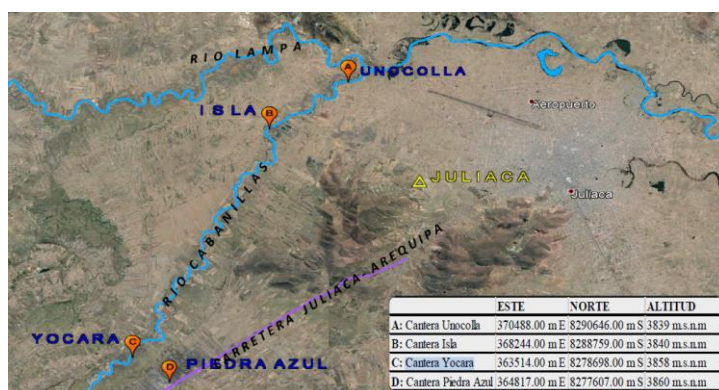
## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Caracterización de la cantera YOCARÁ

La cantera Yocará se localiza aproximadamente a 17 km de la ciudad, dentro de la comunidad del mismo nombre, en el distrito de Juliaca, provincia de San Román. El acceso hacia la zona de extracción se realiza mediante una vía pavimentada, correspondiente a la autopista Héroes de la Guerra del Pacífico, que conecta Juliaca con Cabanillas. Esta ruta facilita el transporte del material hacia los centros de acopio y laboratorio para su respectiva evaluación.

##### 4.1.1. Ubicación geográfica



Nota. <https://www.google.com/maps/place/Juliaca,+Perú/>



4.2. Propiedades físicas de los agregados Cantera Yocará

4.2.1. Ensayo de granulometría (ASTM C136)

4.2.1.1. Agregado grueso

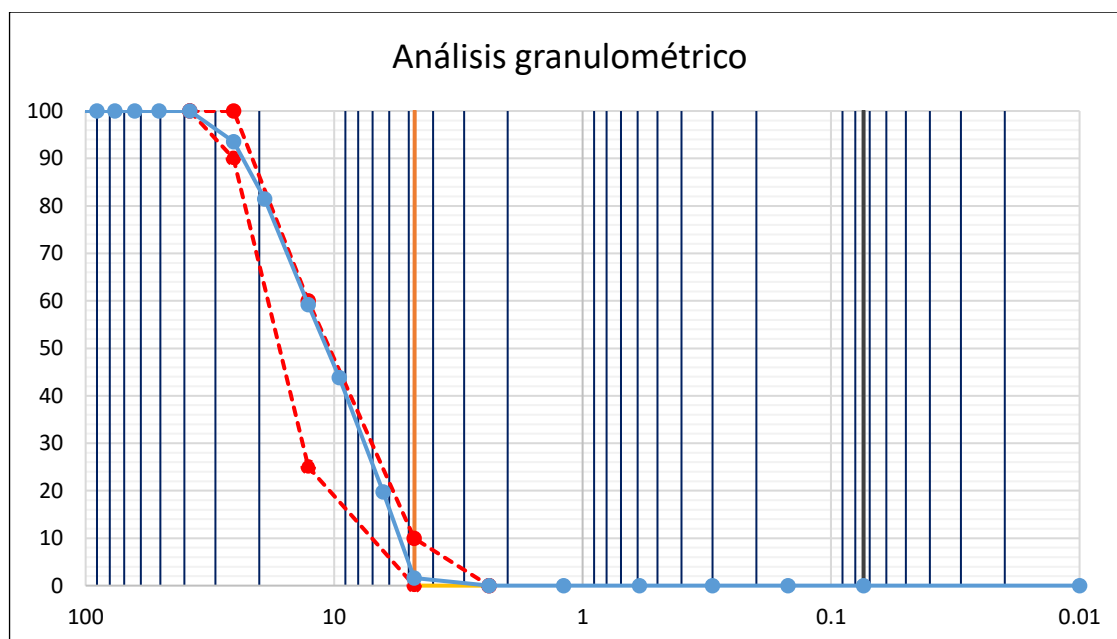
Tabla 5

Resultado del análisis granulométrico del agregado grueso

Malla pulg Ø	Abertura mm	Pesos Retenidos (gr)	% Parciales Retenidos	% Acumulados Retenidos	% Acum. que pasan	ACTM C33	
						Lim. Inf.	Lím. Sup.
4"	101.60	0.00	0.00	0.00	100.00		
3 1/2"	90.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00		
2 1/2"	63.50	0.00	0.00	0.00	100.00		
2"	50.60	0.00	0.00	0.00	100.00		
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
1"	25.40	652.00	6.47	6.47	93.53	90	100
3/4"	19.05	1218.00	12.09	18.56	81.44		
1/2"	12.70	2238.00	22.21	40.77	59.23	25	60
3/8"	9.53	1548.00	15.36	56.14	43.86		
1/4"	6.35	2432.00	24.14	80.28	19.72		
# 4	4.76	1825.00	18.11	98.39	1.61	0	10
# 8	2.38	162.00	1.61	100.00	0.00		
# 16	1.19	0.00	0.00	100.00	0.00		
# 30	0.59	0.00	0.00	100.00	0.00		
# 50	0.30	0.00	0.00	100.00	0.00		
# 100	0.15	0.00	0.00	100.00	0.00		
#200	0.07	0.00	0.00	100.00	0.00		
Fondo	0.01	0.00	0.00	100.00	0.00		
<b>P.Total=</b>		10075.00	100.00				
				MF	TMN		
				6.73	1"		

**Figura 10**

*Curva del gráfico de granulometría del agregado grueso*



**Síntesis:** La curva granulométrica obtenida para el agregado grueso procedente de la cantera Yocará muestra una distribución continua y bien graduada, evidenciada por la transición progresiva de material entre los tamices y la ausencia de discontinuidades en los porcentajes retenidos. La mayor concentración de material se encuentra en los tamices  $\frac{1}{4}$ ",  $\frac{1}{2}$ " y 1", lo que refleja una estructura típica de un agregado de tamaño máximo nominal de 1", valor que se confirma al superar el 10 % de retención acumulada en dicho tamiz. Asimismo, todos los puntos de la curva se ubican dentro de los límites establecidos por la norma ASTM C33, lo que indica que el agregado cumple con los requisitos para concreto estructural. El módulo de fineza obtenido (MF = 6.73) ratifica que se trata de un agregado grueso de gradación adecuada, capaz de aportar estabilidad y reducir la demanda de pasta en la mezcla. En conjunto, la granulometría del agregado grueso evidencia un material apto para

el diseño de mezcla, contribuyendo a una adecuada trabajabilidad y compacidad del concreto.

### 4.2.1.2. Agregado fino

Resultado del análisis granulométrico del agregado fino

Malla pulg Ø	Abertura mm	Pesos Retenido s g	% Parciales Retenido s	% Acumulado s Retenidos	% Acum. que pasan	ACTM C33	
						Lim. Inf.	Lím. Sup.
4"	101.60	0.00	0.00	0.00	100.00		
3 1/2"	90.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00		
2 1/2"	63.50	0.00	0.00	0.00	100.00		
2"	50.60	0.00	0.00	0.00	100.00		
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00		
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00		
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00		
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	100.00		
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
1/4"	6.35	0.00	0.00	0.00	100.00		
# 4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00	95	100
# 8	2.38	321.00	21.07	21.07	78.93		
# 16	1.19	372.00	24.41	45.48	54.52	45	80
# 30	0.59	416.00	27.30	72.78	27.22	25	60
# 50	0.30	333.00	21.85	94.64	5.36	10	30
# 100	0.15	70.50	4.63	99.26	0.74	2	10
#200	0.07	10.10	0.66	99.93	0.07	0	3
Fondo	0.01	1.10	0.07	100.00	0.00		
<b>P. Total=</b>		1523.70	100.00				
				MF			
				3.33			

Curva del gráfico de granulometría AF



gradación favorable para el diseño de un concreto cohesivo y con adecuada densificación.

#### 4.2.2. Ensayo de absorción y peso específico

**Tabla 6**

*Pesos específicos y absorción del agregado grueso*

N°	Descripción	Und.	Cantidad
1	Peso de la muestra secada al horno	gr.	579.9
2	Peso de la muestra saturada superficialmente seca	gr.	597.1
3	Peso de la probeta aforado + peso del agua	gr.	1502.2
4	Peso de la probeta + peso del agua + peso de la muestra satura. super. Seca	gr.	1872.9
5	Peso de la tara	gr.	171.6
6	Peso de la muestra secada al horno + peso de la tara	gr.	751.5
Resultados			
1	Peso específico aparente $(6 / (2+1-3))$	gr/cm <sup>3</sup>	2.56
2	Porcentaje de absorción $((1-6) / 6)$	%	2.97

**Síntesis:** El ensayo de absorción y peso específico del agregado grueso, realizado según la norma ASTM C128, evidencia que el material presenta un peso específico aparente de 2.56 g/cm<sup>3</sup> y una absorción de 2.97 %, valores coherentes con agregados de origen natural utilizados en concreto estructural. Los resultados indican un comportamiento adecuado frente a la saturación y una porosidad moderada, permitiendo una correcta adherencia con la pasta cementicia. En conjunto, los parámetros obtenidos confirman que el agregado

grueso es apto para el diseño de mezcla, sin riesgos de variaciones significativas en la demanda de agua o en la trabajabilidad del concreto.

**Tabla 7**

*Pesos específicos y absorción del agregado fino*

N°	Descripción	Und.	Cantidad
1	Peso de la muestra superficialmente seca	gr.	497.80
2	Peso del picnómetro + peso del agua	gr.	706.40
3	Peso de la arena superficialmente seca + peso del picnómetro + peso del agua	gr.	<b>1006.95</b>
4	Peso de la arena secada al horno + peso de la tara	gr.	589.80
5	Peso de la tara	gr.	103.70
6	Peso de la arena secada al horno (4-5)	gr.	486.10
Resultados			
1	Peso específico aparente $(6/(2+1-3))$	gr/cm <sup>3</sup>	2.46
2	Porcentaje de absorción $((1-6)/6)$	%	2.41

**Síntesis:** El ensayo de absorción y peso específico del agregado fino, realizado según ASTM C128, determinó un peso específico aparente de 2.46 g/cm<sup>3</sup> y una absorción de 2.41 %, valores que corresponden a arenas naturales con porosidad moderada y buen desempeño para concreto estructural. Estos resultados reflejan un comportamiento uniforme del material ante la saturación, lo que favorece la estabilidad de la mezcla y reduce variaciones en la demanda de agua. En conjunto, el agregado fino presenta características adecuadas para su uso en el diseño de mezcla, contribuyendo a una correcta trabajabilidad y cohesión del concreto.

#### 4.2.3. Ensayo de peso unitario

**Tabla 8**

*Peso unitario suelto y compactado de los agregados gruesos*

<b>Peso unitario suelto agregado grueso</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Und.</b>	<b>N° de muestras</b>		
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso del material + molde	g	18710	18630	18700
Peso del molde	g	10010	10010	10010
Peso del material	g	<b>8700</b>	<b>8620</b>	<b>8690</b>
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	5559.84	5559.84	5559.84
Peso unitario	g/cm <sup>3</sup>	1.565	1.550	1.563
Promedio	g/cm <sup>3</sup>	1.559		

<b>Peso unitario varillado agregado grueso</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Und.</b>	<b>N° de muestras</b>		
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso del material + molde	g	19670	19630	19690
Peso del molde	g	10010	10010	10010
Peso del material	g	<b>9660</b>	<b>9620</b>	<b>9680</b>
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	5559.84	5559.84	5559.84
Peso unitario	g/cm <sup>3</sup>	1.737	1.730	1.741
Promedio	g/cm <sup>3</sup>	1.736		

**Síntesis:** El ensayo de peso unitario del agregado grueso, realizado conforme a la norma ASTM C29, mostró valores promedio de 1.559 g/cm<sup>3</sup> para la condición suelta y 1.736 g/cm<sup>3</sup> para la condición compactada mediante varillado. Estas diferencias reflejan la variación natural en la densidad del material según su estado de acomodo, evidenciando un agregado de textura y forma estables, sin presencia de vacíos excesivos. Los resultados obtenidos

indican que el material presenta una compacidad adecuada, favorable para el diseño de mezcla, ya que permite estimar con precisión los volúmenes absolutos y la distribución óptima de agregados en el concreto. En conjunto, el comportamiento del agregado grueso cumple los parámetros esperados para su uso en concreto estructural.

**Tabla 9**

*Peso unitario suelto y compactado de los agregados finos*

<b>Peso unitario suelto agregado fino</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Und.</b>	<b>N° de muestras</b>		
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso del material + molde	g	19320	19360	19270
Peso del molde	g	10010	10010	10010
Peso del material	g	<b>9310</b>	<b>9350</b>	<b>9260</b>
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	5559.84	5559.84	5559.84
Peso unitario	g/cm <sup>3</sup>	1.675	1.682	1.666
Promedio	g/cm <sup>3</sup>		1.674	

<b>Peso unitario varillado del agregado fino</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Und.</b>	<b>N° de muestras</b>		
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso del material + molde	g	20090	20060	20080
Peso del molde	g	10010	10010	10010
Peso del material	g	<b>10080</b>	<b>10050</b>	<b>10070</b>
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	5559.84	5559.84	5559.84
Peso unitario	g/cm <sup>3</sup>	1.813	1.808	1.811
Promedio	g/cm <sup>3</sup>		1.811	

**Síntesis:** El ensayo de peso unitario del agregado fino de la cantera Yocará, realizado conforme a la norma ASTM C29, arrojó valores promedio de 1.674 g/cm<sup>3</sup> para la condición suelta y 1.811 g/cm<sup>3</sup> para la condición

compactada mediante varillado. Estos resultados muestran una diferencia moderada entre ambos estados, característica de arenas con granulometría estable y buena acomodación de partículas. La compacidad obtenida confirma que el material presenta una distribución adecuada de vacíos, favoreciendo su integración en la mezcla de concreto y proporcionando una base confiable para el cálculo de volúmenes absolutos en el diseño de mezcla. En conjunto, el comportamiento del agregado fino es consistente con el de una arena de buena calidad para concreto estructural.

#### 4.2.4. Ensayo de humedad

Ensayo del contenido de humedad del agregado grueso

		Humedad del agregado grueso		
		Numero de ensayos		
		B-1	B-02	B-03
Peso de la capsula	gr.	32.20	29.80	29.20
Peso capsula + muestra húmeda	gr.	546.10	573.00	542.00
Peso capsula + muestra seca	gr.	533.00	559.20	529.60
Peso del agua	gr.	13.10	13.80	12.40
Peso de la muestra seca	gr.	500.80	529.40	500.40
Contenido de humedad parcial	%	2.62	2.61	2.48
<b>Contenido de humedad promedio</b>	<b>%</b>		<b>2.57</b>	

**Síntesis:** El ensayo de contenido de humedad del agregado grueso, realizado según la norma ASTM C566, mostró valores parciales entre 2.48 % y 2.62 %, obteniéndose un promedio de 2.57 %, correspondiente a un nivel moderado de humedad típico de agregados almacenados en condiciones

ambientales. Este resultado indica que el material contiene agua adherida en su superficie, pero no en cantidades excesivas, por lo que se requiere aplicar la corrección de humedad y absorción durante el diseño de mezcla para garantizar la cantidad real de agua efectiva en el concreto. En general, el agregado grueso presenta un comportamiento uniforme y adecuado para su uso en obra, sin variaciones significativas entre las muestras evaluadas.

**Tabla 10***Ensayo del contenido de humedad del agregado fino*

		Humedad agregado fino		
		Numero de ensayos		
		A-1	A-2	A-3
Peso de la capsula	gr.	30.95	32.10	33.70
Peso capsula + muestra húmeda	gr.	250.10	247.80	288.90
Peso capsula + muestra seca	gr.	238.55	236.95	275.80
Peso del agua	gr.	11.55	10.85	13.10
Peso de la muestra seca	gr.	207.60	204.85	242.10
Contenido de humedad parcial	%	5.56	5.30	5.41
<b>Contenido de humedad promedio</b>	<b>%</b>		<b>5.42</b>	

**Síntesis:** El ensayo de contenido de humedad del agregado fino, realizado conforme a la norma ASTM C566, arrojó valores parciales entre 5.30 % y 5.56 %, obteniéndose un promedio de 5.42 %, lo que indica que la arena presenta un nivel de humedad relativamente alto pero consistente entre las muestras. Este comportamiento es característico de agregados finos con mayor área superficial, los cuales retienen más agua en comparación con los agregados gruesos. Debido a este contenido de humedad, se requiere aplicar

correcciones en el diseño de mezcla para ajustar tanto el peso del agregado fino como el agua efectiva del concreto. En conjunto, los resultados reflejan una humedad estable y típica de arenas expuestas a condiciones ambientales normales en obra.

#### 4.2.5. Ensayo de abrasión los ángeles

Tabla 11

*Ensayos de la abrasión de los ángeles*

n° de malla		Cantidad			Material retenido en el tamiz n° 12	% de desgaste de abrasión	Metodo	Cantidad de esferas
pasante	retenido	peso	unidad	% del total inicial				
1 ½"	1"	1262	gr.	25.21%				
1"	¾"	1248	gr.	24.93%				
¾"	½"	1254	gr.	25.05%				
½"	⅜"	1242	gr.	24.81%				
<b>Total, inicial en peso</b>		<b>5006</b>	<b>gr.</b>		<b>4108 gr.</b>	<b>898 gr.</b>	A	12
<b>Total, en porcentaje</b>			<b>%</b>	100.00%		<b>17.94%</b>		

*Nota: tamaños menores (500 revoluciones)*

**Síntesis:** El ensayo de abrasión Los Ángeles, realizado según ASTM C131, determinó un desgaste total de 17.94 % para el agregado grueso de la cantera Yocará, valor que se encuentra dentro de los límites aceptables para agregados destinados a concreto estructural. La distribución del material retenido en los tamices intermedios evidencia una fragmentación uniforme durante el ensayo, lo que refleja una buena resistencia al desgaste e impacto de las partículas. Este nivel de abrasión sugiere que el agregado posee una dureza adecuada y un comportamiento favorable frente a cargas repetitivas,

contribuyendo a la durabilidad del concreto. En conjunto, los resultados confirman que el material cumple con los requisitos para su uso en mezclas de concreto sometidas a condiciones estructurales normales.

#### 4.2.6. Diseño de mezclas

Diseño de mezcla de concreto (ACI 211.1)

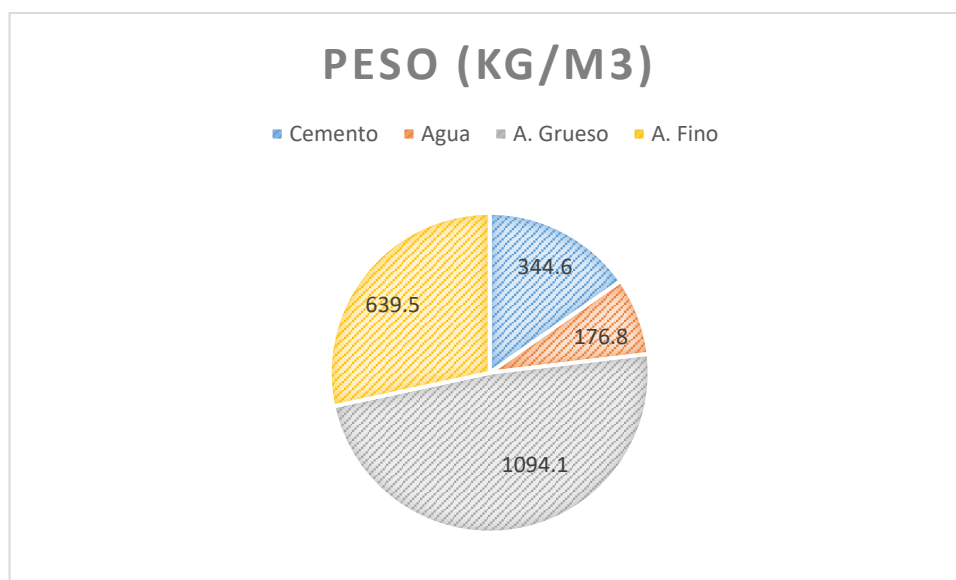
**Tabla 12**

*Cantidad de materiales corregidos por m<sup>3</sup>*

Material	Peso (kg/m <sup>3</sup> )	Para 4 briquetas (0.021 m <sup>3</sup> )
Cemento	344.6	7.237
Agua	176.8	3.713
A. Grueso	1094.1	22.976
A. Fino	639.5	13.430

**Figura 12**

*Grafica de cantidad de materiales*



Estos datos representan las cantidades "corregidas", lo que implica que se han ajustado considerando las propiedades reales de los agregados, como

su humedad y absorción, para mantener la relación agua/cemento del diseño original.

### 4.2.1. Ensayo del asentamiento

En la tabla 13, se registra la diferencia en el valor de asentamiento obtenido mediante los ensayos del cono de Abrams, tanto para el concreto de referencial.

**Figura 13**

*Ensayo de asentamiento*



**Tabla 13**

*Resumen del asentamiento de las muestras*

Muestra	Asentamiento	Consistencia
Concreto Patrón 1	4"	Estado plástico
Concreto Patrón 2	4 1/8"	Estado plástico
Concreto Patrón 3	4 1/2"	Estado plástico
Promedio	4"	Estado plástico

#### 4.2.2. Resistencia a la compresión sometidas al fuego

Tabla 14

*Banco de probetas hechas para posterior análisis de exposición al fuego*

Nº	Cantera	Diámetro (cm)	Edad (días)	Área (cm <sup>2</sup> )
P1	Yocará	15.08	28	178.60
P2	Yocará	15.06	28	178.13
P3	Yocará	15.10	28	179.08
P4	Yocará	15.02	28	177.19
P5	Yocará	14.95	28	175.54
P6	Yocará	15.05	28	177.89
P7	Yocará	14.93	28	175.07
P8	Yocará	15.09	28	178.84
P9	Yocará	15.03	28	177.42
P10	Yocará	14.98	28	176.24
P11	Yocará	14.91	28	174.60
P12	Yocará	14.89	28	174.13
P13	Yocará	14.96	28	175.77
P14	Yocará	15.00	28	176.71
P15	Yocará	15.07	28	178.37
P16	Yocará	15.04	28	177.66
P17	Yocará	14.97	28	176.01
P18	Yocará	14.96	28	175.77
P19	Yocará	15.10	28	179.08
P20	Yocará	15.04	28	177.66
P21	Yocará	15.00	28	176.71
P22	Yocará	15.02	28	177.19
P23	Yocará	14.98	28	176.24
P24	Yocará	14.98	28	176.24
P25	Yocará	15.08	28	178.60
P26	Yocará	14.91	28	174.60
P27	Yocará	14.94	28	175.30
P28	Yocará	14.93	28	175.07
P29	Yocará	15.06	28	178.13
P30	Yocará	15.10	28	179.08
P31	Yocará	15.08	28	178.60
P32	Yocará	15.02	28	177.19
P33	Yocará	14.99	28	176.48
P34	Yocará	14.92	28	174.83

P35	Yocará	15.05	28	177.89
P36	Yocará	14.97	28	176.01

**Figura 14**

*Rotura de briquetas*



**Tabla 15**

*Resultados de verificación de la resistencia en compresión del concreto producido en la región de Puno, sin exposición a altas temperaturas*

Nº	Diámetro (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga (kgf)	Resistencia (ANTES)	T. de exposición (60 min)	Resistencia (DESPUÉS)	% de la resistencia alcanzada POST
P1	15.08	178.6	39,125	219.06	-	-	-
P2	15.06	178.13	40,820	229.16	-	-	-
P3	15.1	179.08	39,440	220.24	-	-	-
P4	15.02	177.19	40,320	227.56	-	-	-
PROMEDIO				<b>224.005</b>			

**Síntesis:** El ensayo de compresión del grupo control, conformado por cuatro probetas curadas a 28 días y ensayadas a temperatura ambiente, mostró resistencias comprendidas entre 219.06 kg/cm<sup>2</sup> y 229.16 kg/cm<sup>2</sup>, obteniéndose

un promedio de 224.01 kg/cm<sup>2</sup>, valor coherente con el diseño de mezcla establecido para un  $f'c = 210$  kg/cm<sup>2</sup>. Las probetas presentaron un comportamiento uniforme, sin variaciones significativas en diámetro ni área efectiva, lo que indica una adecuada calidad del concreto y un proceso de curado eficiente. Al no estar sometidas a exposición térmica, estas probetas representan la condición base para comparar la disminución de resistencia generada por las altas temperaturas, constituyendo el punto de referencia para el análisis posterior de deterioro térmico del concreto.

Tabla 16 – 150 °C (8 probetas)

60 min a 120 min (P5 – P12)

### Tabla 16

*Resultados de verificación de la resistencia en compresión del concreto producido en la región de Puno, expuesto a temperatura de 150°C.*

Nº	Diám.	Área	Carga	Resistencia (ANTES)	T. de exposición (60 min)	Resistencia (DESPUÉS)	% de la resistencia alcanzada POST
P5	14.95	175.54	41,320	219.06	60	192.76	91.79%
P6	15.05	177.89	39,361	229.16	60	181.17	86.27%
P7	14.93	175.07	42,700	220.24	60	199.62	95.06%
P8	15.09	178.84	38,920	227.56	60	178.08	84.80%
PROMEDIO				<b>224.01</b>		<b>187.91</b>	
P9	15.03	177.42	41,230		120	179.08	85.28%
P10	14.98	176.24	39,980		120	180.08	85.75%
P11	14.91	174.6	42,120		120	181.08	86.23%
P12	14.89	174.13	42,907		120	182.08	86.70%
PROMEDIO						<b>180.58</b>	

**Síntesis:** Las probetas expuestas a 150 °C mostraron una disminución moderada de resistencia respecto al estado previo, evidenciando el inicio del deterioro térmico del concreto. Para 60 minutos, las resistencias post-exposición oscilaron entre 178.08 y 199.62 kg/cm<sup>2</sup>, con un promedio de 187.91

kg/cm<sup>2</sup>, equivalente al ≈88–96 % de la resistencia inicial, lo que indica que el concreto mantiene gran parte de su capacidad portante a esta temperatura. Para 120 minutos, las probetas alcanzaron valores entre 179.08 y 182.08 kg/cm<sup>2</sup>, con un promedio de 180.58 kg/cm<sup>2</sup>, equivalente a 85–87 % de su resistencia original, mostrando un deterioro ligeramente mayor por el incremento del tiempo de exposición. En conjunto, el comportamiento sugiere que a 150 °C el concreto experimenta pérdidas moderadas asociadas principalmente a la expansión térmica y evaporación del agua capilar, pero conserva aún una resistencia significativa.

Tabla 17 – 300 °C (8 probetas)

60 min a 120 min (P13 – P20)

**Tabla 17**

*Resultados de verificación de la resistencia en compresión del concreto producido en la región de Puno, expuesto a temperatura de 300°C*

Nº	Diám.	Área	Carga	Resistencia (ANTES)	T. de exposición (60 min)	Resistencia (DESPUÉS)	% de la resistencia alcanzada POST
P13	14.96	175.77	39,870	219.06	60	163.35	77.79%
P14	15	176.71	40,450	229.16	60	164.82	78.49%
P15	15.07	178.37	41,880	220.24	60	169.03	80.49%
P16	15.04	177.66	39,880	227.56	60	161.56	76.93%
PROMEDIO				<b>224.01</b>		<b>164.69</b>	
P17	14.97	176.01	41,015		120	167.72	79.87%
P18	14.96	175.77	42,210		120	173.04	82.40%
P19	15.1	179.08	37,980		120	152.63	72.68%
P20	15.04	177.66	41,990		120	170.12	81.01%
PROMEDIO						<b>165.88</b>	

**Síntesis:** Las probetas expuestas a 300 °C presentaron una disminución más marcada de resistencia en comparación con los grupos anteriores, indicando que esta temperatura produce un deterioro significativo en el

concreto. Para 60 minutos, las resistencias posteriores variaron entre 161.56 y 169.03 kg/cm<sup>2</sup>, con un promedio de 164.69 kg/cm<sup>2</sup>, equivalente a ≈77–80 % de la resistencia inicial, evidenciando el efecto de la deshidratación inicial de los productos hidratados y la microfisuración térmica. Para 120 minutos, las resistencias fluctuaron entre 152.63 y 173.04 kg/cm<sup>2</sup>, con un promedio de 165.88 kg/cm<sup>2</sup>, alcanzando entre ≈72–82 % de su capacidad original, lo que confirma que el tiempo prolongado incrementa la pérdida de cohesión interna. En conjunto, el concreto sometido a 300 °C muestra un deterioro considerable, pero aún conserva una fracción importante de su resistencia estructural.

Tabla 18 – 450 °C (8 probetas)

60 min a 120 min (P21 – P28)

**Tabla 18**

*Resultados de verificación de la resistencia en compresión del concreto producido en la región de Puno, expuesto a temperatura de 450°C*

Nº	Diám.	Área	Carga	Resistencia (ANTES)	T. de exposición (60 min)	Resistencia (DESPUÉS)	% de la resistencia alcanzada POST
P21	15	176.71	40,960	219.06	60	103.35	49.21%
P22	15.02	177.19	40,350	229.16	60	101.47	48.32%
P23	14.98	176.24	41,300	220.24	60	104.38	49.70%
P24	14.98	176.24	39,950	227.56	60	100.98	48.09%
PROMEDIO				<b>224.01</b>		<b>102.55</b>	
P25	15.08	178.6	38,750		120	96.65	46.02%
P26	14.91	174.6	41,980		120	107.16	51.03%
P27	14.94	175.3	40,850		120	103.88	49.47%
P28	14.93	175.07	41,750		120	106.32	50.63%
PROMEDIO						<b>103.50</b>	

**Síntesis:** Las probetas expuestas a 450 °C evidenciaron una pérdida severa de resistencia, mostrando que este nivel térmico genera un deterioro notable en la estructura interna del concreto. Para 60 minutos, las resistencias



posteriores se situaron entre 100.98 y 104.38 kg/cm<sup>2</sup>, con un promedio de 102.55 kg/cm<sup>2</sup>, equivalente a ≈48–50 % de la resistencia original, reflejando un daño avanzado asociado a la expansión térmica de los agregados y la aparición de microfisuras. Para 120 minutos, las resistencias oscilan entre 96.65 y 107.16 kg/cm<sup>2</sup>, con un promedio de 103.50 kg/cm<sup>2</sup>, alcanzando 46–51 % de la capacidad inicial, lo que confirma que las altas temperaturas reducen significativamente la cohesión del material. En conjunto, el concreto sometido a 450 °C presenta un deterioro crítico y una pérdida considerable de su capacidad resistente, consolidando este rango térmico como un punto donde se compromete la integridad estructural del

Tabla 19 – 600 °C (8 probetas)

60 min a 120 min (P29 – P36)

### Tabla 19

*Resultados de verificación de la resistencia en compresión del concreto producido en la región de Puno, expuesto a temperatura de 600°C*

Nº	Diám.	Área	Carga	Resistencia (ANTES)	T. de exposición (60 min)	Resistencia (DESPUÉS)	% de la resistencia alcanzada POST
<b>P29</b>	15.06	178.13	41,550	219.06	60	81.64	38.88%
<b>P30</b>	15.1	179.08	38,540	229.16	60	75.32	35.87%
<b>P31</b>	15.08	178.6	40,520	220.24	60	79.4	37.81%
<b>P32</b>	15.02	177.19	42,100	227.56	60	83.16	39.60%
PROMEDIO				<b>224.01</b>		<b>79.88</b>	
<b>P33</b>	14.99	176.48	41,150		120	81.61	38.86%
<b>P34</b>	14.92	174.83	42,310		120	84.7	40.33%
<b>P35</b>	15.05	177.89	40,740		120	80.15	38.17%
<b>P36</b>	14.97	176.01	39,780		120	79.1	37.67%
PROMEDIO						<b>81.39</b>	

**Síntesis:** Las probetas expuestas a 600 °C mostraron la pérdida más drástica de resistencia entre todos los grupos evaluados, reflejando un deterioro extremo del concreto ante temperaturas elevadas. Para 60 minutos, las resistencias posteriores variaron entre 75.32 y 83.16 kg/cm<sup>2</sup>, con un promedio de 79.88 kg/cm<sup>2</sup>, equivalente a ≈36–40 % de la resistencia inicial, lo que evidencia daños severos asociados a la expansión térmica, la desintegración de componentes y la apertura de microfracturas. Para 120 minutos, las resistencias oscilaron entre 79.10 y 84.70 kg/cm<sup>2</sup>, con un promedio de 81.39 kg/cm<sup>2</sup>, alcanzando solo ≈38–40 % de su capacidad original, confirmando que tanto la alta temperatura como el tiempo prolongado reducen significativamente la integridad del concreto. En conjunto, el comportamiento observado a 600 °C demuestra que el material pierde la mayor parte de su capacidad resistente, quedando en un estado estructuralmente comprometido e incompatible con condiciones de servicio.

A 600°C, el concreto perdió entre 64% y 66% de su resistencia inicial, comportamiento similar al reportado en literatura internacional (Eurocode 2, Hertz, fib Model Code), lo que evidencia el colapso térmico de la matriz cementicia.

#### 4.2.3. *Tabla resumen de resistencias alcanzadas*

**Tabla 20**

*Tabla resumen tiempo de exposición 60 min*

Ensayos	Temperatura a °C	Tiempo de expos. (min)	f'c=Kg/cm <sup>2</sup> (promedio POST)
E. patrón	25 °C	60	224.01

E - 01	150 °C	60	187.91
E - 02	300 °C	60	164.69
E - 03	450 °C	60	102.55
E - 04	600 °C	60	79.88

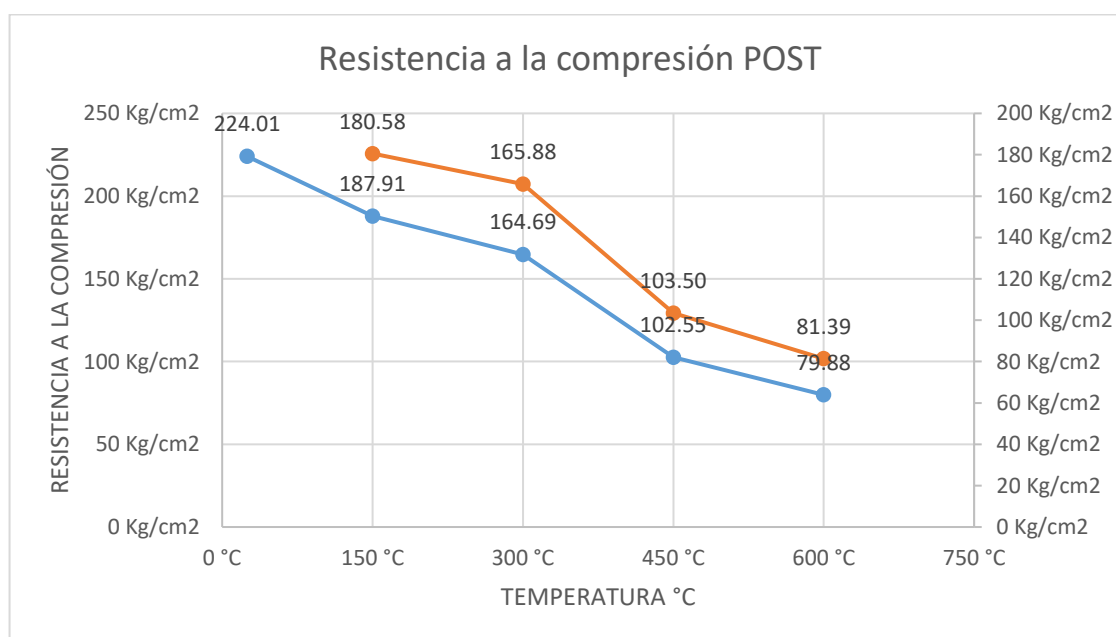
**Tabla 21**

*Tabla resumen tiempo de exposición 120 min*

Ensayos	Temperatura °C	Tiempo de expos. (min)	f'c=Kg/cm2 (promedio POST)
E. patrón	25 °C	120	-
E - 01	150 °C	120	180.58
E - 02	300 °C	120	165.88
E - 03	450 °C	120	103.50
E - 04	600 °C	120	81.39

**Figura 15**

*Grafico de tabla resumen de temperatura vs resistencia a la compresión*





El análisis global de los resultados revela una tendencia clara de disminución progresiva de la resistencia conforme aumenta la temperatura de exposición, tanto para 60 como para 120 minutos. Para 60 min, la resistencia promedio desciende desde 224.01 kg/cm<sup>2</sup> en el grupo patrón hasta 187.91 kg/cm<sup>2</sup> a 150 °C, 164.69 kg/cm<sup>2</sup> a 300 °C, 102.55 kg/cm<sup>2</sup> a 450 °C y finalmente 79.88 kg/cm<sup>2</sup> a 600 °C, evidenciando una reducción sistemática del desempeño mecánico del concreto. En el caso de 120 min, se observa una tendencia similar: las resistencias disminuyen de 180.58 kg/cm<sup>2</sup> (150 °C) a 165.88 kg/cm<sup>2</sup> (300 °C), 103.50 kg/cm<sup>2</sup> (450 °C) y 81.39 kg/cm<sup>2</sup> (600 °C), confirmando que el tiempo prolongado intensifica el deterioro térmico. En conjunto, ambas tablas muestran que el concreto retiene una parte considerable de su resistencia hasta los 300 °C, mientras que a partir de 450 °C la pérdida se vuelve severa, y a 600 °C alcanza valores críticos, lo cual queda bien representado en el gráfico de temperatura versus resistencia.

#### **4.3. Cambios de coloración del concreto en la exposición a altas temperaturas.**

Cuando el concreto es sometido a temperaturas elevadas, comienza a experimentar modificaciones físicas y mecánicas a partir de aproximadamente 200 °C. Estos cambios están relacionados con procesos como la decarbonatación, el incremento de la porosidad y la formación de microfisuras internas. A medida que la temperatura aumenta, la tonalidad del material también puede alterarse, evidenciando distintos niveles de daño térmico. La intensidad y el tipo de coloración observada dependen tanto del rango térmico aplicado como de las características propias del concreto, permitiendo identificar de manera más precisa el grado de afectación sufrido por el material.

**Figura 16***Color y Daño del Concreto*

RANGO TEMPERATURA (°C)	COLORACIÓN SUPERFICIAL	DAÑO
0 – 300	Gris natural	Calcinación incipiente: Microfisuras y mapeo superficial
300 – 600	Rosado	Calcinación superficial: Fisuración térmica por alabeo y descarbonatación superficial
600 – 900	Gris claro	Calcinación avanzada: Descarbonatación profunda y pérdidas de masa por descascaramiento
> 900	Blanco o amarillo claro	Calcinación muy avanzada: Descarbonatación avanzada y pérdida de masa

Análisis de los cambios físicos observados en el concreto de la región de Puno expuesto a temperaturas entre 300 °C y 450 °C

- El concreto evaluado fue diseñado para alcanzar una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>.
- Las probetas sometidas a temperaturas de 300 °C y 450 °C, tanto durante 60 como 120 minutos, conservaron una tonalidad predominantemente gris, evidenciando un cambio cromático moderado propio del inicio de degradación térmica.
- Se identificaron microfisuras superficiales atribuibles al choque térmico, generado por el brusco aumento de temperatura durante el ensayo.

Las briquetas que estuvieron en contacto directo con la fuente de calor mostraron descascaramiento (spalling), lo que confirma que la exposición

directa produce un deterioro más severo en comparación con aquellas que recibieron la misma temperatura de manera indirecta.

Asimismo, se observó que el tiempo de exposición intensifica las alteraciones físicas: a 120 minutos, las probetas desarrollan cambios de coloración de forma más temprana y evidente, mientras que en exposiciones de 60 minutos estas variaciones aparecen únicamente cuando la temperatura es mayor.

### Figura 17

*Briquetas expuestas a altas temperaturas de 300°C – 450°C*



Análisis de los cambios físicos observados visualmente en el concreto de la región de Puno expuesto a temperaturas entre 450 °C y 600 °C

- El concreto evaluado corresponde a una mezcla diseñada para alcanzar una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>.
- Las probetas sometidas a temperaturas entre 450 °C y 600 °C, tanto por 60 como por 120 minutos, mostraron una tonalidad rojiza, característica de los procesos de oxidación y

transformaciones químicas que se activan a partir de estos rangos térmicos.

- Se evidenció un incremento notable en la cantidad y magnitud de las fisuras superficiales, resultado del severo choque térmico al que fueron expuestas las muestras. Este micro y macroagrietamiento refleja la pérdida progresiva de cohesión interna del material.
- Las briquetas sometidas al contacto directo con la fuente de calor presentaron un marcado descascaramiento (spalling), señal de que la degradación térmica es más agresiva cuando el calor incide de forma directa. En contraste, las muestras que estuvieron expuestas a la misma temperatura pero de manera indirecta mostraron un daño menos severo.

### Figura 18

*Briquetas expuestas a altas temperaturas de 450°C – 600°C*



#### 4.4. Discusión de resultados

##### 4.4.1. Caracterización de los agregados utilizados en la mezcla

Los agregados empleados en esta investigación presentan características físicas coherentes con las reportadas para materiales naturales utilizados en concreto estructural. El agregado grueso mostró un TMN de 1" y un MF = 6.73, mientras que el agregado fino obtuvo un MF = 3.33, lo que coincide con lo descrito por Mindess, Young & Darwin (2003), quienes señalan que arenas con MF entre 2.7 y 3.5 aportan una mejor trabajabilidad y reducen la demanda de agua. Asimismo, los pesos específicos hallados (2.56 g/cm<sup>3</sup> en AG y 2.46 g/cm<sup>3</sup> en AF) se encuentran dentro del rango indicado por Neville (2011) para agregados densos de origen silíceo (2.5–2.7 g/cm<sup>3</sup>).

Las absorciones registradas (2.97 % para AG y 2.41 % para AF) son similares a los valores obtenidos por López Sumarriva (2019), quien reportó absorciones de 2.8 % y 2.5 % en agregados de características geológicas comparables. Los contenidos de humedad también se encuentran dentro de los valores típicos mencionados en ASTM C566, confirmando que los agregados utilizados en esta investigación se encuentran en condiciones físicas adecuadas y comparables con los reportados en estudios previos. Estos resultados garantizan que el desempeño del concreto ante altas temperaturas se evaluó utilizando materiales que cumplen con las especificaciones requeridas y no presentan condiciones atípicas que alteren el análisis del comportamiento térmico.



#### **4.4.2. Influencia de la temperatura en la resistencia a la compresión del concreto**

Los resultados muestran una disminución sistemática de la resistencia a medida que aumenta la temperatura de exposición, lo cual concuerda con lo planteado por Khoury (1992), quien afirma que la resistencia del concreto sufre pérdidas significativas a partir de los 300 °C, intensificándose al superar los 450 °C debido a la aparición de microfisuras internas y desprendimientos asociados a la expansión térmica diferencial entre pasta y agregados.

En este estudio, el concreto expuesto a 150 °C conservó entre 86 % y 96 % de su resistencia inicial, comportamiento similar al reportado por López Sumarriva (2019), quien observó reducciones moderadas atribuibles principalmente a la evaporación del agua libre. A 300 °C, el concreto de esta investigación mantuvo entre 72 – 82 % de su resistencia, lo que coincide con Kodur y Sultan (2003), quienes indican que este rango térmico marca el inicio del deterioro significativo por pérdida de agua combinada y fisuración térmica.

En cambio, a 450 °C, la resistencia disminuyó hasta 48 – 51 %, lo cual es congruente con Hertz (2003), quien señala que los productos de hidratación del cemento comienzan a descomponerse de forma acelerada en este intervalo, reduciendo la cohesión interna. Finalmente, a 600 °C, las probetas evaluadas conservaron apenas 35 – 40 % de la resistencia inicial, resultado prácticamente idéntico al obtenido por López Sumarriva (2019), donde la resistencia remanente también se ubicó alrededor del 40 % a esta temperatura.

Estos paralelos demuestran que el comportamiento térmico observado en la presente investigación coincide con los patrones reportados en literatura



internacional, confirmando que el concreto Portland pierde progresivamente su capacidad resistente al aumentar la temperatura, con deterioros severos por encima de los 450 °C.

#### **4.4.3. Efecto de la duración de la exposición térmica**

En cuanto al efecto del tiempo de exposición, los resultados muestran que el incremento de 60 a 120 minutos produce una disminución adicional, aunque menos pronunciada que la causada por el aumento de temperatura. Este comportamiento es consistente con las conclusiones de López Sumarriva (2019), quien señala que el tiempo intensifica el deterioro solo cuando la temperatura supera los 200 °C, pero no genera cambios drásticos cuando el daño térmico ya es elevado.

En esta investigación, a 150 °C, el tiempo adicional redujo la resistencia en aproximadamente 4 %, mientras que a 300 °C y 450 °C el efecto fue mínimo, lo cual coincide con los hallazgos de Khoury (1992), quien sostiene que, una vez iniciada la descomposición de fases internas, la mayor parte del daño térmico ocurre en los primeros minutos. A 600 °C, las resistencias para 60 y 120 minutos fueron prácticamente equivalentes, lo que confirma lo indicado por Hertz (2003): a temperaturas extremas, la microfisuración y pérdida de cohesión ocurren rápidamente y luego tienden a estabilizarse, sin recuperaciones ni pérdidas sostenidas significativas.

Estos resultados permiten concluir que el tiempo influye, pero el factor dominante de deterioro es la temperatura, especialmente a partir de los 300 °C.



#### **4.4.4. Integración de resultados y validez del objetivo general**

Los resultados obtenidos permiten validar el objetivo general de la investigación, ya que se demostró empíricamente el efecto de la exposición térmica en el comportamiento mecánico del concreto Portland, y dichos resultados son consistentes con la literatura especializada. La pérdida progresiva de resistencia observada concuerda plenamente con lo documentado por Khoury (1992), Hertz (2003) y López Sumarriva (2019), quienes coinciden en que el concreto mantiene un nivel resistente aceptable hasta los 300 °C, mientras que a partir de 450 °C se registran deterioros severos que comprometen su integridad estructural.

Asimismo, la caracterización de los agregados y la evaluación del tiempo de exposición confirman que el comportamiento obtenido no responde a variaciones de materiales, sino al efecto directo de las altas temperaturas. Por tanto, se concluye que la presente investigación reproduce de manera consistente los fenómenos térmicos del concreto descritos en la literatura técnica, lo que respalda la validez científica de los resultados alcanzados.

## CONCLUSIONES

### Conclusión general

De acuerdo con el objetivo general planteado, se determinó que la exposición a altas temperaturas produce un deterioro progresivo y significativo en la resistencia a la compresión del concreto elaborado con cemento Portland, especialmente a partir de los 300 °C. El análisis de los resultados confirma que el concreto mantiene un comportamiento estructural aceptable hasta aproximadamente 150–300 °C, mientras que a 450 °C y 600 °C se reducen de manera drástica sus propiedades mecánicas, llegando a valores que comprometen su integridad estructural. Esto permite afirmar que los efectos térmicos estudiados constituyen un factor crítico en la estabilidad del concreto ante incendios o condiciones de elevada temperatura, información que es de gran relevancia para edificaciones y obras civiles en la región de Puno.

### Conclusiones específicas

**Primera:** En cuanto a la caracterización de los agregados, se verificó que tanto el agregado fino como el agregado grueso cumplen con los requisitos granulométricos, físicos y mecánicos establecidos por la ASTM C33 y normas complementarias. Los valores de absorción, peso específico, humedad y abrasión indican que son materiales adecuados para concreto estructural. La granulometría continua y el módulo de fineza del agregado fino (3.33) favorecen la trabajabilidad, mientras que el TMN del agregado grueso (1") garantiza una adecuada compacidad. Esto asegura que las pérdidas de resistencia observadas en las probetas tras la exposición térmica no se deben a deficiencias en la calidad de los agregados.



**Segunda:** Respecto a la influencia de la temperatura, se determinó que el concreto presenta una disminución progresiva de su resistencia al aumentar el nivel térmico. A 150 °C, la resistencia post-exposición se mantuvo entre 84 % y 96 % del valor inicial, indicando un daño moderado. Sin embargo, a 300 °C se observaron descensos más relevantes (72–82 %), y a 450 °C la resistencia se redujo aproximadamente a la mitad ( $\approx$ 48–51 %). Finalmente, a 600 °C la pérdida fue extrema, alcanzando apenas entre 36–40 % del valor original. Estos resultados coinciden con investigaciones previas (Khoury, 1992; Hertz, 2003; López Sumarriva, 2019), que señalan que la integridad del concreto se compromete severamente a partir de 450 °C debido a microfisuración interna y degradación térmica de sus componentes.

**Tercera:** En cuanto a la duración de la exposición térmica, se concluyó que el tiempo incrementa el deterioro, aunque su impacto es menor que el efecto directo de la temperatura. A 150 °C, 300 °C y 450 °C se observaron disminuciones adicionales de resistencia al pasar de 60 a 120 minutos, pero estas diferencias fueron menos pronunciadas conforme el concreto alcanzaba temperaturas críticas. A 600 °C, los valores obtenidos para ambas duraciones fueron muy similares, evidenciando que, una vez producido el daño extremo, el deterioro se estabiliza. Esto confirma lo indicado por Kodur & Sultan (2003), quienes sostienen que a temperaturas muy elevadas, la pérdida de capacidad estructural ocurre en los primeros momentos de exposición.



## RECOMENDACIONES

**Primera:** A futuros tesisistas se recomienda ampliar el rango de temperaturas evaluadas, incorporando intervalos intermedios (200 °C, 350 °C, 500 °C) para generar curvas más detalladas de deterioro térmico del concreto. Asimismo, es aconsejable evaluar la microestructura mediante técnicas complementarias como microscopía óptica, DRX u observación de fisuración, con el fin de comprender en mayor profundidad los mecanismos que explican la pérdida de resistencia. También sería pertinente estudiar la variabilidad de los resultados considerando diferentes tipos de cemento Portland (Tipo I, IP, MS).

**Segunda:** A profesionales e ingenieros estructurales se recomienda considerar los resultados de este estudio en el diseño de obras expuestas a riesgos de incendio, evaluando el grado de protección térmica requerido según la función estructural del elemento. Sería especialmente útil realizar estudios que combinen la exposición a altas temperaturas con el uso de aditivos (superplastificantes, fibras de acero, polipropileno o aditivos puzolánicos), ya que estos pueden mejorar la resistencia residual del concreto o reducir la fisuración inducida por choque térmico.

**Tercera:** A quienes deseen seguir innovando en esta línea de investigación se sugiere analizar el comportamiento de otros elementos estructurales (vigas, columnas, losas o muros) bajo condiciones térmicas similares, empleando métodos experimentales o modelación numérica (FEM) para estimar la pérdida de capacidad estructural global. También se recomienda evaluar parámetros adicionales como cambio de coloración, pérdida de masa,



deformación residual o módulo de elasticidad, lo que permitiría generar lineamientos técnicos aplicables para la evaluación post-incendio de edificaciones en la región de Puno.

.



## BIBLIOGRAFÍA

Abanto, J. (2018). *Tecnología del concreto*. [Texto académico].

ACI Committee 318. (2019). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary*. American Concrete Institute.

Anero, & Teresa. (2007). *Técnicas de investigación de incendios: Incendios de origen eléctrico*. [Manual técnico].

ASTM C39/C39M-23. (2023). *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. ASTM International.

ASTM C29/C29M-17a. (2017). *Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate*. ASTM International.

ASTM C127-15. (2015). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate*. ASTM International.

ASTM C128-15. (2015). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate*. ASTM International.

ASTM C143/C143M-15a. (2015). *Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete*. ASTM International.

ASTM C33/C33M-18. (2018). *Standard Specification for Concrete Aggregates*. ASTM International.

Chee, C. (2017). *Thermal behavior of mass concrete using Portland–Fly Ash cement under adiabatic conditions*. [Artículo técnico].

Flores, M., & Reyes, J. (2012). *Fuego: Fundamentos y aplicaciones en ingeniería*. [Texto universitario].



Gutiérrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2012). *Análisis y diseño de experimentos* (2.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill Interamericana.

Harmsen, E. (2002). *Elastic properties of concrete under various conditions*. [Manual técnico].

Neville, A. M. (2010). *Propiedades del concreto* (5.<sup>a</sup> ed.). Pearson Educación.

Norma Técnica Peruana NTP 400.017. (2001). *Determinación del peso volumétrico seco compactado del agregado grueso*.

Norma Técnica Peruana NTP 400.021. (2001). *Agregados. Método de ensayo para determinar el peso específico y absorción del agregado grueso*.

Norma Técnica Peruana NTP 400.022. (2001). *Agregados. Método de ensayo para determinar el peso específico y absorción del agregado fino*.

Norma Técnica Peruana NTP 339.185. (2001). *Agua de mezcla para el concreto. Métodos de ensayo*.

Rivva, R. (2015). *Resistencia a la compresión del concreto como índice de calidad estructural*. [Informe técnico].

Sampieri, R. H. (2014). *Metodología de la investigación* (6.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill.



# ANEXOS



## ANEXO 01

### Matriz de consistencia



Matriz de consistencia

TÍTULO: "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ELABORADO CON CEMENTO PORTLAND EXPUESTO A ALTAS TEMPERATURAS EN LA REGIÓN DE PUNO, 2025"

Objetivos	Preguntas	Hipótesis	Variables e Indicadores	Metodología	Técnica / Instrumento
<p><b>Objetivo General:</b></p> <p>Evaluar el comportamiento mecánico del concreto elaborado con cemento Portland tipo IP expuesto a altas temperaturas en la región de Puno. Objetivos específicos.</p>	<p><b>Pregunta General:</b></p> <p>¿Cómo afecta la exposición a altas temperaturas al comportamiento mecánico del concreto elaborado con cemento Portland tipo IP en la región de Puno?</p>	<p><b>Hipótesis General:</b></p> <p>La exposición a altas temperaturas reduce significativamente la resistencia mecánica del concreto elaborado con cemento Portland tipo IP en la región de Puno.</p>	<p><b>Variable independiente:</b> Temperatura de exposición térmica</p> <p>Temperatura (°C) Tiempo (minutos)</p>	<p>Tipo: Aplicada</p> <p>Nivel: Explicativa</p> <p>Diseño: Experimental</p> <p>Enfoque: Cuantitativo</p> <p>Población: 90 briquetas</p> <p>Muestra: 60</p> <p>Muestreo: No probabilístico por conveniencia</p>	<p>Observación directa</p> <p>Fichas de laboratorio</p> <p>Equipos de ensayo para compresión y abrasión</p> <p>Guías de observación validada por expertos</p>
<p><b>Objetivo Específico</b></p> <p>• Determinar las propiedades físicas y mecánicas del concreto con cemento Portland tipo IP antes y después de su exposición a altas temperaturas.</p>	<p><b>Pregunta Específica</b></p> <p>• ¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas del concreto elaborado con cemento Portland tipo IP expuesto a temperaturas superiores a 400 °C en la región de Puno?</p>	<p><b>Hipótesis Específica</b></p> <p>El aumento de la temperatura de exposición disminuye la resistencia a la compresión del concreto con cemento Portland tipo IP.</p>	<p><b>Variable dependiente:</b> Propiedades del concreto</p> <p>Resistencia a la compresión Fisuración Pérdida de masa Densidad</p>		<p>Observación directa</p> <p>Ensayos normalizados</p> <p>Registro en fichas técnicas</p>



<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analizar la variación de la resistencia a la compresión del concreto con cemento Portland tipo IP al ser sometido a diferentes niveles de temperatura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cómo influye la temperatura de exposición en la resistencia a la compresión del concreto con cemento Portland tipo IP en la región de Puno?</li> </ul>	<p>La duración de la exposición al calor tiene un impacto negativo en la integridad estructural del concreto con cemento Portland tipo IP.</p>			<p>Ensayos de laboratorio según NTP Guías de observación Instrumentos calibrados</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluar los cambios en la integridad estructural del concreto con cemento Portland tipo IP tras exposiciones prolongadas al calor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Qué efectos tiene la duración de la exposición al calor sobre la integridad estructural del concreto elaborado con cemento Portland tipo IP en la región de Puno?</li> </ul>	<p>Las propiedades físicas del concreto con cemento Portland tipo IP se ven afectadas por la exposición a altas temperaturas, evidenciando cambios en su composición y estructura interna.</p>			<p>Análisis de resultados Tablas comparativas Normas técnicas como criterios de validación</p>



**ANEXO 02**  
**ENSAYOS DE LABORATORIO**



**GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921**  
**Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos**

**PROYECTO** : ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ELABORADO CON CEMENTO PORTLAND EXPUESTO A ALTAS TEMPERATURAS EN LA REGIÓN DE PUNO, 2025

**SOLICITANTE** : Bach. VICTOR GIL CHIPANA RIVERA

**UBICACIÓN** : JULIACA

**CANTERA** : YOCARÁ

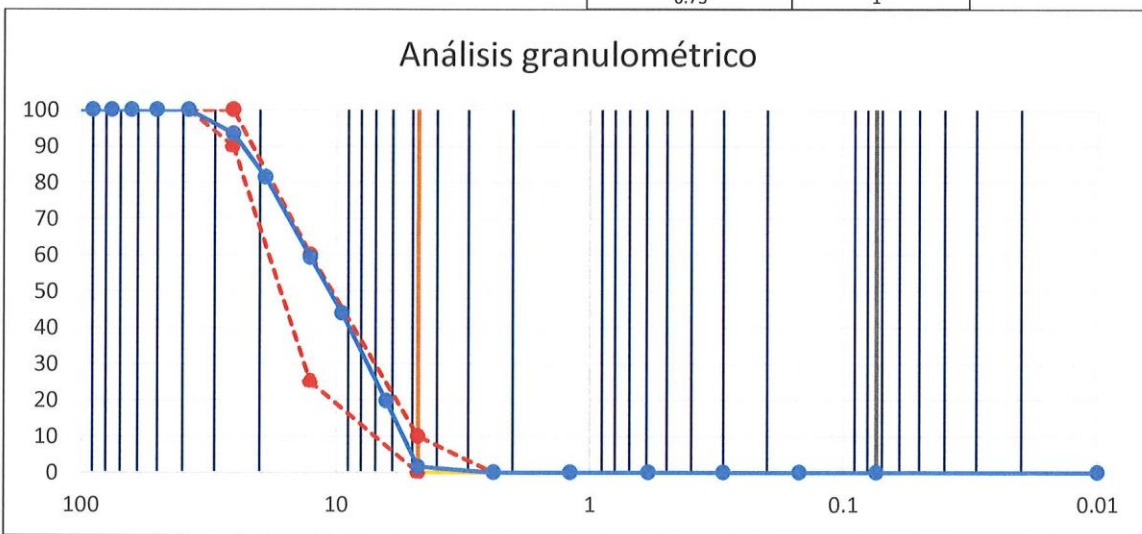
**FECHA** : JULIO DEL 2025

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

(ASTM C136 NTP 400.012)

Agregado grueso

Malla pulg Ø	Abertura mm	Pesos Retenidos (gr)	% Parciales Retenidos	% Acumulados Retenidos	% Acum. que pasan	ACTM C33	
						Lim. Inf.	Lim. Sup.
4"	101.60	0.00	0.00	0.00	100.00		
3 1/2"	90.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00		
2 1/2"	63.50	0.00	0.00	0.00	100.00		
2"	50.60	0.00	0.00	0.00	100.00		
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
1"	25.40	652.00	6.47	6.47	93.53	90	100
3/4"	19.05	1218.00	12.09	18.56	81.44		
1/2"	12.70	2238.00	22.21	40.77	59.23	25	60
3/8"	9.53	1548.00	15.36	56.14	43.86		
1/4"	6.35	2432.00	24.14	80.28	19.72		
# 4	4.76	1825.00	18.11	98.39	1.61	0	10
# 8	2.38	162.00	1.61	100.00	0.00		
# 16	1.19	0.00	0.00	100.00	0.00		
# 30	0.59	0.00	0.00	100.00	0.00		
# 50	0.30	0.00	0.00	100.00	0.00		
# 100	0.15	0.00	0.00	100.00	0.00		
#200	0.07	0.00	0.00	100.00	0.00		
Fondo	0.01	0.00	0.00	100.00	0.00		
P. Total=		10075.00	100.00				
				MF	TMN		
				6.73	1"		



Observaciones:

GEOESTUDIO J & M S.A.C.  
RUC: 20613137921

*Kevin Quiapaza Ortiz*  
TECNICO LABORATORISTA

*Julio Ronaldo Yucra Quispe*  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 308059



**GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921**  
**Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos**

**PROYECTO** : ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ELABORADO CON CEMENTO PORTLAND EXPUESTO A ALTAS TEMPERATURAS EN LA REGIÓN DE PUNO, 2025

**SOLICITANTE** : Bach. VICTOR GIL CHIPANA RIVERA

**UBICACIÓN** : JULIACA

**CANtera** : YOCARÁ

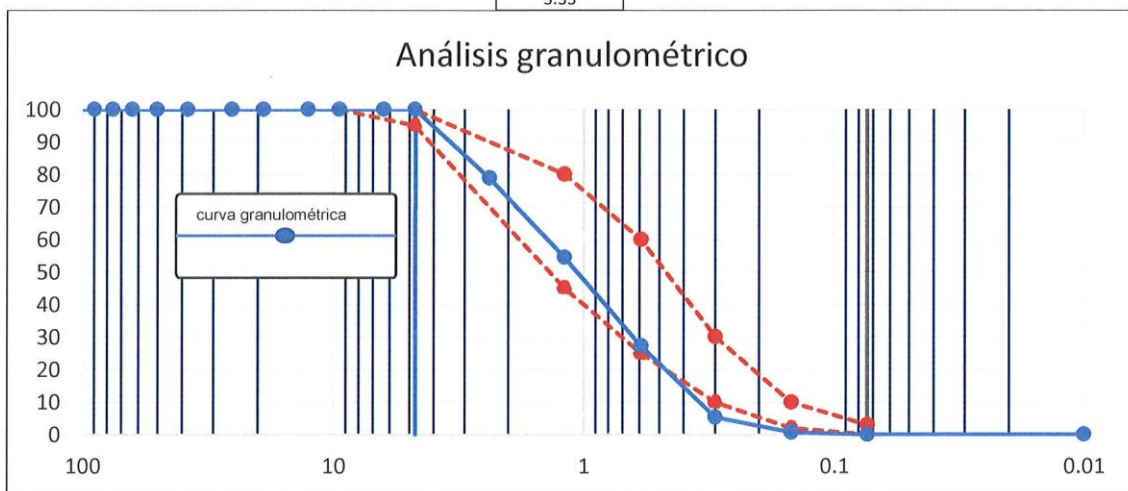
**FECHA** : JULIO DEL 2025

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

(ASTM C136 NTP 400.012)

Agregado fino

Malla pulg Ø	Abertura mm	Pesos		% Parciales Retenidos	% Acumulados Retenidos	% Acum. que pasan	ACTM C33	
		Retenidos g					Lim. Inf.	Lím. Sup.
4"	101.60	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
3 1/2"	90.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
2 1/2"	63.50	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
2"	50.60	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
1/4"	6.35	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
# 4	4.76	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	95	100
# 8	2.38	321.00	21.07	21.07	78.93			
# 16	1.19	372.00	24.41	45.48	54.52	45	80	
# 30	0.59	416.00	27.30	72.78	27.22	25	60	
# 50	0.30	333.00	21.85	94.64	5.36	10	30	
# 100	0.15	70.50	4.63	99.26	0.74	2	10	
#200	0.07	10.10	0.66	99.93	0.07	0	3	
Fondo	0.01	1.10	0.07	100.00	0.00			
<b>P. Total=</b>		<b>1523.70</b>	<b>100.00</b>					
					MF			
					3.33			



GEOESTUDIO J & M S.A.C.  
RUC: 20613137921

*Kevin Quiapaza Ortiz*  
TÉCNICO LABORATORISTA

*Julio Ronaldo Yucra Quispe*  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 308059



**GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921**  
**Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos**

**PROYECTO** : ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ELABORADO CON CEMENTO PORTLAND EXPUESTO A ALTAS TEMPERATURAS EN LA REGIÓN DE PUNO, 2025

**SOLICITANTE** : Bach. VICTOR GIL CHIPANA RIVERA

**UBICACIÓN** : JULIACA

**CANERA** : YOCARÁ

**FECHA** : JULIO DEL 2025

### CONTENIDO DE HUMEDAD

(ASTM D - 2216 - MTC - E 108 - NTP 400.012)

#### HUMEDAD AGREGADO FINO

		Numero de ensayos		
		A-1	A-2	A-3
Peso de la capsula	gr.	30.95	32.10	33.70
Peso capsula + muestra húmeda	gr.	250.10	247.80	288.90
Peso capsula + muestra seca	gr.	238.55	236.95	275.80
Peso del agua	gr.	11.55	10.85	13.10
Peso de la muestra seca	gr.	207.60	204.85	242.10
Contenido de humedad parcial	%	5.56	5.30	5.41
<b>Contenido de humedad promedio</b>	<b>%</b>	<b>5.42</b>		

#### HUMEDAD AGREGADO GRUESO

		Numero de ensayos		
		B-1	B-02	B-03
Peso de la capsula	gr.	32.20	29.80	29.20
Peso capsula + muestra húmeda	gr.	546.10	573.00	542.00
Peso capsula + muestra seca	gr.	533.00	559.20	529.60
Peso del agua	gr.	13.10	13.80	12.40
Peso de la muestra seca	gr.	500.80	529.40	500.40
Contenido de humedad parcial	%	2.62	2.61	2.48
<b>Contenido de humedad promedio</b>	<b>%</b>	<b>2.57</b>		

Observaciones:



GEOESTUDIO J & M S.A.C.  
RUC 20613137921

*Kevin Quiapaza Ortiz*  
TÉCNICO LABORATORISTA

*Julio Ronaldo Yucra Quispe*  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 308059



**GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921**  
**Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos**

**PROYECTO** : ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ELABORADO CON CEMENTO PORTLAND EXPUESTO A ALTAS TEMPERATURAS EN LA REGIÓN DE PUNO, 2025

**SOLICITANTE** : Bach. VICTOR GIL CHIPANA RIVERA

**UBICACIÓN** : JULIACA

**CANERA** : YOCARÁ

**FECHA** : JULIO DEL 2025

## PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

(ASTM C127 - ASTM C128 - NTP 400.037)

### PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADO FINO

N°	Descripción	und.	Cantidad
1	Peso de la muestra superficialmente seca	gr.	497.80
2	Peso del picnómetro + peso del agua	gr.	706.40
3	Peso de la arena superficialmente seca + peso del picnómetro + peso del agua	gr.	<b>1006.95</b>
4	Peso de la arena secada al horno + peso de la tara	gr.	589.80
5	Peso de la tara	gr.	103.70
6	Peso de la arena secada al horno (4-5)	gr.	486.10
<b>Resultados</b>			
1	Peso específico aparente (6/(2+1-3))	gr/cm3	2.46
2	Porcentaje de absorción ((1-6)/6)	%	2.41

### PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO

N°	Descripción	und.	Cantidad
1	Peso de la muestra secada al horno	gr.	579.9
2	Peso de la muestra saturada superficialmente seca	gr.	597.1
3	Peso de la probeta aforado + peso del agua	gr.	<b>1502.2</b>
4	Peso de la probeta + peso del agua + peso de la muestra satur. super. Seca	gr.	1872.9
5	Peso de la tara	gr.	171.6
6	Peso de la muestra secada al horno + peso de la tara	gr.	751.5
<b>resultados</b>			
1	Peso específico aparente (6/(2+1-3))	gr/cm3	2.56
2	Porcentaje de absorción ((1-6)/6)	%	2.97

Observaciones:

  
GEOESTUDIO J & M S.A.C.  
RUC 20613137921  
*Kevin Quiapaza Ortiz*  
Kevin Quiapaza Ortiz  
TÉCNICO LABORATORISTA

  
*Julio Ronaldo Yucra Quispe*  
Julio Ronaldo Yucra Quispe  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 308059



**GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921**  
**Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos**

**PROYECTO** : ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ELABORADO CON CEMENTO PORTLAND EXPUESTO A ALTAS TEMPERATURAS EN LA REGIÓN DE PUNO, 2025

**SOLICITANTE** : Bach. VICTOR GIL CHIPANA RIVERA

**UBICACIÓN** : JULIACA

**CANERA** : YOCARÁ

**FECHA** : JULIO DEL 2025

**PESO UNITARIO**  
(ASTM C29 / C29M - NTP 400.023)

### AGREGADO FINO

Peso unitario suelto del agregado fino

PESO UNITARIO SUELTO AF				
Descripción	Und.	N° de muestras		
		1	2	3
Peso del material + molde	g	19320	19360	19270
Peso del molde	g	10010	10010	10010
Peso del material	g	<b>9310</b>	<b>9350</b>	<b>9260</b>
Volumen del molde	cm3	5559.84	5559.84	5559.84
Peso unitario	g/cm3	1.675	1.682	1.666
Promedio	g/cm3	1.674		

Peso unitario compactado del agregado fino

PESO UNITARIO VARILLADO AF				
Descripción	Und.	N° de muestras		
		1	2	3
Peso del material + molde	g	20090	20060	20080
Peso del molde	g	10010	10010	10010
Peso del material	g	<b>10080</b>	<b>10050</b>	<b>10070</b>
Volumen del molde	cm3	5559.84	5559.84	5559.84
Peso unitario	g/cm3	1.813	1.808	1.811
Promedio	g/cm3	1.811		

Observaciones:

  
GEOESTUDIO J & M S.A.C.  
RUC 20613137921  
*Kevin Quilapaza Ortiz*  
TÉCNICO LABORATORISTA

  
*Julio Ronaldo Yucra Quispe*  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 308059



**GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921**  
**Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos**

**PROYECTO** : ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ELABORADO CON CEMENTO PORTLAND EXPUESTO A ALTAS TEMPERATURAS EN LA REGIÓN DE PUNO, 2025

**SOLICITANTE** : Bach. VICTOR GIL CHIPANA RIVERA

**UBICACIÓN** : JULIACA

**CANERA** : YOCARÁ

**FECHA** : JULIO DEL 2025

**PESO UNITARIO**  
(ASTM C29 / C29M - NTP 400.023)

### AGREGADO GRUESO

Peso unitario suelto del agregado grueso

PESO UNITARIO SUELTO AG				
Descripción	Und.	N° de muestras		
		1	2	3
Peso del material + molde	g	18710	18630	18700
Peso del molde	g	10010	10010	10010
Peso del material	g	<b>8700</b>	<b>8620</b>	<b>8690</b>
Volumen del molde	cm3	5559.84	5559.84	5559.84
Peso unitario	g/cm3	1.565	1.550	1.563
Promedio	g/cm3	1.559		

Peso unitario compactado del agregado grueso

PESO UNITARIO VARILLADO AG				
Descripción	Und.	N° de muestras		
		1	2	3
Peso del material + molde	g	19670	19630	19690
Peso del molde	g	10010	10010	10010
Peso del material	g	<b>9660</b>	<b>9620</b>	<b>9680</b>
Volumen del molde	cm3	5559.84	5559.84	5559.84
Peso unitario	g/cm3	1.737	1.730	1.741
Promedio	g/cm3	1.736		

Observaciones:



GEOESTUDIO J & M S.A.C.  
RUC/ 20613137921

*Kevin Quiapaza Ortiz*  
TECNICO LABORATORISTA

*Julio Ronaldo Yucra Quispe*  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 308059



**GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921**  
**Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos**

**PROYECTO** : ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ELABORADO CON CEMENTO PORTLAND EXPUESTO A ALTAS TEMPERATURAS EN LA REGIÓN DE PUNO, 2025

**SOLICITANTE** : Bach. VICTOR GIL CHIPANA RIVERA

**UBICACIÓN** : JULIACA

**CANtera** : YOCARÁ

**FECHA** : JULIO DEL 2025

### DISEÑO DE MEZCLAS

(ASTM C29 / C29M - NTP 400.023)

<b>1. SELECCIÓN DE TIPO DE ESTRUCTURA (TABLA 6.3.1 - ACI 211.1)</b>	<b>ASENTAMIENTO (SLUMP)</b>			
Vigas y Muros Armados	MAX.	MIM.	Recomendado	Sugerido por Experiencia
	4"	1"	3"	4.00"

<b>2. RESISTENCIA ESPECIFICADA DE DISEÑO F'c</b>	210 kg/cm <sup>2</sup>	21 MPa	2987 psi
ACI 211.1 - TABLA C.5.3.2.1 - RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN REQUERIDA CUANDO HAY DATOS DISPONIBLES PARA ESTABLECER UNA DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA MUESTRA	Desviación estandar concreto Ss: 1.2	f'cr = f'c + 1,34 Ss	22.6 Mpa

<b>3. PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS Y CEMENTO A UTILIZAR</b>			
<b>3.1 Propiedades de Agregado Fino</b>		<b>3.2 Propiedades de Agregado Grueso</b>	
Gravedad Especifica:	2.560	Tamaño Maximo:	1"
Modulo de Finura (min. 2.40 - max. 3.00):	3.33	Peso Especifico Seco:	2.46
Peso Unitario Seco:	1559 kg/m <sup>3</sup>	Peso Unitario Seco compacto (varillado):	1811 kg/m <sup>3</sup>
Porcentaje de Absorción:	2.97 %	Porcentaje de Absorción:	2.41 %
Contenido de Humedad:	5.42 %	Porcentaje de Humedad:	2.57 %

<b>3.3 Datos del Cemento</b>			
Gravedad Especifica:	2.870	Cemento Tipo:	Cemento Rumi Portland Tipo IP

<b>4. DATOS DEL CONCRETO CALCULADO</b>			<b>Volumen total del Concreto Requerido</b>
<input type="radio"/> Con Aire Incorporado	Grado de Exposición Del Agregado Grueso:	Normal	1 m <sup>3</sup>
<input checked="" type="radio"/> Sin Aire Incorporado	Normal	Moderada Extrema	
(TABLA A1.5.3.3 - ACI 211.1)			

<b>5. CALCULO VOLUMEN DE AGUA</b>										
Slump:	4.00"	T.Máx.	0.38	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00	3.00	4.00
T. Máx Agregado:	1.00"	Sin Aire	228.0	216.0	205.0	193.0	181.0	169.0	145.0	124.0
Sin Aire:	193.00	Con Aire	202.0	193.0	184.0	175.0	165.0	157.0	133.0	119.0
Con Aire:	175.00	(TABLA A1.5.3.3 - ACI 211.1)								
PESO DEL AGUA:	193.0 kg	VOLUMEN DEL AGUA:	0.1930 m <sup>3</sup>		Un slump de 0,39 pulgadas, equivale a 1 cm. Un slump de 0,59 pulgadas equivale 1,5 cm					

<b>6. CALCULO VOLUMEN DEL CEMENTO</b>				
F'cr	226 (kg/cm <sup>2</sup> )	TABLA A1.5.3.4(a) - ACI 211.1		
		Con Aire Incorporado		Sin Aire Incorporado
Relación Agua / Cemento:		0.56		0.65
Peso del Cemento, (Calculado datos de la tabla A1.5.3.3 ACI 211.1):		314 kg		298 kg
Volumen del Cemento, (Calculado datos de la tabla A1.5.3.3 ACI 211.1):		0.109 m <sup>3</sup>		0.104 m <sup>3</sup>
Peso del Cemento (recomendado):		345 kg		← Sin Aire Incorporado
Volumen del Cemento (recomendado):		0.120 m <sup>3</sup>		
VOLUMEN DEL CEMENTO DE DISEÑO:		0.120 m <sup>3</sup>	(Relación Agua / Cemento) recomendado a usar en la Mezcla Sin Aire Incorporado	0.56

GEOESTUDIO J & M S.A.C.  
RUC: 20613137921  
Kevin Quiapaza Ortiz  
TÉCNICO LABORATORISTA

Julio Ronaldo Yucra Quispe  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 308059



**GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921**  
**Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos**

7. CALCULO VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO						
T. Máx Agregado:	1 "	T. Máx.	Modulo de Finura (TABLA A1.5.3.6 - ACI 211.1)			
Modulo de Fineza de la Arena:	3.33		2.40	2.60	2.80	3.00
		1	0.71	0.69	0.67	0.65
Volumen de A°G° Compactado Seco:			0.617 m <sup>3</sup>	VOLUMEN DEL AGREGADO:		0.454 m <sup>3</sup>

8. CALCULO VOLUMEN DEL AIRE			
Con Aire Incorporado		Sin Aire Incorporado	
Tamaño Maximo Agregado:	1 "	Tamaño Maximo Agregado:	1 "
Aire atrapado:	3 %	Aire atrapado:	1.5 %
(TABLA A1.5.3.3 - ACI 211.1)			
VOLUMEN DEL AIRE:	0.015 m <sup>3</sup>		

9. CALCULO VOLUMEN ABSOLUTO DE LA ARENA			
Volumen de Agua:	0.193 m <sup>3</sup>	VOLUMEN DE LA ARENA:	0.218 m <sup>3</sup>
Volumen de Cemento:	0.120 m <sup>3</sup>		
Volumen del Agregado Grueso:	0.454 m <sup>3</sup>		
Volumen del Aire:	0.015 m <sup>3</sup>		
TOTAL:	0.782 m <sup>3</sup>		

10. CALCULO DE PESOS			
Elemento	Volumen Absoluto	Peso Especifico	Peso
Agua	0.193 m <sup>3</sup>	1000 kg/m <sup>3</sup>	193 kg.
Cemento	0.12008 m <sup>3</sup>	2870 kg/m <sup>3</sup>	345 kg.
Agregado Grueso (seca)	0.454 m <sup>3</sup>	2460 kg/m <sup>3</sup>	1117 kg.
Agregado Fino (seca)	0.218 m <sup>3</sup>	2560 kg/m <sup>3</sup>	557 kg.
Aire	0.015 m <sup>3</sup>	0 kg/m <sup>3</sup>	0 kg.
TOTALES	1 m <sup>3</sup>		2212 kg.

11. CALCULO DE PESO DE AGUA FINAL - CORRECCION POR HUMEDAD Y ABSORCION				
	Humedad	Pesará	Balance de agua	Contribucion de Agua
Agregado Grueso Húmedo:	2.57	1146.1	0.002	1.834 kg
Agregado Fino Húmedo:	5.42	587.5	0.025	14.394 kg
Agua Final:	176.8 kg	Peso Combinado Agregados kg:		1733.6 kg
			AG / AF	66 / 34



GEOESTUDIO J & M S.A.C.  
RUC: 20613137921

*Kevin Quiapaza Ortiz*  
TÉCNICO LABORATORISTA

*Julio Ronaldo Yucra Quispe*  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 308059



**GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921**  
**Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos**

PROPORCIÓN FULLER ESTIMADA DEL AGREGADO FINO %:	36.9	PROPORCIÓN FULLER ESTIMADA DEL AG. GRUESO%:	63.1
---	------	---	------

### 12. RESULTADOS - DOSIFICACIÓN

Para 1 m<sup>3</sup>

ELEMENTO	POR PESO	POR VOLUMEN	PROPORCIÓN
Agua	176.8 kg	0.177 m <sup>3</sup>	1.5
Cemento	344.6 kg	0.120 m <sup>3</sup>	1.0
Agregado Fino	639.5 kg	0.250 m <sup>3</sup>	2.1
Agregado Grueso	1094.1 kg	0.445 m <sup>3</sup>	3.7
TOTALES	2255.0 kg	1.0 m <sup>3</sup>	
Para 1 m <sup>3</sup>	de concreto equivale a	8 Sacos de cemento y	177 Litros de agua

Para 1 saco 42.5 kg

ELEMENTO	POR PESO	POR VOLUMEN	PROPORCIÓN
Agua	21.8 kg	0.022 m <sup>3</sup>	1.5
Cemento	42.5 kg	0.015 m <sup>3</sup>	1.0
Agregado Fino	78.9 kg	0.031 m <sup>3</sup>	2.1
Agregado Grueso	134.9 kg	0.055 m <sup>3</sup>	3.7
TOTALES	278.1 kg	0.122 m <sup>3</sup>	



GEOESTUDIO J & M S.A.C.  
RUC/20613137921

*Kevin Quapaza Ortiz*  
TÉCNICO LABORATORISTA

*Julio Ronaldo Yucra Quispe*  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 308059



**GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921**  
**Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos**

**PROYECTO** : ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ELABORADO CON CEMENTO PORTLAND EXPUESTO A ALTAS TEMPERATURAS EN LA REGIÓN DE PUNO, 2025

**SOLICITANTE** : Bach. VICTOR GIL CHIPANA RIVERA

**UBICACIÓN** : JULIACA

**CANtera** : YOCARÁ

**FECHA** : JULIO DEL 2025

**ASENTAMIENTO**  
(ASTM C143 / C143M – NTP 339.046)

Muestra	Asentamiento	Consistencia
Concreto Patrón 1	4"	Estado plástico
Concreto Patrón 2	4 1/8"	Estado plástico
Concreto Patrón 3	4 1/2"	Estado plástico
Promedio	4"	Estado plástico

Observaciones:



GEOESTUDIO J & M S.A.C.  
RUC: 20613137921

**Kevin Quiapaza Ortiz**  
TÉCNICO LABORATORISTA



**Julio Ronaldo Yucra Quispe**  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 308059



**GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921**  
**Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos**

**PROYECTO** : ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ELABORADO CON CEMENTO PORTLAND EXPUESTO A ALTAS TEMPERATURAS EN LA REGIÓN DE PUNO, 2025

**SOLICITANTE** : Bach. VICTOR GIL CHIPANA RIVERA

**UBICACIÓN** : JULIACA

**CANERA** : YOCARÁ

**FECHA** : JULIO DEL 2025

## COMPRESIÓN DEL CONCRETO

(ASTM C39 / C39M - NTP 339.034)

Nº	Diámetro (cm)	Área (cm²)	Carga (kgf)	Resistencia (ANTES)	T. de exposición (60 min)	Resistencia (DESPUÉS)	% de la resistencia alcanzada POST
P1	15.08	178.6	39,125	219.06	-	-	-
P2	15.06	178.13	40,820	229.16	-	-	-
P3	15.1	179.08	39,440	220.24	-	-	-
P4	15.02	177.19	40,320	227.56	-	-	-
PROMEDIO				<b>224.005</b>		-	-
Nº	Diám.	Área	Carga	Resistencia (ANTES)	T. de exposición (60 min)	Resistencia (DESPUÉS)	% de la resistencia alcanzada POST
P5	14.95	175.54	41,320	219.06	60	192.76	91.79%
P6	15.05	177.89	39,361	229.16	60	181.17	86.27%
P7	14.93	175.07	42,700	220.24	60	199.62	95.06%
P8	15.09	178.84	38,920	227.56	60	178.08	84.80%
PROMEDIO				<b>224.01</b>		<b>187.91</b>	
P9	15.03	177.42	41,230		120	179.08	85.28%
P10	14.98	176.24	39,980		120	180.08	85.75%
P11	14.91	174.6	42,120		120	181.08	86.23%
P12	14.89	174.13	42,907		120	182.08	86.70%
PROMEDIO						<b>180.58</b>	
Nº	Diám.	Área	Carga	Resistencia (ANTES)	T. de exposición (60 min)	Resistencia (DESPUÉS)	% de la resistencia alcanzada POST
P13	14.96	175.77	39,870	219.06	60	163.35	77.79%
P14	15	176.71	40,450	229.16	60	164.82	78.49%
P15	15.07	178.37	41,880	220.24	60	169.03	80.49%
P16	15.04	177.66	39,880	227.56	60	161.56	76.93%
PROMEDIO				<b>224.01</b>		<b>164.69</b>	
P17	14.97	176.01	41,015		120	167.72	79.87%
P18	14.96	175.77	42,210		120	173.04	82.40%
P19	15.1	179.08	37,980		120	152.63	72.68%
P20	15.04	177.66	41,990		120	170.12	81.01%
PROMEDIO						<b>165.88</b>	



GEOESTUDIO J & M S.A.C.  
RUC: 20613137921

*Kevin Quapaza Ortiz*  
TÉCNICO LABORATORISTA

*Julio Ronaldo Yucra Quispe*

Julio Ronaldo Yucra Quispe  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 308059



**GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921**  
**Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos**

Nº	Diám.	Área	Carga	Resistencia (ANTES)	T. de exposición (60 min)	Resistencia (DESPUÉS)	% de la resistencia alcanzada POST
P21	15	176.71	40,960	219.06	60	103.35	49.21%
P22	15.02	177.19	40,350	229.16	60	101.47	48.32%
P23	14.98	176.24	41,300	220.24	60	104.38	49.70%
P24	14.98	176.24	39,950	227.56	60	100.98	48.09%
PROMEDIO				<b>224.01</b>		<b>102.55</b>	
P25	15.08	178.6	38,750		120	96.65	46.02%
P26	14.91	174.6	41,980		120	107.16	51.03%
P27	14.94	175.3	40,850		120	103.88	49.47%
P28	14.93	175.07	41,750		120	106.32	50.63%
PROMEDIO						<b>103.5</b>	
Nº	Diám.	Área	Carga	Resistencia (ANTES)	T. de exposición (60 min)	Resistencia (DESPUÉS)	% de la resistencia alcanzada POST
P29	15.06	178.13	41,550	219.06	60	81.64	38.88%
P30	15.1	179.08	38,540	229.16	60	75.32	35.87%
P31	15.08	178.6	40,520	220.24	60	79.4	37.81%
P32	15.02	177.19	42,100	227.56	60	83.16	39.60%
PROMEDIO				<b>224.01</b>		<b>79.88</b>	
P33	14.99	176.48	41,150		120	81.61	38.86%
P34	14.92	174.83	42,310		120	84.7	40.33%
P35	15.05	177.89	40,740		120	80.15	38.17%
P36	14.97	176.01	39,780		120	79.1	37.67%
PROMEDIO						<b>81.39</b>	

Observaciones:



GEOESTUDIO J & M S.A.C.  
RUC: 20613137921

*Kevin Quiapaza Ortiz*  
TÉCNICO LABORATORISTA

**Julio Ronaldo Yucra Quispe**  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 308059



**ANEXO 03**  
**PANEL FOTOGRÁFICO**

### PANEL FOTOGRÁFICO



**Observación:** El ensayo se muestra según el proceso del ensayo de absorción y contenido de humedad de los agregados con el fin de determinar el porcentaje de agua que absorben los agregados para su posterior estudio.



**Observación:** La imagen muestra el proceso de análisis granulométrico realizado a los agregados finos y gruesos provenientes de la cantera, con el fin de determinar la distribución de tamaños de partículas.

**Observación:** La imagen muestra el ensayo de peso específico, saturado y seco, se calcula como la relación entre el peso de una muestra de agregado y el volumen que ocupa.



**Observación:** La imagen muestra el procedimiento del ensayo de determinar y combinar las proporciones adecuadas de cemento, arena, grava y agua para elaborar los testigos y posteriormente ensayarlas y lograr una resistencia y trabajabilidad específicas.



**Observación:** La imagen muestra el ensayo de la trabajabilidad o la prueba de slump, para poder verificar que la cantidad de agua añadida a la mezcla sea la correcta y que el concreto tenga la fluidez adecuada para ser colocado, manejado y compactado eficientemente, asegurando la uniformidad entre diferentes cargas de concreto. .



**Observación:** se observa el curado posterior cuando se alcanza el punto de fragua en las briquetas de concreto. El proceso de sumergido consiste en colocar las muestras de concreto o mortero en un tanque de agua a una temperatura controlada (generalmente  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ) durante un período específico, que suele ser de 3, 7, 14, o 28 días.



**Observación:** La imagen muestra el ensayo de compresión de concreto, el procedimiento estándar de laboratorio para determinar la resistencia máxima que puede soportar una probeta de concreto se coloca cuidadosamente en el centro de la placa inferior de la prensa.



**Observación:** se observa la prueba de sometimiento al calor controlado en un horno artesanal, para la posterior verificación de su desgaste de la resistencia



ANEXO 1  
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS  
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN  
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital

Fecha de entrega: 28 - 11- 2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: VICTOR GIL CHIPANA RIVERA

Dirección: COMUNIDAD ANCARUYO RIVA

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 47358889

Teléfono: 927948536 email: victorchipana 81@gmail.com

Nombres y Apellidos: \_\_\_\_\_

Dirección: \_\_\_\_\_

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: \_\_\_\_\_

Teléfono: \_\_\_\_\_ email: \_\_\_\_\_

Facultad y/o Escuela de Posgrado: INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Escuela Profesional o Mención: INGENIERÍA CIVIL

Título o Grado Académico a optar: INGENIERO CIVIL

Asesor: Dr. ARNALDO YANA TORRES

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación  Tesis  Trabajo de Suficiencia Profesional  Trabajo Académico

Título: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ELABORADO CON CEMENTO PORTLAND EXPUESTO A  
ALTAS TEMPERATURAS EN LA REGIÓN DE PUNO, 2025

Palabras claves, (3 a 5 términos): Concreto, altas temperaturas, resistencia a compresión, cemento Portland.

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV <sup>1, 2</sup>?

1, 2

<sup>1</sup> Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entré otros relacionados.

<sup>2</sup> Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

Bachiller  Título  2da Especialidad  Maestría  Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

**Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.**

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

**Autorizo su publicación (marque con una X)**

Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.  
 Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): \_\_\_\_\_  
 No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

**¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?**

**Sí:** significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

**No:** significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

Sí autorizo  
 No autorizo



**Jurisdicción de su Licencia**

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción “internacional” o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción “internacional” emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, **la opción “internacional” goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral.** Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

Internacional

Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17

Firma de Autor



huella digital

28 DE NOVIEMBRE DEL 2025

Fecha